

УДК 69.059.7:699.86

## АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛІННЯ ФАСАДІВ БУДІВЕЛЬ

Автор – Терещенко Р. П., студ. гр. ПЦБ-19-1мн

Науковий керівник – Дікарев К. Б., канд. техн. наук, доц.

*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*

**Постановка проблеми.** Для підвищення енергоефективності будівель можуть знадобитися різні технології, оскільки будівлі зазвичай складаються з різних структурних і функціональних компонентів, таких як вікна, стіни, підлоги і даху - кожен з них має досить різні енергетичні характеристики і грає різні, але важливі ролі, впливаючи на загальну енергоефективність будівель. Дослідження показали, що до 45% від загальної втрати енергії через огорожувальні конструкції будівлі відбувається саме через вікна, а вікна з низьким коефіцієнтом теплопередачі (U-значенням) можуть істотно знизити втрати енергії і знизити фінансові витрати [2; 3]. Тож не дивно, що високо ізолюючі склопакети та вікна знаходяться в стадії швидкого розвитку. Комерційні продукти, такі як багатошарові вікна, вакуумне скління і повітряно-гелеве скління, поширюються для широкого спектра задач [1; 4].

**Мета дослідження.** Проаналізувати можливості впровадження в будівельну практику однієї з інноваційних будівельних технологій в області скління - повітряного гелю -нанопористого матеріалу, виготовленого на основі діоксиду кремнію. Розглянути фізичні характеристики і провести аналіз теплових характеристик повітряно гелевого скління.

**Результати дослідження.** Технологія скління повітряним гелем аналогічно звичайному подвійному склінню, де повітряна порожнина між двома прозорими скляними панелями заповнена повітряним гелем на основі діоксиду кремнію, виготовленим нанопористим матеріалом з низькою щільністю, низьку теплопровідність, хорошою світлопроникністю, чудовою вогнестійкістю і акустичним опором. Як дзеркальні, так і дифузні склопакети можуть бути отримані з використанням монолітних і зернистих повітряно-гелевих матеріалів відповідно.

На практиці, через високу вартість виготовлення і низькою механічної міцності монолітних стекол з повітряного гелю, вони зазвичай збираються з гранул, що дає напівпрозорі елементи скління з поліпшеною теплоізоляцією, поліпшеним розсіюванням світла і зменшеною передачею звуку [5]. Унікальні властивості повітряно-гелевого скління не тільки роблять їх цікавим компонентом будівлі для різних застосувань, але і створюють труднощі при їх інтеграції в конструкцію будівлі.

Повітряно гелеві скління можуть використовуватися для заміни, часткового або повного, непрозорого компонента оболонки будівлі (наприклад, стін або дахів) для управління денним світлом, що, однак, може викликати інші проблеми, такі як вартість, енергетичні характеристики та безпеку скління повітряним гелем [6].

Те, як повітряно гелеве скління використовуються в будівлях, залежить в основному від їх фізичних властивостей, особливо від теплових і оптичних. Перш за все, включення гранул повітряного гелю в порожнину подвійного скла значно покращує теплоізоляційні характеристики [7]. Як показано в таблиці, подвійне скління з повітряною порожниною 14 мм зазвичай має U-значення близько 2,86 Вт/(м<sup>2</sup> К); нанесення покриттів з низьким коефіцієнтом випромінювання (low-e) і заповнення аргоном (Ar) може ще більше знизити значення U до ~ 1,20 Вт/(м<sup>2</sup> К). Навпаки, аналогічне значення U ~ 1,19 Вт/(м<sup>2</sup> К) може бути легко досягнуто шляхом заповнення повітряної порожнини звичайного подвійного скління гранулами повітряного гелю. Що ще більш важливо, теплові характеристики скління також можна контролювати шляхом

модифікації використовуваних матеріалів повітряного гелю [6]. Наприклад, при збільшенні товщини шару повітряного гелю з 14 до 30 мм відповідні значення  $U$  можуть бути додатково зменшені до приблизно  $0,60 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Отже, теплові характеристики повітряно гелевого скління можуть бути попередньо розроблені, що багатообіцяє в порівнянні з іншими технологіями скління.

