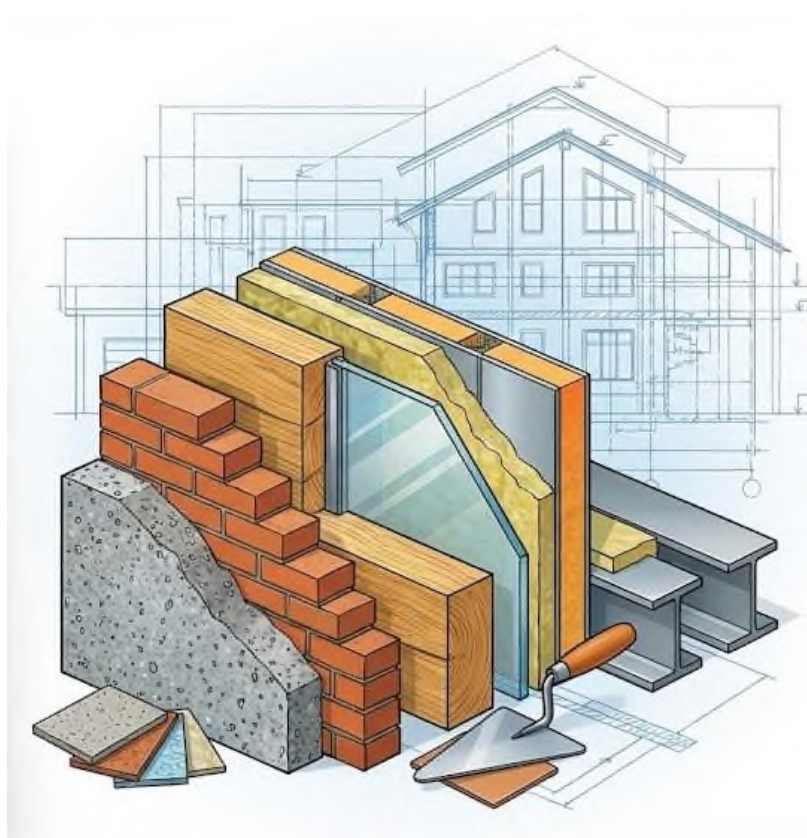


В.В. Дарієнко, В.А. Настоящий, І.О. Скриннік, Г.Д. Портнов

БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



Кропивницький

ЦНТУ

2026

УДК 691(075.8)

Друкується за ухвалою Вченої ради

Центральноукраїнського національного технічного університету

(протокол № 6 від 19.01.2026 року)

Дарієнко В. В. Будівельне матеріалознавство : навч. посібник / В. В. Дарієнко, В. А. Настоящий, І. О. Скриннік [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 117 с.

Рецензенти:

П.І. Довченко, генеральний директор. Заслужений будівельник України (ТОВ "Проектно-вишукувальний інститут "Агропроект");

І.В. Казаченко, директор ТОВ "Виробнича лабораторія Будстандарт";

М.І. МакаРСкий, директор ТОВ "Агроінжиніринг".

У навчальному посібнику комплексно висвітлено теоретичні основи та практичні аспекти сучасного будівельного матеріалознавства. Видання охоплює повний спектр матеріалів, що використовуються у сучасному будівництві: від природних кам'яних матеріалів та кераміки до складних композитів, бетонів, металів та полімерів.

Детально розглянуто генезис, склад та мікроструктуру матеріалів, їхні фізико-механічні, хімічні та експлуатаційні властивості. Значну увагу приділено технологічним процесам виробництва в'язучих речовин, стінових, оздоблювальних та ізоляційних матеріалів. Окремі розділи присвячені інноваційним рішенням у сфері гідроізоляції, герметизації та захисту конструкцій від агресивного впливу навколишнього середовища. Матеріал викладено з урахуванням діючих нормативних вимог та стандартів якості.

Копіювання, сканування, запис на електронні носії і тому подібне навчального посібника в цілому або будь-якої його частини заборонено!

