

асистент **Тараненко С.В.**,
serhii.taranenکو@snau.edu.ua, ORCID: 0009-0008-9553-7148,
к. арх., доцент **Бородай А.С.**,
artem.borodai@snau.edu.ua, ORCID: 0000-0003-4221-0332,
ст. викладач **Бородай Я.О.**,
yana.borodai@snau.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0048-815X,
Сумський національний аграрний університет

СКЛО У БУДІВНИЦТВІ ТА ДИЗАЙНІ: НОВІТНІ МАТЕРІАЛИ Й ІННОВАЦІЇ

Статтю присвячено дослідженню інноваційних матеріалів зі скла, узагальненню, систематизації та уніфікації інформації про сучасні технології та модифікації зі скла. Розглянуто фізичні та хімічні властивості скла як універсального матеріалу, що активно використовується в будівництві та дизайні. Описано технологічний процес виготовлення скла. Наведено приклади та ілюстративний матеріал різноманітних модифікацій скла, зокрема його інноваційних типів. Проаналізовано та розкрито питання виготовлення, особливостей, специфічних характеристик «розумного» скла, просвітленого скла, надміцного скла, литого скла, «скла-хамелеона». Висвітлено перспективи розвитку сучасних технологій скла, що нині знайшло широке застосування в архітектурі та дизайні інтер'єрів.

Проведено огляд наявних нині досліджень, що повноцінно чи дотично зачіпають порушену проблематику. Сформульовано сутність поняття об'єкту дослідження та його базові положення. Систематизовано матеріал про сучасні інноваційні модифікації скла, який може стати поштовхом для подальших досліджень і сприйматися як уніфікований довідковий матеріал.

Ключові слова: скло, властивості скла, виробництво скла, інноваційні матеріали, «розумне» скло, просвітлене скло, надміцне скло, енергозбереження, будівництво, дизайн інтер'єрів.

Постановка проблеми. Скло є одним із найуніверсальніших та найбільш популярних матеріалів у сучасному будівництві та дизайні за рахунок своїх фізико-хімічних властивостей, які можуть бути модифіковані для різних завдань. Його використання варіюється від традиційних віконних конструкцій до декоративних фасадних та інтер'єрних елементів, що забезпечує йому важливе місце в архітектурному середовищі [13]. Розвиток технологій виробництва та постійний

пошук нових фізичних характеристик відкриває нові перспективи для його використання. Одним із таких інноваційних досягнень є «розумне» скло, яке має здатність змінювати свою прозорість під дією електричного струму. Це дозволяє створювати більш ефективні та естетичні рішення в дизайні й архітектурі, підвищити рівень енергозбереження та комфорту в приміщеннях.

Враховуючи широке використання скла, велику кількість сучасних модифікацій, розробок нових матеріалів, що забезпечують високу функціональність і естетичну привабливість, впровадження таких технологій, як виготовлення «розумного» скла, ультрапрозорих та спеціальних типів скла, нині надважливо спробувати систематизувати наявний матеріал, уніфікувати його задля простого і доступного донесення інформації та для подальших досліджень у даній сфері.

Мета статті. Метою статті є упорядкування наявного нині матеріалу, що стосується проблеми виготовлення, застосування, а також дослідження різноманітних інноваційних видів скла у розрізі архітектурно-будівельних і дизайнерських рішень, аналіз властивостей сучасних модифікацій скла, дослідження його еволюції від традиційного до інноваційного скла.

Стаття покликана представити основні параметри, фізичні властивості та характеристики скла, його варіації та особливості застосування в будівництві, дизайні інтер'єрів та екстер'єрів, а також надати вичерпну інформацію щодо ролі сучасних технологій в удосконаленні цього матеріалу. Особливу увагу приділено розкриттю сутності інноваційних типів та технологій скла, таких як ультрапрозоре, надміцне, енергозберігавальне та «розумне» скло, питання їх впливу на естетику та функціональність архітектурних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різноманітні публікації та наукові матеріали, що було розглянуто в рамках підготовки статті, пов'язані з проблематикою створення, використання та модифікації скла. Здебільшого дослідження присвячені новітнім технологіям виготовлення, в яких йдеться про зменшення вмісту заліза в матеріалі та вдосконалення процесів плавлення й охолодження маси, що дозволяє досягти оптимальних фізичних властивостей для різних типів скла, таких як загартоване, армоване, енергозберігаюче чи ультрапрозоре.

У дослідженні Демчина Б., Козака Р., Майхер П. та Немец Я. йдеться про експериментальний процес, у ході якого визначається міцність звичайного листового скла, зокрема, вплив орієнтації зразків під час випробувань на їхні характеристики міцності, що дуже важливо для розуміння фізико-хімічних характеристик зразків [3].

У науковій роботі Гук Л. Й., Хавкун Г.М. висвітлено особливості використання скла для підвищення естетичної виразності громадських інтер'єрів. Автори аналізують історію розвитку художнього скла, відзначаючи, що нові

напрямки його застосування виникали разом із розвитком технологій виробництва та обробки скла, і цей процес триває досі. Вони зазначають композиційні прийоми інтеграції художнього скла в інтер'єрі громадських будівель, підкреслюючи його здатність покращувати естетичні якості застосування [2].

