

РОЗДІЛ III

КОНСТРУКЦІЇ ТА МАТЕРІАЛИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОБОЛОНКИ БУДІВЕЛЬ

3.1. Теплоізоляційні матеріали енергоефективних елементів оболонки будівель

3.1.1. Традиційні теплоізоляційні матеріали [53]

Теплоізоляційними називають будівельні матеріали для теплової ізоляції огорожувальних конструкцій будівель, промислового та енергетичного обладнання й трубопроводів. Ці матеріали повинні мати коефіцієнт теплопровідності, не вищий ніж $0,17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, та середню густину не більш як $500 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Використання теплоізоляційних матеріалів дає змогу виготовляти стінні панелі та конструкції покриттів, що знижує матеріаломісткість та масу будівель.

Світова та вітчизняна будівельна індустрія пропонує сьогодні досить широкий вибір теплоізоляційних матеріалів, кожен з яких має свої технічні характеристики та галузь застосування.

Усі теплоізоляційні матеріали можна класифікувати:

- за призначенням – будівельна та технічна ізоляція (які в свою чергу можуть бути поділені за більш вузькими сферами застосування: для покрівлі, стін, підлоги тощо);
- за формою виконання – у вигляді матів, плит та циліндрів;
- за характером обробки – фольговані, гідрофобізовані, з паперовим покриттям, металевою сіткою, пластиком, склополотном тощо);
- за стійкістю до впливу вогню – негорючі та важкогорючі;
- за щільністю – м'які, напівжорсткі, жорсткі.

Головним показником теплоізоляційних матеріалів є коефіцієнт теплопровідності λ , за значенням якого їх поділяють на три класи;

клас А — малотеплопровідні [$\lambda < 0,058 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$];

клас Б — середньотеплопровідні [$\lambda = 0,058 \dots 0,116 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$];

клас В — підвищеної теплопровідності [$\lambda > 0,180 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$].

Теплоізоляційні матеріали класифікують за середньою густиною, яка дає достатнє наближене уявлення про теплопровідність. За цим показником матеріали поділяють на марки, $\text{кг}/\text{м}^3$:

ОЛ (особливо легкі) — 15, 25, 35, 50, 75, 100;

Л (легкі) — 125, 150, 175, 200, 250, 300;

Т (важкі) — 400, 450, 500, 600.

До властивостей теплоізоляційних матеріалів висувають ряд вимог:

- низька теплопровідність ;
- стійкість до коливань температур при експлуатації;
- однорідність властивостей;
- оптимальна густина;
- низький рівень займистості і вибухонебезпечності;
- міцність при транспортуванні і монтажі;
- волого та водостійкість;
- стійкість до атмосферних впливів;
- стійкість до впливу комах;
- хімічна стійкість;
- нешкідливість для людини.

Здатність утримувати повітря – одна з найважливіших характеристик теплоізоляційного матеріалу, так як повітря володіє низькою теплопровідністю. В табл. 3.1. містяться дані теплопровідності різних будівельних матеріалів, залежно від їх густини.

Таблиця. 3.1

Теплопровідності різних будівельних матеріалів, залежно від їх густини

Матеріал	Середня густина, кг/м ³	Теплопровідність, Вт/м·К
Скловолокно	100-150	0,045-0,060
Мінеральна вата	15-300	0,042-0,05
Пінополістирол	10-45	0,038-0,05
Пінополіуретан	20-80	0,036
Деревина	300-900	0,10-0,23
Цегла	980-2000	0,45-0,90
Легкий бетон	300	0,10
	900	0,35
Важкий бетон	1000-1500	0,38-0,60
	2000	1,18
	2400	1,80

Мінеральна вата

Мінеральна вата — це волокнистий матеріал, що отримується з розплавів гірських порід (зокрема базальту), металургійних шлаків та їх сумішей . Провідні світові виробники мінеральної вати як сировину використовують виключно гірські породи, що дає змогу отримувати продукцію вищої якості з

тривалим періодом експлуатації. Мінеральна вата, отримана з відходів металургійного виробництва, має гірші експлуатаційні властивості, тому її застосування виправдано лише при спорудженні тимчасових будівель та конструкцій. В Україні базальтових порід, необхідних для виробництва базальтової вати, особливо багато в Рівненській області [53].