Центральноукраїнський національний технічний університет.
© В.В. Дарієнко, В.А. Настоящий, І.О. Скриннік, Г.Д. Портнов

ЗМІСТ

Вступ	1
Розділ 1. Теоретичні основи матеріалознавства	4
1.1. Будова та склад матеріалів	4
1.2. Класифікація будівельних матеріалів.....	7
1.3. Основні властивості матеріалів.....	10
Розділ 2. Природні кам'яні матеріали	15
2.1. Класифікація гірських порід.....	15
2.2. Видобування та обробка.....	18
2.3. Види виробів.....	19
2.4. Захист від руйнування.....	22
Розділ 3. Керамічні матеріали та вироби	24
3.1. Сировина: склад та технологічні властивості.....	24
3.2. Технологія виробництва.....	25
3.3. Стінові вироби.....	27
3.4. Оздоблювальна та спеціальна кераміка.....	30
Розділ 4. Скло та матеріали з мінеральних розплавів	32
4.1. Скло: склад, сировина та технологія виробництва.....	32
4.2. Види будівельного скла.....	36
4.3. Вироби зі скла.....	38
4.4. Склокристалічні матеріали та кам'яне литво.....	40
Розділ 5. Металеві матеріали та вироби	43
5.1. Загальна характеристика та класифікація.....	43
5.2. Чорні метали.....	43

5.3. Металеві вироби.....	45
5.4. Кольорові метали та сплави.....	47
Розділ 6. Неорганічні в'язучі речовини.....	50
6.1. Повітряні в'язучі речовини.....	50
6.2. Гідравлічні в'язучі речовини.....	53
Розділ 7. Бетони та будівельні розчини.....	58
7.1. Класифікація бетонів.....	58
7.2. Важкий бетон.....	59
7.3. Легкі бетони.....	61
7.4. Спеціальні бетони.....	62
7.5. Будівельні розчини.....	62
7.6. Сухі будівельні суміші (СБС).....	63
Розділ 8. Залізобетонні вироби та конструкції.....	66
8.1. Сутність залізобетону.....	66
8.2. Види арматури.....	67
8.3. Технологія виготовлення.....	68
8.4. Номенклатура виробів.....	70
Розділ 9. Штучні кам'яні матеріали (безвипалювальні).....	73
9.1. Автоклавні матеріали.....	73
9.2. Гіпсові вироби.....	75
9.3. Асфальтоцементні та фіброцементні вироби.....	76
Розділ 10. Органічні в'язучі та матеріали на їх основі.....	79
10.1. Бітуми та дьогті.....	79
10.2. Асфальтові бетони та розчини.....	81

10.3. Покрівельні та гідроізоляційні матеріали.....	82
Розділ 11. Полімерні матеріали і пластмаси.....	86
11.1. Склад пластмас.....	86
11.2. Вироби з пластмас.....	88
11.3. Композиційні матеріали.....	90
Розділ 12. Деревинні матеріали.....	92
12.1. Будова та властивості деревини.....	92
12.2. Захист деревини.....	96
12.3. Вироби з деревини.....	97
Розділ 13. Функціональні матеріали.....	101
13.1. Теплоізоляційні матеріали.....	101
13.2. Акустичні матеріали.....	104
13.3. Лакофарбові матеріали.....	105
Список використаних джерел.....	109

ВСТУП

Предмет, мета та задачі курсу

Будівельне матеріалознавство є фундаментальною прикладною дисципліною, яка формує базу знань, необхідну для фахівців будівельної та архітектурної галузей. Предметом вивчення дисципліни є будівельні матеріали у нерозривному зв'язку з їхнім складом, будовою та властивостями, а також їхня поведінка в конструкціях під час експлуатації. Наукова сутність дисципліни полягає у встановленні закономірностей між складом, технологією виготовлення, структурою матеріалу та його кінцевими будівельно-технічними характеристиками.

Метою вивчення курсу є набуття компетенцій щодо раціонального вибору матеріалів, який базується на глибокому розумінні процесів структуроутворення та змін властивостей під впливом фізико-хімічних та механічних чинників. Серед основних завдань дисципліни виділяють прогнозування надійності та довговічності матеріалів, освоєння методів оцінки їхньої якості, а також вивчення технологій виробництва як традиційних, так і новітніх ефективних виробів.

Роль матеріалів у будівництві та техніко-економічні аспекти

Якість сучасного будівництва, архітектурна виразність об'єктів та їхня функціональна довговічність безпосередньо залежать від властивостей застосовуваних матеріалів. Будівельні матеріали складають вагомую частку в економіці будівництва: їхня вартість у загальних витратах на будівельно-монтажні роботи сягає 50–70%.

Від професійно обґрунтованого вибору матеріалів залежить не лише фізична, а й моральна довговічність споруд. Економія на якості матеріалів, особливо тих, що виконують захисні або оздоблювальні функції, є недоцільною, оскільки може призвести до передчасного руйнування конструкцій та виникнення аварійних ситуацій. Сучасний підхід до будівництва вимагає використання матеріалів, що забезпечують зниження матеріаломісткості, підвищення енергоефективності та відповідають екологічним стандартам безпеки.