Також було опрацьовано і проаналізовано ряд наукових роботи, які описують «розумне» скло, здатне змінювати свою прозорість під дію електричного струму. Такі матеріали мають великі перспективи для використання у сфері енергозбереження. Окремо було розглянуто праці, що стосувалися розвитку технології ультрапрозорого скла, яке відзначається високою світлопропускнуою здатністю, та надміцного скла. Науковці у своїх працях описують можливості використання цих матеріалів в інтер'єрі та на фасадах будівель, що дозволяють створити безпечні, естетичні, комфортні умови для мешканців або користувачів приміщення та сприяють практичності й функціональності середовища [15, 17].

Важливо зазначити, що сучасні дослідження вказують на важливість вдосконалення існуючих технологій виробництва скла, щоб досягти максимального ефекту від його використання в будівельних і дизайнерських рішеннях. Тому основний фокус у дослідженнях зосереджено на поєднанні високих технологічних характеристик скла з його екологічною чистотою, зниженням енергоспоживання та підвищенням функціональності в сучасному архітектурному просторі.

Виклад основного матеріалу. Скло – досить універсальний матеріал, який широко використовується в різних сферах, зокрема в будівництві та дизайні. Його популярність пояснюється фізичними характеристиками, які можна змінити або покращити завдяки спеціальним технологіям виробництва.

З наукової точки зору скло є твердою аморфною речовиною, що утворюється внаслідок охолодження розплавленого маси зі специфічним складом. Його фізичні властивості залежать від компонентів, які використовують у процесі виготовлення. Основною сировиною для виробництва є кварцовий пісок, який має бути максимально чистим і позбавленим небажаних домішок, зокрема оксиду залізу та алюмінію. Найкращим джерелом для виготовлення скла є кремнеземний пісок, що залягає шарами між осадовими породами. Його виявляють відкритим способом, а перед використанням проводять хімічний аналізи для визначення якості та відповідності виробничим стандартам [12].

Фізичні характеристики являють собою ключові параметри, що надають йому практичне застосування. До основних показників скла належать: щільність (варіюється в межах 2200–7500 кг/м³); міцність на стиск (500–2000 МПа, причому її можна підвищити шляхом загартовування); твердість і крихкість (скло є досить крихким, але загартовані варіанти демонструють підвищену міцність); світлопроникність (важлива характеристика для будівельного та декоративного

скла); теплопровідність (визначає ефективність енергозбереження); плавкість (впливає на технологію формування виробу) [7].

Для надання спеціальних властивостей до його складу вводять хімічні елементи, такі як свинець, барій, магній, хром, мідь, бром і кобальт. Вони змінюють прозорість, міцність, термостійкість і навіть колір матеріалу. Також, наприклад, для полегшення виробничого процесу та покращення світлопроникності і надання блиску в скляну масу додають калій.

Виробництво скла можна розділити на 5 етапів: 1) підготовка матеріалів; 2) виготовлення шихти; 3) плавлення; 4) охолодження; 5) обробка (рис.1).

На першій стадії компоненти виробництва скла готують до змішування. Тоді ж у дробарках відбувається виготовлення вторинної сировини – склобою з відходів виробництва та побутових уламків, друзків. Основні матеріали пропускають через магнітний сепаратор, який видаляє основну кількість домішок.

На другому етапі відбувається перемішування піску, соди, вапняку та хімічних добавок. Ці компоненти по черзі висипають із силосів на ваги. Після зважування матеріали змішують. Отриману однорідну масу називають шихтою.

На етапі плавлення шихту завантажують у печі та нагрівають до необхідної температури. Чим менше домішок у піску, тим нижча температура. Здебільшого вона коливається у межах 1600-2400°C.

Охолодження «тіста» (отримана у результаті третьої стадії речовина) відбувається у кілька заходів. Спочатку скляну масу «купають» у розплавленому олові та охолоджують до 600°C. Через різницю в щільності «тісто» не поєднується з цим металом. Далі його прокатують (вальцюють) на конвеєрі, доки температура не опуститься до 200-250°C. Лише повільне охолодження дозволяє отримати скло належної якості. Тим не менш, екстремальне охолодження також використовується в цій галузі, наприклад, при виробництві загартованого скла.

На етапі обробки виготовляють безпосередньо кінцеву продукцію необхідних параметрів та форми: листове скло, тара тощо [1].

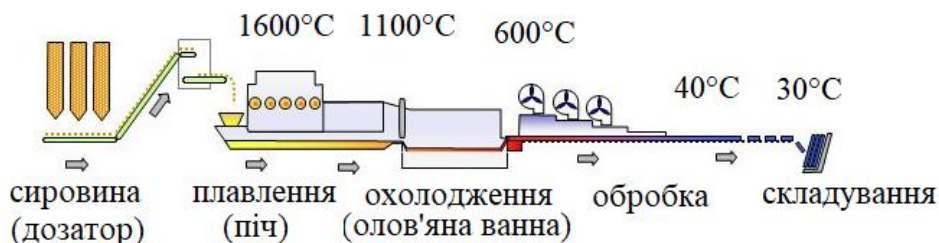


Рис. 1. Спрощена схема процесу виготовлення скла

Скло є невід'ємною частиною дизайну та архітектурно-будівельного процесу, воно використовується не лише у вікнах (звичайних, спеціальних чи панорамних), а й у декоративному оздобленні інтер'єрів. Його застосовують у вигляді плитки,

вітражів, мозаїки, смальти, дзеркал, листів-перегородок тощо. Особливо популярні декоративні матеріали, створені на основі скла, такі як марблін і склокремнезит. Ці матеріали часто виготовляють із вторинної сировини – подрібненого скла та віконних відходів, які переплавляють із додаванням барвників та спеціальних домішок [2].