Основною властивістю мінеральної вати є негорючість у поєднанні з високою тепло та звукоізолюючою здатністю, стійкістю до температурних деформацій, негігроскопічністю, хімічною та біологічною стійкістю, екологічністю та легкістю виконання монтажних робіт. Вироби з мінеральної вати належать до класу негорючих матеріалів. Вони ефективно протидіють поширенню полум'я й використовуються як протипожежна ізоляції для вогнезахисту. Мінеральні волокна здатні витримувати температуру понад 1000°C, однак зв'язуючий компонент починає руйнуватися вже при температурі 250°C.

Важливим параметром мінераловатних матеріалів є здатність до збереження своїх геометричних розмірів протягом всього періоду експлуатації. Це запобігає утворенню містків холоду на стиках ізоляційних плит.

Мінеральна вата негігроскопічна, вміст вологи у виробках з неї за нормальних умов експлуатації становить 0,5% від об'єму. Щоб мінімізувати водопоглинання, мінеральну вату, як правило, піддають обробці спеціальними водовідштовхуючими розчинами.

Виробам з мінеральної вати притаманна висока паропроникність. Щоб мінімізувати можливість накопичення парів вологи й утворення конденсату, мінераловатний утеплювач має бути захищеним з внутрішньої сторони пароізолюючим бар'єром. З зовнішньої сторони, навпаки, мають бути створені умови для вільного виходу парів (висихання утеплювача). За нормальних умов експлуатації теплозвукоізоляційні та механічні властивості виробів з мінеральної вати зберігаються на своєму початковому рівні протягом кількох десятків років.

Серед знаних у світі виробників мінераловатних матеріалів, які найбільш повно представлені на українському ринку, можна назвати такі компанії, як PAROC (Фінляндія), ROCKWOOL (Данія), SAINT-GOBAIN ISOVER (Франція, заводи в Польщі та Чехії), IZOMAT (Словаччина). Зокрема, компанія PAROC виготовляє з мінеральної вати теплозвукоізоляційні плити та мати різного призначення. Вони можуть застосовуватися практично в будь-яких системах утеплення огорожувальних конструкцій (TEX-COLOR, HECK, DRYVIT, ALSECCO, BAYOSAN, TERANOVA, PRO TERMO WALL SYSTEM та інших).

На ринку України широкий спектр мінераловатних утеплювачів представляє ISOVER, в тому числі матеріали для утеплення фасадів «контактним методом»

(Fascoterm, Orsil) і фасадів, що вентилюються (Polterm, Ventiterm). Широку гаму (понад 40 різновидів) теплоізоляційних матеріалів з базальтових волокон пропонує й ROCKWOOL. Для навісних фасадів рекомендовано використовувати плити PANELROCK, а для стін з тинькуванням – ROCKMUR. Асортимент виробів представлений мінераловатними плитами різної щільності та призначення, рулонними матами для ізоляції трубо і паропроводів, шкарлуп для труб, виконаних на замовлення [53].

Теплоізоляційні матеріали з базальтових волокон поставляє на ринок ряд вітчизняних виробників. Так, ірпінський комбінат «Прогрес» першим в Україні (з 1969 року) розпочав випуск надтонких волокон на основі гірських порід базальту (кам'яна вата БСТВ). Крім цього матеріалу тут виробляються м'які теплоізоляційні плити ПМТБ-2 та мати МТПБ і МПБА. Білицький завод «Теплозвукоізоляція» виробляє мати мінераловатні прошивні будівельні, плити жорсткі гідрофобізовані ПЖТЗ-14(19), придатні для утеплення зовнішніх стін. Ірпінський комбінат «Перемога» освоїв виробництво плит теплозвукоізоляційних ПМТБ завтовшки 40 мм. Київський комбінат Будіндустрія виготовляє прошиті склониткою мати з шлакобазальтового волокна у склополотні. Конкурентоспроможну продукцію випускає чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів Ротис. Перелік його продукції складають мати прошивні в обкладці із склотканини та безобкладинкові, плити м'які теплоізоляційні ПМТБ-2Б, ПМТБ-2А, мати м'які звукопоглинальні БЗМ, плити жорсткі теплоізоляційні ПЖТЗ. Житомирський завод мінераловатних виробів виготовляє мінераловатні плити гофрованої структури, які призначені для ізоляції будівельних конструкцій та трубопроводів.