Еволюція будівельних матеріалів: від традицій до інновацій

Розвиток цивілізації нерозривно пов'язаний з еволюцією матеріалів. Історично людство пройшло шлях від використання природної сировини (камінь, деревина, глина) в епоху неоліту до створення штучних матеріалів, таких як кераміка, метали та бетон. Кожна епоха характеризувалася домінуванням певного виду матеріалу, що визначало рівень технічного розвитку суспільства.



Рисунок 1 – Еволюція будівельних матеріалів

Сучасний етап розвитку будівельного матеріалознавства базується на союзі науки та інженерії. Він характеризується переходом до створення композиційних матеріалів, які поєднують позитивні властивості різних компонентів і дозволяють досягати унікальних характеристик, наприклад, питомої міцності, що значно перевищує показники сталі. Перспективними напрямками є розробка високоміцних бетонів, полімерних композитів, використання нанотехнологій та впровадження систем «сухого будівництва».

Теоретичні основи: склад і структура

Ключовим принципом матеріалознавства є залежність властивостей від складу та структури речовини. Склад матеріалів оцінюють за хімічними, мінеральними та фазовими показниками, що дозволяє прогнозувати такі характеристики, як вогнестійкість, біостійкість та механічна міцність.

Структура будівельних матеріалів розглядається на трьох основних рівнях:

1. Макроструктура — будова, видима неозброєним оком (наприклад, конгломератна, пориста, шарувата).

2. Мікроструктура — будова, що досліджується за допомогою оптичної мікроскопії.

3. Внутрішня будова — рівень молекулярно-іонних зв'язків, що вивчається методами рентгеноструктурного аналізу та електронної мікроскопії.

Стандартизація та нормування якості

Для забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів в Україні діє система стандартизації. Основні вимоги до якості матеріалів, методів їх випробувань, правил транспортування та зберігання регламентуються нормативними документами: Державними стандартами України (ДСТУ) та Технічними умовами (ТУ).

Проектування та виконання будівельних робіт регулюються Державними будівельними нормами (ДБН). Стандартизація виконує функцію встановлення оптимального рівня якості продукції та уніфікації вимог, що має силу закону для всіх учасників будівельного процесу. Марка будівельного матеріалу є ключовим умовним показником, що встановлюється за основними експлуатаційними характеристиками, такими як міцність, морозостійкість або середня густина.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

1.1. Будова та склад матеріалів

Фундаментальним принципом сучасного будівельного матеріалознавства є визнання глибокого й нерозривного взаємозв'язку в тріаді «склад — будова (структура) — властивості». Ця концепція стверджує, що експлуатаційні характеристики будь-якого матеріалу, від бетону до полімерів, не є випадковими, а жорстко детерміновані його хімічним, мінералогічним та фазовим складом, а також будовою речовини на всіх масштабних рівнях — від макроструктури до мікро- та нанорівня.

Розуміння цих закономірностей трансформує підхід до будівництва: воно дозволяє перейти від пасивної констатації фактів до активного інженерного проектування матеріалів. Глибокий аналіз структури дає змогу не лише з високою точністю прогнозувати поведінку матеріалів у реальних конструкціях під впливом навантажень та агресивного середовища, а й, що найважливіше, цілеспрямовано керувати технологічними процесами. Змінюючи рецептуру або параметри обробки, ми можемо регулювати якості матеріалу ще на етапі його виробництва, отримуючи продукти із заздалегідь заданими параметрами міцності, довговічності та надійності.

Рівні вивчення структури

Під структурою будівельних матеріалів розуміють просторове розташування структурних елементів, їх форму, розміри та характер взаємозв'язків між ними. Оскільки будівельні матеріали є складними системами, їхню будову прийнято розглядати на трьох ієрархічних рівнях, що розрізняються за масштабом:

1. **Макроструктура** — це будова матеріалу, яку можна дослідити неозброєним оком або за незначного збільшення. На цьому рівні розрізняють такі типи будови:

- *Конгломератна* (наприклад, бетон, де зерна заповнювача скріплені в'язучою речовиною).
- *Комірчаста або пориста* (газобетон, пінопласти).
- *Волокниста* (деревина, склопластики).

◦ *Шарувата* (фанера, листові пластики).

◦ *Пухкозерниста* (сипучі матеріали, такі як пісок чи гравій).

Макроструктура дозволяє оцінити наявність видимих дефектів (тріщин, раковин), характер пористості та розподіл компонентів у композиті.



1. Конгломератна: Зріз важкого бетону.



2. Комірчаста: Зріз газоблоку.