Сучасні технології дозволяють створювати різні види скла, що відрізняються за своїми фізико-хімічними властивостями, міцністю, рівнем прозорості та теплопровідності.

Нині найпоширенішими модифікаціями скла є [9]:

- кварцове - найпростіший у виробництві матеріал, що відзначається високою термостійкістю та прозорістю, але є досить крихким. Використовується, наприклад, у виготовленні лабораторного посуду;
- вапнякове - бюджетний варіант скла, який застосовують для виготовлення листових панелей, склотари та електричних ламп;
- свинцеве - до його складу додають кремнезем та оксид свинцю, що забезпечує високу прозорість та блиск. Використовується у виробництві кришталевих виробів та елементів електроніки;
- кольорове - отримують шляхом додавання барвників у масу або нанесенням спеціальних покриттів; буває фарбованим у масі, прокатним, візерунчастим, гладким чи двошаровим; застосовується для декоративного оздоблення, облицювання фасадів, інтер'єрів і створення вітражів (рис. 2);
- енергозберігаюче - має спеціальне покриття з низькою теплопровідністю, яке дозволяє утримувати до 70% теплової енергії всередині приміщення, що знижує витрати на опалення;
- армоване - містить у своїй товщі металеву сітку, що запобігає розсіпанню уламків при пошкодженні, завдяки чому його часто використовують для скління виробничих приміщень, а також у конструкціях з підвищеними вимогами до пожежної безпеки (рис. 3);
- тоноване - слугує для захисту від сонячного випромінювання; виготовляється шляхом введення в масу оксидів металів або нанесення спеціальної тонувальної плівки (рис. 4);
- сонцезахисне - створюється шляхом напилення оксидів металів, які проникають у структуру скла, підвищуючи його міцність та стійкість до ультрафіолетового випромінювання;
- загартоване - проходить процес поступового нагрівання та швидкого охолодження, що значно підвищує його міцність і стійкість до механічних пошкоджень; широко використовується в автомобільній промисловості та будівництві (рис. 5);
- багатошарове (триплекс) - складається з кількох шарів, з'єднаних прозорими полімерними матеріалами, що робить його надзвичайно стійким до ударів і надає

хороші звукоізоляційні характеристики; застосовується у виготовленні віконних склопакетів (рис. 6);

- моліроване - це зігнуте скло, яке має задану форму, що робить його ідеальним для декоративного оформлення (рис. 7);

- броньоване - багатошарова конструкція, що складається з кількох скляних панелей та спеціальних полімерних матеріалів, здатних витримувати удари та навіть постріли.



Рис. 2. Кольорове скло

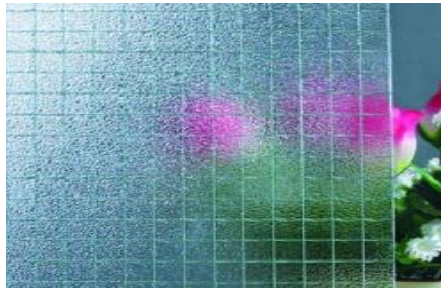


Рис. 3. Армоване скло

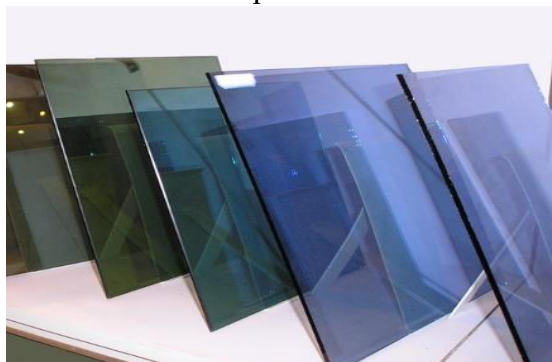


Рис. 4. Тоноване скло



Рис. 5. Загартоване скло

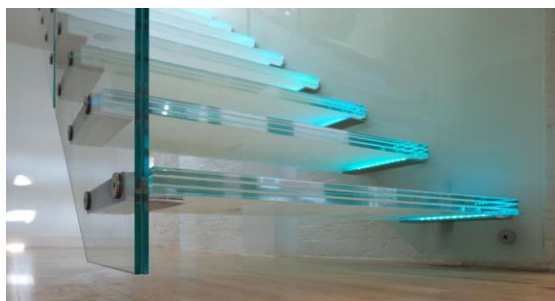


Рис. 6. Багатошарове скло (триплекс)

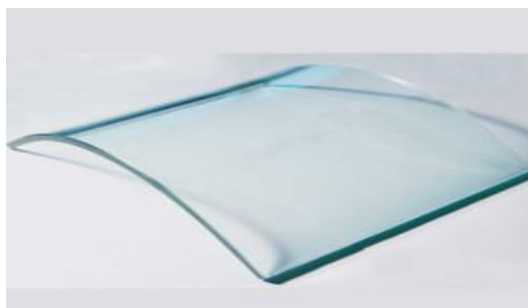


Рис. 7. Моліроване скло

Скло завжди посідало особливе місце в дизайні інтер'єрів завдяки своїй екологічності, функціональності та вишуканій естетиці. Скляні елементи чудово поєднуються з деревом, металом, полімерами, візуально розширюють простір, наповнюють приміщення природним світлом і надають йому індивідуального стилю та вишуканості. Сучасні технології дають змогу отримувати цей матеріал у різноманітних формах, з різними текстурами, кольорами та ступенем прозорості [8].