Таблиця

Теплові характеристики різних типів скління

Тип скління	значення Ультрафіолету (Вт/(м <sup>2</sup> К))	Видима проникність	сонячний фактор
Подвійне скління (14 мм)	2,86	0,81	0,76
Подвійне скління (low-e/Ar/low-e)	1,20	0,74	0,52
Повітряно гелеве скління (14 мм)	1,19	0,50	0,57
Повітряно гелеве скління (30 мм)	0,60	0,17	0,34

*Примітка: приведено середні значення згідно даних виробників.*

Повітряно гелеве скління, як правило, являє собою напівпрозору (або дифузну) технологію скління і не може забезпечити чіткий зовнішній вигляд. Однак дана технологія дозволяє рівномірно поширювати видиме сонячне випромінювання в житловій зоні, зводячи до мінімуму проблеми денного світла, такі як відблиски і зони високої контрастності, які зазвичай пов'язані з склінням з прозорого скла [6].

Висока якість розсіяного світла важливо для зручності користувача; тому повітряно гелеві скління є цікавим рішенням для управління денним світлом в будівлях. Варто відзначити, що збільшення товщини повітряно гелевого скління може зменшити їх видиме пропускання, як показано в таблиці. Очевидно, що теплові та оптичні властивості необхідно оптимізувати для задоволення практичних вимог.

Повітряні гелі є нанопористий матеріал з високою вартістю виготовлення і впливом на навколишнє середовище [6]; отже, включення матеріалів з нього в блоки скління може викликати інші проблеми, такі як вартість, довговічність, термін служби і безпеку, які також важливі для їх застосування в будівлях. Наприклад, в порівнянні з подвійним склінням, повітряно гелеве скління зазвичай має більш високу вартість виготовлення через використання відносно дорогих матеріалів з повітряного гелю. Однак подібна технологія все ще може бути економічно ефективним рішенням, оскільки збільшення вартості може бути компенсовано їх значною економією енергії під час обслуговування. У порівнянні з аналогами з повітряно гелеве скління може сприяти зниженню енергоспоживання приблизно на 21 %, що дає короткий термін окупності в кілька років [7]. У зв'язку з цим дуже важлива покращена конструкція скління з повітряного гелю, яка забезпечує кращу довговічність і тривалий термін служби. На практиці альтернативні матеріали, такі як полікарбонат і безпечне скло, використовувалися для підвищення безпеки повітряно гелевого скління.

**Висновки.** З наведених вище прикладів видно, що повітряно гелеве скління дійсно є компонентом оболонки багатофункціонального будівлі. Його можливості по забезпеченню високої якості розсіяного світла при збереженні високого рівня теплоізоляції вказують на великий потенціал в енергоефективному будівництві. Дана технологія, ймовірно, є не єдиною, а тільки однією з тих, які можна використовувати

для задоволення вимог користувача (наприклад, вартості, зовнішнього виду, комфорту в приміщенні і енерговитрат від експлуатації будівлі). Важливо відзначити, що властивості (наприклад, оптичні і термічні) скління із застосуванням повітряного гелю можуть бути змінені шляхом контролю включених матеріалів з повітряного гелю. У зв'язку з цим, продуктивність будівлі повинна бути оцінена, а потім оптимізована на етапі проектування.

### Список використаних джерел

1. Capros P., Tasios N., De Vita A., Mantzos L., Parousos L. Technical report accompanying the analysis of options to move beyond 20 % GHG emission reductions in the EU by 2020 : Member State results. Report to DG Climate Action, European Commission. Energy-Economy-Environment Modelling Laboratory (E3MLab), National Technical University of Athens. 2012. 221 p.
2. Gustavsen A., Grynning S., Arasteh D., Jelle B. P., Goudey H. Key elements of and material performance targets for highly insulating window frames. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. Pp. 2583–2594. URL: doi.org/10.1016/j.solmat.2011.08.010.
3. Jelle B. P., Hynd A., Gustavsen A., Arasteh D., Goudey H., Hart R. Fenestration of today and tomorrow : a state-of-the-art review and future research opportunities. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2012. Vol. 96. Pp. 1–28. URL: doi.org/10.1016/j.solmat.2011.08.010.
4. Горелик П. И., Золотова Ю. С. Современные теплоизоляционные материалы и особенности их применения. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 3 (18). С. 93–103.
5. Давыдова Е. И., Гнам П. А., Тарасова Д. С. Светопрозрачные конструкции и методы повышения их энергоэффективности. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 5 (32). С. 112–128.
6. Gao T., Ihara T., Grynning S., Jelle B. P., Lien A. G. Perspective of aerogel glazings in energy efficient buildings. *Building and Environment*. 2016. Vol. 95. Pp. 405–413. URL: doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.001.
7. Копылов А. Б., Любин Н. С., Герасимова В. О. Применение аэрогеля при остеклении фасадов зданий. *Вестник Евразийской науки*. 2019. № 2. URL: <https://esj.today/PDF/70SAVN219.pdf>