Скловата

Окрім теплозвукоізоляційних матеріалів з базальту в будівництві широко застосовують матеріали з скловолокна. Цей матеріал за технологією виробництва та властивостями має багато спільного з мінеральною ватою. Для отримання скловолокна використовується та ж сама сировина, що й для виробництва звичайного скла. Щоправда, для спеціальної теплоізоляції використовується каолінова та кварцова вата, яким притаманна підвищена термостійкість. Волокна скловати зв'язуються за допомогою спеціальної в'язучої речовини (як правило, фенол-формальдегідної смоли), яка надає матеріалу потрібну жорсткість.

Вироби з скловати можуть бути вкриті алюмінієвою фольгою, скловойлоком, склотканиною, різними нетканими матеріалами тощо. Скловата є більш міцною, пружною та вібростійкою.

Вона не боїться вогню й належить до категорії негорючих матеріалів. Разом з тим, термостійкість звичайної (без спеціальних домішок) скловати дещо нижча від базальтової, хоча гранична температура використання волокнистої ізоляції на основі скляної і мінеральної вати обумовлена наявністю синтетичного зв'язуючого і становить 250°C.

Скловатні вироби використовуються поряд з мінераловатними для теплової ізоляції будівельних конструкцій, але окрім цього застосовується для ізоляції холодильного та промислового обладнання, що працює в умовах вібрації, трубопроводів і транспортних засобів. В європейських країнах частка скловолоконних теплоізоляційних матеріалів сягає 65%, однак в Україні вона є дещо нижчою.

Найбільш поширені в Україні утеплювачі зі скловати представлені торговою маркою ISOVER (Фінляндія), що є підрозділом теплоізоляційних матеріалів концерну SAINTGOBAIN. Також добре відомі на українському ринку м'які теплоізоляційні мати із скляного штапельного волокна URSA, що виробляються за технологією німецької фірми PFLEDERER у м.Чудово (Росія). Представником цієї торгової марки в Україні є ВАТ «Флайдер-Чудово».

Має своїх прихильників серед вітчизняних покупців й продукція угорської фірми SALGO-TARJANI. Скловатні утеплювачі вітчизняними підприємствами не виробляються. Можливі наслідки для здоров'я при роботі (обробка та обрізання плит) з мінеральною ватою та скловатою: подразнення шкіри і очей, а також легенів, алергія; необхідне додаткове забезпечення (рукавиці). Мінеральна вата має меншу стійкість в умовах підвищеної вологості, тому потрібно запобігати намоканню в процесі роботи, під час складування і монтажу. Крім цього, мінеральна вата містить в якості зв'язки фенолформальдегідні смоли, що спричиняє тривалу емісію в повітря вільного формальдегіду (0,02 мг/м² поверхні плит протягом години).

Пінополістирол

Пінополістирол (пінопласт) екологічно чистий, нетоксичний тепло та звукоізоляційний матеріал. У будівельній практиці цей матеріал застосовується вже протягом 40 років і зарекомендував себе як найбільш економічний та зручний у роботі утеплювач, якому притаманні високі паро та теплопровідні властивості. Стіна з пінополістиролу завтовшки лише 12 см за своїми теплозберігаючими показниками еквівалентна стіні з дерев'яного бруса завтовшки 50 см, 2-метровій стіні з цегли або 4-метровій стіні з залізобетону. Експлуатаційні витрати на опалення будинку, який утеплений пінополістиролом, втричі менші, ніж на опалення, приміром, цегляного будинку, оскільки зникає потреба прогрівання стін великої маси.

У полістирольну групу утеплювачів входять такі різновиди ізоляційних матеріалів як пінопласт М20-М30, СТИРОДУР, ІЗОФОМ, СТИРО-ФОМ, СТИРІЗОЛ та багато інших. Всі вони відповідають вимогам чинних норм щодо теплозахисних властивостей будівельних матеріалів і межі їх застосування визначаються міркуваннями пожежної безпеки. Пінопласт може використовуватися при утепленні стін «легким мокрим» способом, всередині пустотілої цегляної кладки, а також у навісних вентиляльованих фасадах. Пінополістирольні матеріали використовуються й при спорудженні монолітних будинків в опалубці, що не знімається, тобто методом, який отримав назву «термобудинок».