Одним із таких інноваційних матеріалів є «розумне» скло - технологічний винахід, що відкриває нові можливості для створення функціональних та естетичних рішень у приміщеннях (рис. 8). Даний унікальний матеріал здатний миттєво змінювати свою прозорість, що дозволяє йому виконувати одразу кілька функцій: слугувати перегородкою, замінювати штори або жалюзі, а також візуально розширювати межі простору.

Такі властивості пояснюються використанням «пошарової» системи з двох полімер-диспергованих (PD) рідкокристалічних струмопровідних плівок, усередині яких приховано спеціальний диспергований полімер LC, який не пропускає зображення. У вимкненому стані рідкі кристали розташовані хаотично, розсіюючи світло, що проходить через них, і створюючи ефект матовості. Коли подається електроживлення, кристали впорядковуються у перпендикулярному напрямку, і скло стає прозорим. Ця особливість дає змогу контролювати рівень освітленості в приміщенні, забезпечуючи приватність у потрібний момент [17].

Користувач може змінювати прозорість скла вручну – через пульт керування, мобільний додаток або систему розумного будинку, а також автоматично за допомогою спеціальних датчиків. Крім того, смарт-скло допомагає зменшити

витрати на кондиціювання приміщень, оскільки в матовому стані воно знижує потрапляння сонячного світла, перешкоджаючи перегріву простору.

При встановленні такого скла у віконних отворах фасадів будівель, їх зовнішній вигляд залишається незмінним, що робить цей матеріал не лише функціональним, а й естетично привабливим.

Плівка змінної прозорості може використовуватися спільно з різними видами скла: звичайними флоат-склом, просвітленим (типу OptiWhite), тонованим, художнім (з різними малюнками), спільно з іншими декоративними, захисними або сенсорними плівками. Найбільш пригожий варіант виготовлення скла змінної матовості вибирається виходячи з особливостей експлуатації: плівка між двома склеєними листами, на склі чи всередині склопакету [6].

Основні параметри та властивості смарт-скла:

- стан без електроживлення – матовий, при її подачі – прозорий;
- час перемикання – менше секунди;
- пропускає близько 80% світла в обидва напрями;
- товщина: від 4 мм (нанесення плівки); від 10 мм (триплекс);
- розміри: необмежені;
- можливість виготовлення молірованого (гнутого) смарт-скла;
- наявність захисту від ультрафіолету;
- можливість бути проєкційним екраном.

Завдяки своїм унікальним властивостям «розумне» скло стає незамінним у сучасних архітектурних та дизайнерських проєктах, забезпечуючи одночасно стиль, приватність і енергоефективність.



Рис. 8. Приклад застосування у інтер'єрі «розумного скла»

Перші спроби покращити прозорість скла здійснювалися ще у XX столітті, але промислове виробництво ультрапрозорого скла почалося лише в 1990-х роках,

коли вдалося значно знизити вміст заліза в сировині та розробити технологію низькооксидного виробництва [14].

На сьогодні існує просвітлене скло, яке активно використовується в архітектурі, будівництві, застосовується у виробництві меблів, вітрин, електроніки та сонячних панелей.

Просвітлене (ультрапрозоре, надпрозоре) скло - це сучасний інноваційний матеріал, що відзначається мінімальним вмістом заліза, за рахунок чого володіє в рази менш зеленуватим відтінком, характерним для звичайного скла (рис. 9).

Основною його відмінністю є спеціальна технологія очищення сировини та контроль домішок металів. Використовується кварцовий пісок із надзвичайно низьким вмістом заліза (менше 0,01% Fe_2O_3). До складу маси додають спеціальні розкислювачі для усунення залишків металів. Далі розплавлене скло заливають у ємність - ванну з рідким оловом, що забезпечує ідеально гладку поверхню [6].

Основні характеристики та переваги:

- висока світлопропускна здатність (у межах 92–98%);
- відсутність зеленуватого відтінку;
- підвищена міцність та зносостійкість;
- можливість гартування, ламінування та нанесення покриттів.

Просвітлене скло активно удосконалюється, зокрема, розробляються самоочисні покриття, антиблікові та терморегулюючі шари. Очікується, що у найближчі десятиліття цей матеріал стане ще міцнішим, легшим та енергоефективнішим.

Для дизайну інтер'єрів - це унікально нова пропозиція даного матеріалу з показниками максимальної нейтральності відтінків та кольору. Це – скло, що майже не сприймається зором як таке, його коефіцієнт світлопропускання надвисокий. Таким чином, наприклад, за допомогою перегородок з цього матеріалу можна відокремити приміщення чи зону, але при цьому візуально не пошкодити композиційної єдності, ідеї приміщення, його світло-кольорової гами.



Рис. 9. Відмінність між звичайним склом (зліва) та просвітленим (справа)

Сучасні наукові досягнення регулярно змінюють наше уявлення про властивості матеріалів. Щороку вчені презентують революційні розробки, що знаходять застосування у найрізноманітніших сферах. Однією з таких інновацій стало ударостійке надміцне скло, створене канадськими дослідниками з Університету Макгілла у 2019 році [10, 18].

Головна особливість цього скла - унікальна здатність до фізичних впливів, деформації: навіть за сильного удару воно не розбивається, а лише незначно зминається. Джерелом натхнення для вчених стала природа, зокрема раковини морських молюсків (рис. 10).

Їхні панцирі складаються на 95% з крейди, яка сама по собі є дуже крихкою. Однак завдяки внутрішньому шару перламутру, що має надзвичайно міцну структуру, вони витримують значні навантаження. Перламутр складається з мікроскопічних пластинок, які можна порівняти з елементами конструктора «Лего».

Раніше науковці намагалися відтворити подібну структуру у склі, але безрезультатно. Канадська ж команда вирішила використати ту обставину, що на краях цих мікропластинок міжмолекулярні зв'язки ослаблені, і пішла парадоксальним шляхом - не зміцнюючи, а, навпаки, розтріскуючи скло. Вони стали гравірувати лазером на скляній поверхні складну мережу тріщин, щоб створити такі ж слабкі межі, як і у перламутру.

Випробування показали, що міцність скляних мікропластинок зросла у 200 разів. Вигравірувані мікротріщини не дозволяли новим поширюватися по всій поверхні скла та зруйнувати його. Потім лазерні тріщини були заповнені поліуретаном, це ще на певну кількість відсотків зменшило скляну крихкість: тепер матеріал реагує на сильний удар невеликим зминанням.

Досі існував компроміс між високою міцністю, ударною в'язкістю та прозорістю. Цей новий матеріал не тільки в 3 рази міцніший за звичайне скло, але й більш ніж в 5 разів більш стійкий до зламу. Маючи гарний показник пружності, розроблене скло більше схоже на пластик: якщо його кинути на підлогу, то воно ніяк не постраждає.

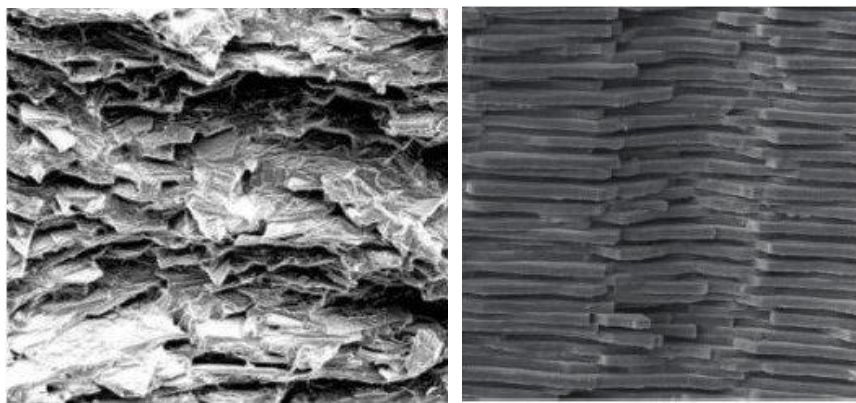


Рис. 10. Порівняння мікроструктури звичайного скла (зліва) та внутрішнього прошарку раковини молюска (справа)

У 2021 році вчені з Японії також представили новітнє скло, яке не поступається за міцністю сталі (рис. 11). Воно є тонким і легким. Протягом найближчих років нова технологія дозволить створити нові матеріали та буде зручною для багатьох сфер діяльності [11].

При створенні скла використовувалася речовина, що покращує механічну його міцність. Виробництво проходило у спеціальній печі із застосуванням вуглекислотного лазера та інших речовин.

Представлене скло вийшло прозорим у складі, де містилося 50 відсотків оксиду алюмінію. За даними дослідження, новий матеріал вважається вдвічі міцнішим за звичайне скло і може скласти конкуренцію чавуну і сталі.

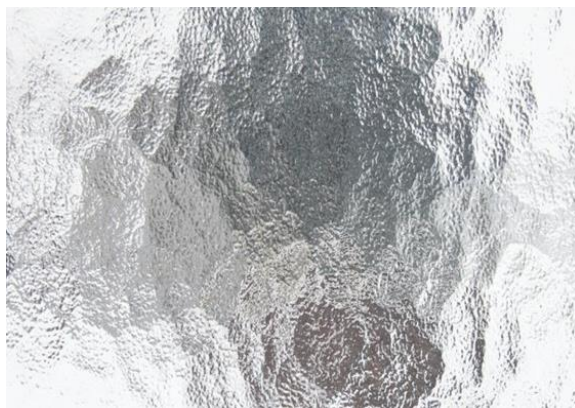


Рис. 11. Фактура японського надміцного скла

Сучасний світ дедалі більше уваги приділяє питанням екології та раціонального використання ресурсів. Складна промисловість не залишилася осторонь цього руху - останніми роками спостерігається активне впровадження вторинної сировини у виробництві скла.

Крім того, технології дозволяють використовувати гірничопромислові відходи як альтернативу традиційним складникам. Зокрема, шлак, що утворюється під час видобутку корисних копалин, може замінювати пісок або вапняк, які є основними компонентами скла. Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на природні ресурси та водночас отримати матеріал із високими експлуатаційними характеристиками.

Однією з революційних технологій, що відкриває нові горизонти у скляній архітектурі, є використання литого скла. Його структурний потенціал почав активно розкриватися лише в останні десятиліття, хоча скло давно застосовується як будівельний матеріал.