Низькі температури не впливають на фізико-технічні властивості пінополістиролу. Він зберігає свою форму й при тривалому нагріванні до 90°C. Високі теплозахисні властивості матеріалу виключають негативний вплив циклів заморожування-розморожування, які могли б спричинити виникнення тріщин у несучих конструкціях. Це, відповідно, подовжує термін їх експлуатації.

Крім того, зовнішні огорожувальні конструкції з використанням елементів пінополістиролу мають низьку питому вагу, що дає можливість уникнути зайвих витрат на підсилення фундаментів при реконструкції та надбудові існуючих будинків, а також значно заощадити кошти при новому будівництві.

Підприємств, що виробляють пінополістирол, в Україні – 15, їх встановлена потужність – понад 1,8 млн.куб.м на рік. При цьому Житомирський завод силікатних виробів випускає екструзійний пінополістирол, горлівський концерн «Стирол» – плити за пресовою технологією. Показники середньої густини та теплопровідності деяких будівельних матеріалів приведено в табл. 3.2 [53].

Обмеження застосування пінополістиролу

Застосування пінополістиролу обмежує його низька стійкість до дії високих температур. Без додаткового навантаження пінополістирол коротко витримує температуру 100°C, а при механічних навантаженнях довготривала термічна стійкість, яка залежить від густини, складає біля 80°C. При високих температурах токсичність пінополістиролу зростає.

Під час згорання пінополістиролу виділяється вуглекислий газ. В зв'язку з цим застосування пінополістирольних плит обмежується для утеплення існуючих будинків до 11 поверхів, а для новозбудованих – на висоту до 25 м. Пінополістирол нестійкий по відношенню до органічних розчинників.

Таблиця 3.2

Показники середньої густини та теплопровідності деяких будівельних матеріалів

Матеріал	Середня густина, кг/м ³	Теплопровідність, Вт/м·К
Залізобетон	2500	1,92-2,04
Керамзитобетон	1800	0,8-0,92
Цегла керамічна, звичайна	1800	0,5-0,6
Пінополістирол (пінопласт)	40	0,038-0,04
Плити мінераловатні:		
ISOVER KL	17	0,041
ISOVER RKL	60	0,03
ISOVER SKL	50	0,031
ISOVER OL-LA	140	0,035
PAROCAL	40	0,035
PAROCSE	40	0,035
PAROCEL	60	0,034
PAROCTL	115	0,032
ROCKWOOL (Rockmin)	29-35	0,038
ROCKWOOL (Panelrock)	70	0,037
ROCKWOOL (Rockton)	45	0,04
ROCKWOOL (Dachrock)	200	0,041
URSA П- 15	13-16	0,046
URSA n-30	26-32	0,038
URSA П-45	38-45	0,038
URSA П-75	66-75	0,037

Теплоізоляційні матеріали із спучених гірських порід

Спучений перліт виробляють подрібненням та наступним випалюванням перліту — гірської породи з групи вулканічних стекол, які містять гідратну воду (3...5%). Швидке нагрівання до 900... 1200°C розм'якшує подрібнену породу, вода при цьому переходить у пару й спучує зерна, збільшуючи об'єм у 5-10 разів. Пористість зерен становить 80...90%.

Насипна густина спученого перлітового піску залежно від родовища становить 75...250 кг/м³, а щебеню — до 500 кг/м³. Коефіцієнт теплопровідності 0,046...0,80 Вт/(м·К) при 25 °С.

На основі спученого перлітового піску створюють різні композиційні матеріали для теплової ізоляції залежно від зв'язуючої речовини: на бітумній зв'язці — бітумперліт, на керамічній — керамоперліт, на рідкому склі — склоперліт, на синтетичній зв'язці — пластперліт, на гіпсі — гіпсоперліт. Ці композиції застосовують для виготовлення теплоізоляційних виробів — плит, шкаралуп, цегли, сегменту. Цільове призначення матеріалу залежить від температури стійкості зв'язуючої речовини: від 60 °С для гіпсоперліту до 900 °С для керамоперліту.

Спучений перліт використовують як легкий заповнювач для теплоізоляційних штукатурок та легких бетонів. Спучені перлітові піски та щебінь можна використовувати як теплоізоляційну засипку з робочою температурою до 800°С, але при цьому слід враховувати, що спучений перліт добре поглинає воду і важко віддає її.