Цей матеріал поєднує у собі дві ключові властивості: прозорість, що дозволяє створювати легкі та візуально невагомні конструкції; високу міцність на стиск, що дає змогу використовувати його для несучих елементів. Завдяки цьому скляні балки, колони та фасади можуть виконувати не лише естетичну, а й конструктивну функцію [9].

Хоча межі застосування та технології виготовлення його безперервно розширювалися і змінювалися, досі скляні конструкції все ще обмежені формами та розмірами, які можуть бути реалізовані в рамках виробництва термopolірованого скла. Проте лите скло може уникнути певних обмежень.

На відміну від звичайного скла, що виготовляється шляхом термopolірування, лите скло дозволяє уникнути багатьох обмежень. Розплавлену скляну масу можна заливати у форми, отримуючи тривимірні монолітні компоненти практично будь-якої геометрії (рис. 12).

Таким чином дана технологія дозволяє вільно формувати 3D-складники із широким спектром параметрів і поперечного перерізу; надає можливість створювати самонесучі конструкції без потреби у додаткових опорах. У результаті тривимірні скляні конструкції не лише зберігають естетичну привабливість, а й демонструють відмінні механічні характеристики, що дозволяють використовувати їх у сучасному будівництві без обмежень за формою та розмірами.



Рис. 12. Приклад будівельних матеріалів, що виготовлені з переробленого литого скла

Сучасні технології відкривають нові можливості у використанні скла, перетворюючи його не лише на декоративний чи конструкційний матеріал, а й на ефективний елемент енергозбереження. Одним із таких інноваційних рішень є так зване «скло-хамелеон», яке також називають «склом-кондиціонером» (рис. 13). Воно володіє двома унікальними властивостями, що роблять його надзвичайно корисним у галузі будівництва.

По-перше, цей вид скла здатний змінювати свій колір у відповідь на підвищення температури. Якщо температура зростає від 35°C до 46°C, скло поступово переходить із прозорого стану в жовтий, потім у помаранчевий, червоний, і, зрештою, набуває коричневого відтінку. Така зміна відбувається задля зниження рівня сонячного випромінювання, яке потрапляє всередину приміщення. Це дозволяє значно зменшити нагрівання внутрішнього простору, мінімізувати сонячні відблиски та скоротити споживання електроенергії, яка необхідна для кондиціонування.

По-друге, дане скло виконує ще одну важливу функцію - воно генерує електроенергію. Завдяки вбудованій сонячній панелі технологія дозволяє

накопичувати сонячну енергію та певний час жити будівлю, що сприяє економії ресурсів та екологічній ефективності.

Ще одним перспективним інноваційним рішенням у цій сфері стала розробка компанії SolarWindow Technologies. Вона запропонувала спеціальний спрей, який наділяє скло функцією генерації електроенергії, а згодом представила і цілісні скляні панелі з аналогічним покриттям. Така технологія базується на нанесенні на поверхню скла тонкої прозорої плівки, яка виконує роль своєрідного фотоелектричного шару. Коли на поверхню потрапляє світло, електрони в цій плівці активуються завдяки прозорим провідникам. Вироблена електроенергія надходить до країв скляної панелі, а потім по електричних комунікаціях передається в загальну мережу будівлі [16].

Завдяки подібним технологіям скло перестає бути лише пасивним елементом споруд і перетворюється на розумний матеріал, який не лише регулює температурний баланс приміщень, а й сприяє сталому розвитку, використовуючи відновлювані джерела енергії.

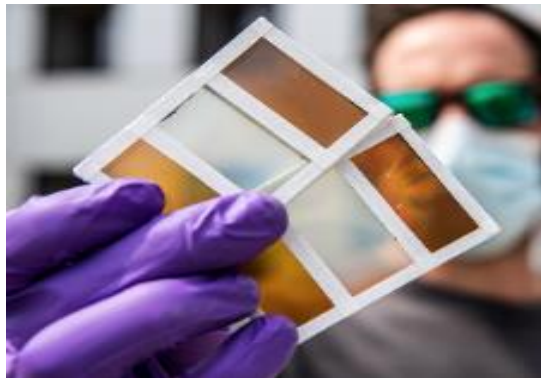


Рис. 13. Зразки «скла-хамелеона»

Висновки. Скло завоювало прихильність архітекторів і дизайнерів, перетворившись на незамінний елемент сучасних проєктів та інтер'єрних рішень. Завдяки своїм унікальним властивостям — здатності пропускати та відбивати світло, створювати ілюзію відкритого простору, наповнювати приміщення легкістю - воно гармонійно вписується в приміщення і квартири різноманітних стилів [5].

Інноваційні технології виробництва й обробки скла суттєво розширили межі його застосування. Фацетування, художнє гравіювання, створення декоративних крайок, полірування, високоточне свердління, піскоструминне нанесення візерунків, а також сучасні методи склеювання дають змогу створювати унікальні дизайнерські рішення. Завдяки цьому скло набуло статусу не просто будівельного матеріалу, а повноцінного мистецького засобу оформлення простору.

Сьогодні без скла важко уявити не лише екстер'єр, а й внутрішнє наповнення будівель. Воно використовується не лише у вікнах та дверях, а й у меблях, декоративних перегородках, освітлювальних приладах та інших елементах декору. Скляні двері без рам, меблі з тонованими поверхнями, сходи з міцними прозорими

сходінками - усе це стало реальністю сучасного інтер'єрного дизайну. Дзеркальні панно, доповнені кольоровими скляними вставками, столики з металевими або кованими ніжками, оригінальні світильники та масивні перегородки з загартованого скла, які забезпечують шумоізоляцію та збереження мікроклімату в приміщенні, - лише частина можливостей, які пропонує цей матеріал сьогодні [4].