Спучений вермикуліт виготовляють подрібненням і наступним прискореним випилюванням природної гідрослюди (гідратований біотит), яка містить зв'язану воду між пластинками слюди. Швидке пароутворення при нагріванні спучує пакети пластинок у 15—20 разів порівняно з початковим об'ємом зерна.

Насипна густина спученого вермикуліту при крупності зерен 15...20 мм становить 80... 150 кг/м³, а в піску зростає до 400 кг/м³, коефіцієнт теплопровідності 0,048...0,100 Вт/(м·К) при температурі 100°С, а при температурі до 400°С збільшується і становить 0,14... 0,18 Вт/(м·К).

Застосовують спучений вермикуліт як ефективну теплоізоляційну засипку при робочій температурі до 1100°С, а також як основу для виготовлення теплоізоляційних виробів на різних зв'язках.

3.1.2. Теплоізоляційні наноматеріали

Актуальним напрямком в сучасному енергоефективному будівництві стало використання наноматеріалів.

Наноматеріали – матеріали, створені з використанням наночастинок та/або за допомогою нанотехнологій, що володіють унікальними властивостями, зумовленими присутністю цих часток в матеріалі [56]. До наноматеріалів відносять об'єкти, один з характерних розмірів яких лежить в інтервалі від 1 до 100 нм. Перспективними сучасними композитними матеріалами є такі, у яких органічна та неорганічна складові взаємодіють між собою на молекулярному рівні. Вони отримали назву «полімерні гібриди». Поняття «гібрид» було прийнято для того, щоб підкреслити, молекулярний характер взаємодії компонентів.

Виділяють два основні способи створення наноб'єктів:

1. Зменшення розміру макрооб'єктів (диспергування, дезінтегрованність, подрібнення до кластерного рівня);

2. Створення наноструктур з атомів і молекул (кристалізація), кластеризація, наноструктурування, структуроутворення, конденсація, коагуляція, полімеризація та ін.

У групі наноматеріалів виділяють такі типи:

- нанопористі структури;
- наночастинки;
- нанотрубки і нановолокна;
- нанодисперсії (колоїди);
- наноструктуровані поверхні і плівки;
- нанокристали і нанокластери;
- нанокомпозити.

У будівельній галузі дослідження фокусуються в основному на вивченні [80]:

- Мікроструктурованих поверхнях;
- Термохромном, фотохромном, електрохромном «розумному склінні»;
- Пористих матеріалах, що утримують повітря або інші гази.
- Тонких плівках, шарах та поверхнях;
- Наночасток / нанокомпозитів;
- Аерогелів;
- Матеріалів, що мають здатність до самоорганізування;
- Мезопористих матеріалах;
- Вуглецевих нанотрубок.

Нанотехнології у виробництві теплоізоляційних матеріалів та конструкцій

«Зелений поліуретан» (*Green PolyurethaneTM Foam*) є першим у світі модифікованим гібридним поліуретаном (HNIPU), виготовленим без використання небезпечних ізоціанатів у процесі виробництва. «Зелений поліуретан» є потенційною заміною існуючих поліуретанів, які використовують ізоціанати під час виробництва, особливо тих, які залишають вільні ізоціанати в аерозольній формі. Унікальна формула *Green Polyurethane* поєднує в собі кращі механічні властивості поліуретану та хімічно стійкі властивості епоксидних зв'язуючих.

Таблиця 3.3

Порівняння звичайної поліуретанової піни (Conventional PUF) та гібридної нанополіуретанової піни (HNIPU) [79]

Characteristics	Conventional PUF	HNIPU foam
Apparent density, kg/m ³	30 – 100	30 – 100
Stress at break, MPa	0.15 – 1.0	0.2 – 1.5
Thermal conductivity, W/mK	0.8 – 1.0	0.8 – 1.0
Number of closed cells, at least %	30 – 90	30-90
Water absorption, vol. %	2.5 – 3.5	2.5 – 3.5
Field of use	Non-dwelling housing	No restrictions



Рис. 3.1. «Зелений поліуретан» тверда та пружна форма

Прозорі наногелі (аерогелі), відкриті Семюелем Кістлером в Тихоокеанському коледжі (College of the Pacific) в Стоктоні, Каліфорнія, США, що у 1931 році опублікував свої результати у журналі Nature.