Попит на скляні вироби постійно зростає, а разом із ним з'являються нові виклики для виробників. Інновації вимагають створення скла з новими характеристиками: покращеною міцністю, підвищеною енергоефективністю, інтерактивними властивостями, такими як змінна прозорість або інтегровані LED-елементи.

Отже, скло не лише зберігає свою актуальність, а й відкриває нові горизонти для сучасного дизайну. Його можливості та різноманіття форм дозволяють створювати інтер'єри абсолютно нового рівня, поєднуючи естетику, функціональність і передові технології.

Література

1. Воронов Г. К. Технології виробництва скломатеріалів : конспект лекцій для студентів для студентів 1 курсу денної форми навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія / за ред. Г. К. Воронова; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 128 с.
2. Гук Л. Й., Хавхун Г. М. Застосування художнього скла в інтер'єрах громадських будівель. *Архітектура будівель і споруд* : збірник наукових праць. Київ : КНУБА, 2021. Вип. 22-23. С. 166-171
3. Демчина Б., Козак Р., Майхер П., Немец Я. Визначення фізико-механічних характеристик скла на згин: порівняння значень міцності за різних умов орієнтації дослідного зразка. *Будівельні конструкції. Теорія і практика* : збірник наукових праць. Київ : КНУБА, 2022. Вип. 10. С. 11-23.
4. Загоруйко А. О. Скло в опорядженні інтер'єру житлових та громадських будівель : матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця (14-23 березня 2018 р.). URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2018/paper/view/5052>.
5. Зиміна С. Б. Стилі інтер'єру. Київ : Довіра, 2018. 360 с.
6. Інноваційні технології у виробництві спеціального та побутового скла : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів» / М. М. Племянніков, А. П. Яценко, І. В. Пилипенко, Б. Ю. Корнілович; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 298 с.
7. Лосик М. В., Звір О. М. Технологічні та фізико-хімічні властивості скла : навч. посіб. Львів : ЛНАМ, 2018. 40 с.

8. Новосельчук Н. Є. Дизайн інтер'єрів : конспект лекцій. Полтава : ПолтНТУ, 2018. 72 с.

9. Племянніков М. М., Жданюк Н. В. Нові склоподібні матеріали і методи їх синтезу. Склоподібні матеріали і вироби. Функціональні матеріали : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Хімічні технології неорганічних в'язучих речовин, кераміки, скла та полімерних і композиційних матеріалів» спец. 161 Хімічні технології та інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 100 с.

10. Сайт «ATRIA»: A glass as strong as steel. [Електронний ресурс]. URL : <https://atriainnovation.com/en/blog/a-glass-as-strong-as-steel/>. Дата звернення: 21 березня 2025.

11. Сайт «Build Portal»: Найміцніше у світі скло [Електронний ресурс]. URL : <http://budport.com.ua/news/22482-vcheni-z-kanadi-stvorili-naumicnishe-u-sviti-sklo-scho-vidomo>. Дата звернення: 21 березня 2025.

12. Силікатне матеріалознавство : навч. посіб. для здобувачів ступеня доктора філософії 161 «Хімічні технології та інженерія» / М. М. Племянніков, В. Ю. Тобілко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 103 с.

13. Сьомка С. В. Дизайн інтер'єру, меблів та обладнання : підручник. Київ : Видавництво Ліра-К, 2018. 400 с.

14. Ящишин Й. М. Технологія скла у трьох частинах : Ч. III. Технологія скляних виробів : підручник. Львів : Видавництво «Растр-7», 2011. 416 с.

15. Garner S. M. Flexible glass. Enabling thin, lightweight and flexible electronics / S. M. Garner. Hoboken : Scrivener Publishing LLC, 2017. 365 p.

16. Ghamari M., Sundaram S. Solar Window Innovations: Enhancing Building Performance through Advanced Technologies. *Energies*, 2024. №17. 31 p.

17. Uusitalo O. Float glass innovation in the flat glass industry / O. Uusitalo. New York : Springer, 2014. 115 p.

18. Yin Z., Hannard F., Barthelat F. Impact-resistant nacre-like transparent materials. *Research. Materials science*. June 27, 2019. P.1260-1263.

assistant **Taranenko Serhii**

PhD in Architecture, Associate professor **Borodai Artem**

Senior lecturer **Borodai Yana**

Sumy National Agrarian University

GLASS IN CONSTRUCTION AND DESIGN: NEW MATERIALS AND INNOVATIONS

The article is devoted to the study of innovative glass materials, generalization, systematization and unification of information about modern technologies and

modifications of glass. The physical and chemical properties of glass as a universal material that is actively used in construction and design are considered. The technological process of glass manufacturing is described. Examples and illustrative material of various modifications of glass, in particular its innovative types, are given. The issues of manufacturing, features, specific characteristics of «smart» glass, illuminated glass, high-strength glass, cast glass, «chameleon glass» are analyzed and revealed. The prospects for the development of modern glass technologies, which have now found wide application in architecture and interior design, are highlighted.

A review of currently available research that fully or tangentially affects the raised issues is conducted. The essence of the concept of the object of research and its basic provisions are formulated. The material on modern innovative modifications of glass is systematized, which can become an impetus for further research and be perceived as a unified reference material.