Аерогель – наноматеріал створений на основі діоксиду кремнію відомий так само під назвами «блакитний дим», «твердий дим» є найлегшим твердотілим матеріалом, який має особливі теплоізоляційні властивості зумовлені нанопористою структурою (1-100нм) та низькою густиною (3-250 кг/м³) [81].

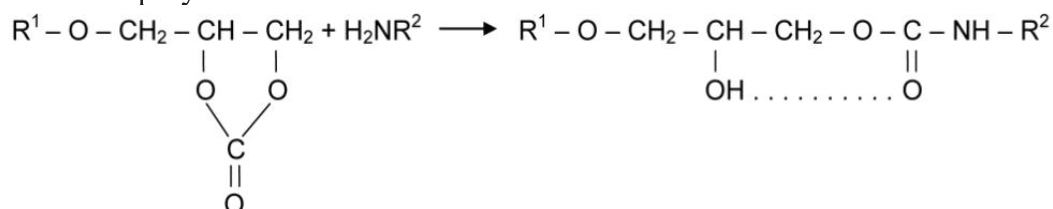
Хімічні властивості «Зеленого поліуретану» [80]

Green Polyurethane™ Technical Description

The number and scope of polyurethane-based material applications have increased significantly compared to other thermosetting polymer materials. Nevertheless, despite the favorable mechanical properties of conventional monolithic polyurethanes, they are still porous, possess poor hydrolytic stability and insufficient permeability. Furthermore, the addition of toxic components in the formulation of monolithic polyurethanes, such as isocyanates, makes their production extremely toxic and dangerous.

Polyurethanes also have inherent weaknesses due to their molecular composition. Within the polymer structure of polyurethanes are hydrolytically unstable bonds that make it vulnerable to environmental degradation. By modifying the structure of the polymer, NTI has introduced a promising new method of raising hydrolytic stability as demonstrated in its non-isocyanate Green Polyurethane™ — a modified polyurethane material with lower permeability, increased resistance properties and safer fabrication process as compared to conventional PU.

NTI's network non-isocyanate polyurethanes are formed as a result of the reaction between cyclocarbonate oligomers and primary amine oligomers. This reaction forms an intra-molecular hydrogen bond through the hydroxyl group at the α -carbon atom of the polyurethane chain as illustrated below:



Quantum-mechanical calculation, IR and NMR spectroscopic investigations have confirmed the stability of such intra-molecular hydrogen bonds. The blockage of carbonyl oxygen considerably lowers the susceptibility of the whole urethane group to hydrolysis. Moreover, materials containing intra-molecular hydrogen bonds display a chemical resistance, which is 1.5-2 times more than materials of similar chemical structure without such bonds.

The above Green Polyurethane™ structure, due to its chemical similarity to conventional polyurethanes, and also to epoxies, also warrants the use of the term 'hybrid' in its name: «hybrid non-isocyanate polyurethane.» Polyoxypropylene triols and epoxydized vegetable oils are used as raw materials for the preparation of Green Polyurethane™.

Теплопровідність аерогелю складає всього лише 0013 ~ 0.025 Вт/(м·К), пористість структури – 80-99,8%, питома поверхня – 1000 м²/г.

Неорганічні ізоляційні матеріали на основі аерогеля для будівництва.

Ізоляційні матеріали на основі аерогеля являють собою неорганічні мати в основу яких, в якості основної складової, входить аерогель.

Таблиця 3.5

Технічні показники матеріалів на основі аерогеля

Показник	Значення
Густина, кг/м ³	180-200
Теплопровідність, Вт/(м·К)	0,013-0,020
Крайовий кут змочування	> 99°
Клас пожежної безпеки	A1