Keywords: glass, glass properties, glass production, innovative materials, «smart» glass, illuminated glass, high-strength glass, energy saving, construction, interior design.

References

1. Voronov H. K. Tekhnolohii vyrobnytstva sklomaterialiv : konspekt lektsii dlia studentiv dlia studentiv 1 kursu dennoi formy navchannia druhoho (mahisterskoho) rivnia vyshchoi osvity za spetsialnistiu 161 – Khimichni tekhnolohii ta inzheneriia / za red. H. K. Voronova; Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova. Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2020. 128 s. {in Ukrainian}
2. Huk L. Y., Khavkhun H. M. Zastosuvannia khudozhnoho skla v inter'ierakh hromadskykh budivel. Arkhitektura budivel i sporud : zbirnyk naukovykh prats. Kyiv : KNUBA, 2021. Vyp. 22-23. S. 166-171. {in Ukrainian}
3. Demchyna B., Kozak R., Maikher P., Niemiets Ya. Vyznachennia fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk skla na zghyn: porivniannia znachen mitsnosti za riznykh umov oriientsatsii doslidnoho zrazka. Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka : zbirnyk naukovykh prats. Kyiv : KNUBA, 2022. Vyp. 10. S. 11-23. {in Ukrainian}
4. Zahoruiko A. O. Sklo v oporiadzhenni inter'ieru zhytlovykh ta hromadskykh budivel : materialy XLVII naukovo-tekhnicnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU, Vinnytsia (14-23 bereznia 2018 r.). URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2018/paper/view/5052>. {in Ukrainian}
5. Zymina S. B. Styli inter'ieru. Kyiv : Dovira, 2018. 360 s. {in Ukrainian}
6. Innovatsiini tekhnolohii u vyrobnytstvi spetsialnoho ta pobutovoho skla : pidruchnyk dlia stud. spetsialnosti 161 «Khimichni tekhnolohii ta inzheneriia», spetsializatsii «Khimichni tekhnolohii neorhanichnykh keramichnykh materialiv» / M. M. Plemiannikov, A. P. Yatsenko, I. V. Pylypenko, B. Yu. Kornilovych; KPI im. Ihoria Sikorskoho. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2018. 298 s. {in Ukrainian}

7. Losyk M. V., Zvir O. M. Tekhnolohichni ta fizyko-khimichni vlastyvosti skla : navch. posib. Lviv : LNAM, 2018. 40 s. {in Ukrainian}
8. Novoselchuk N. Ye. Dyzain inter'ieriv : konspekt lektsii. Poltava : PoltNTU, 2018. 72 s. {in Ukrainian}
9. Plemiannikov M. M., Zhdaniuk N. V. Novi sklopodibni materialy i metody yikh syntezy. Sklopodibni materialy i vyroby. Funktsionalni materialy : navch. posib. dlia zdobuvachiv stupenia mahistra za osvity. prohramoiu «Khimichni tekhnolohii neorhanichnykh v'iazhuchykh rehovyn, keramiky, skla ta polimernykh i kompozytsiinykh materialiv» spets. 161 Khimichni tekhnolohii ta inzheneriia / KPI im. Ihoria Sikorskoho. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2024. 100 s. {in Ukrainian}
10. Sait «ATRIA»: A glass as strong as steel. [Elektronnyi resurs]. URL : <https://atriainnovation.com/en/blog/a-glass-as-strong-as-steel/>. Data zvernennia: 21 bereznia 2025. {in English}
11. Sait «Build Portal»: Naimitsnishe u sviti sklo [Elektronnyi resurs]. URL : <http://budport.com.ua/news/22482-vcheni-z-kanadi-stvorili-naymicnishe-u-sviti-sklo-scho-vidomo>. Data zvernennia: 21 bereznia 2025. {in Ukrainian}
12. Sylikatne materialoznavstvo : navch. posib. dlia zdobuvachiv stupenia doktora filosofii 161 «Khimichni tekhnolohii ta inzheneriia» / M. M. Plemiannikov, V. Yu. Tobilko; KPI im. Ihoria Sikorskoho. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2021. 103 s. {in Ukrainian}
13. Somka S. V. Dyzain inter'ieru, mebliv ta obladnannia : pidruchnyk. Kyiv : Vydavnytstvo Lira-K, 2018. 400 s. {in Ukrainian}
14. Yashchyshyn Y. M. Tekhnolohiia skla u trokh chastynakh : Ch. III. Tekhnolohiia sklianykh vyrobiv : pidruchnyk. Lviv : Vydavnytstvo «Rastr-7», 2011. 416 s. {in Ukrainian}
15. Garner S. M. Flexible glass. Enabling thin, lightweight and flexible electronics / S. M. Garner. Hoboken : Scrivener Publishing LLC, 2017. 365 p. {in English}
16. Mehrdad Ghamari and Senthilarasu Sundaram. Solar Window Innovations: Enhancing Building Performance through Advanced Technologies. Energies, 2024. №17. 31 p. {in English}
17. Uusitalo O. Float glass innovation in the flat glass industry / O. Uusitalo. New York : Springer, 2014. 115 p. {in English}
18. Yin Z., Hannard F., Barthelat F. Impact-resistant nacre-like transparent materials. Research. Materials science. June 27, 2019. P. 1260-1263. {in English}