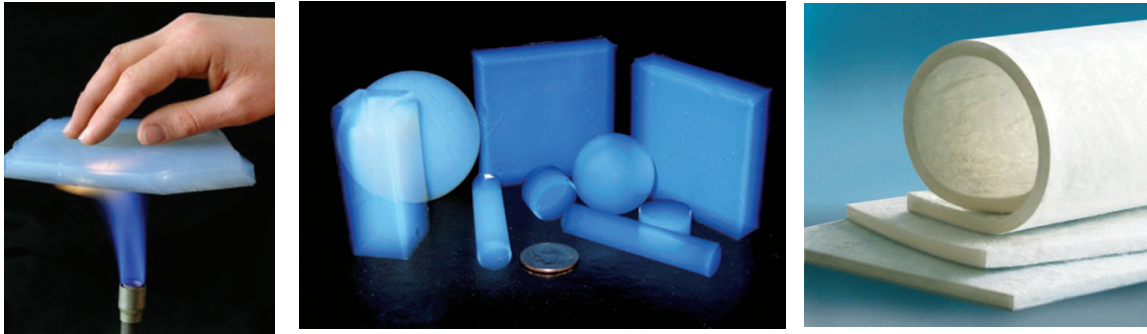


Рис. 3.2. Аерогель та мати на основі аерогеля

Нанотехнології у виробництві світлопрозорих конструкцій

В області виробництва світлопрозорих конструкцій компанія «Фототех» (Росія) реалізувала серійний випуск захисних та протипожежних будівельних світлопрозорих енергозберігаючих конструкцій з використанням деяких нанотехнологічних процесів, а саме: нанесення реакційно-здатних адгезійних наночарів, ламінування листового скла з плівками рідкокристалічних нано дисперсій, а також ламінування скла з електропровідними поверхнями для виготовлення багатошарового композиційного скла зі спеціальними властивостями [55].

З метою зниження теплового впливу сонячного світла, розроблене так зване «*смайт-скло*» – скло з керованим світлорозсіюванням.

Існують світлопрозорі конструкції з використанням тонування (пофарбовані в масі), а також енергозберігаюче скло з нанесеними на поверхню тепло- та світловідбиваюче покриття. Скло цього типу дозволяє значно зменшити потік

теплової радіації у складі видимої та ближньої частині спектру сонячного випромінювання. Однак, застосування такого скла в світлопрозорих конструкціях призводить до значного зменшення освітленості всередині приміщень і, як наслідок, помітного збільшення споживання електроенергії на внутрішнє освітлення в сутінках і при похмурій погоді.

Смарт-скло – матове, тобто володіє сильним світлорозсіюванням, знижуючи теплове навантаження на приміщення більш ніж в два рази. Під дією електричного поля таке скло зворотньо просвітлюється, що призводить до збільшення освітленості в приміщенні, що бажано при припиненні дії прямих сонячних променів. Крім того, смарт-скло може бути використане для зовнішнього та внутрішнього скління.

В основі дії смарт-скла лежить ефект орієнтації рідких кристалів електричним полем. При виробництві смарт-скла зазвичай використовуються в якості заготовки композиційні плівки, що складаються з полімерної ПВС матриці, всередині якої є дисперговані рідкі кристали з розмірами 50-100 нм, і двох зовнішніх ПЕТФ плівок з електропровідним покриттям, до яких необхідно підвести електричну напругу 20-100 вольт. З'ємники струму спеціальним чином приклеюються до електропровідного покриття, а потім композиційна смарт-плівка ламінується між склом.

Другим винаходом є *скло з електрообігрівом*, для застосування у зенітних ліхтарях. З метою запобігання порушенню прозорості зенітних ліхтарів в зимовий період, у склопакетах використовується скло з електрообігрівом. Можливість електрообігріву скла досягається шляхом нанесення струмопровідних прозорих наноплівок на поверхню скла та їх подальше триплексування.

Світлопрозорі струмопровідні наночасинки на поверхні скла найчастіше формуються шляхом пірогідролітичного розкладання хлористого олова. В результаті, при температурах 400-450 °C утворюються стійкі струмопровідні плівки олова та його окислів товщиною 30-70 нм. За допомогою спеціальних методик до скла з боку електропровідних наночасин «приклеюються» струмозійомники і, для поліпшення фізико-механічних властивостей композиції, а також захисту струмознімачів, скло ламінується, після чого збирається склопакет.

Ще одна інновація у галузі нанотехнології у виробництві світлопрозорих конструкцій – *покриття Cool-Colors* для захисту кольорових ПВХ вікон від інфрачервоного випромінювання. Завдяки особливим пігментам плівка відбиває до 80% теплових променів і перешкоджає перегріву конструкції та приміщення, збільшуючи термін служби рами, знижуючи витрати на кондиціонування.