3. Волокниста: Зріз деревини.



4. Шарувата: Торець фанери.



5. Пухкозерниста: Жменя піску.

Рисунок 1.1 – Типи макроструктури

2. Мікроструктура — рівень будови, що вивчається за допомогою оптичної мікроскопії (розмір елементів від 10^{-7} до 10^{-4} м). Мікроструктурний аналіз дозволяє ідентифікувати фазовий склад, наприклад, розрізняти кристалічні та склоподібні фази у кераміці, досліджувати новоутворення у цементному камені або дефекти кристалічної решітки. Саме на цьому рівні часто визначається кореляція між технологією виготовлення та кінцевими властивостями матеріалу.

3. Внутрішня будова речовини (атомно-молекулярний рівень) — це будова на рівні молекул, атомів та іонів (розміри менше 10^{-9} м), що вивчається методами рентгеноструктурного аналізу, електронної мікроскопії та спектроскопії. На цьому рівні матеріали поділяють на:

◦ *Кристалічні* — характеризуються впорядкованим розміщенням атомів та анізотропією властивостей (неоднаковістю властивостей у різних напрямках), мають чітку температуру плавлення (наприклад, метали, кварц).

◦ *Аморфні* — характеризуються неупорядкованим розташуванням частинок, ізотропією та відсутністю фіксованої точки плавлення (наприклад, скло, бітуми).

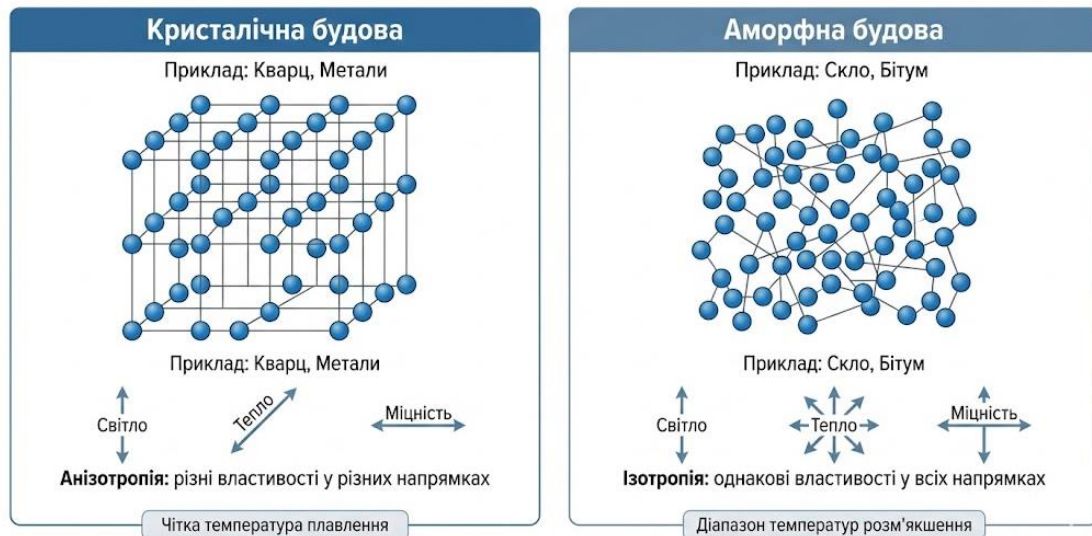


Рисунок 1.2 – Кристалічна і аморфна будова речовин

Зв'язок складу із властивостями матеріалу

Властивості будівельних матеріалів є похідними від їхнього складу, який прийнято класифікувати за трьома основними категоріями:

1. **Хімічний склад** — виражається процентним вмістом хімічних елементів або оксидів. Цей показник є базовим для оцінки таких характеристик, як вогнестійкість, хімічна стійкість (опірність кислотам, лугам), біостійкість, а також механічні параметри. Наприклад, в мінеральних неметалевих матеріалах переважають оксиди SiO_2, CaO, Al_2O_3 та інші, співвідношення яких визначає кінцеві властивості виробу.

2. **Мінеральний склад** — показує, які саме мінерали та в якій кількості утворилися з наявних хімічних елементів. Оскільки кожен мінерал має свої унікальні фізичні властивості, їх сукупність формує характеристики всього матеріалу. Наприклад, граніт складається з кварцу, польового шпату та слюди; висока міцність граніту обумовлена властивостями цих мінералів та їх міцним зчепленням. Зміна мінерального складу, навіть за незмінного хімічного, може радикально змінити властивості матеріалу (явище поліморфізму).

3. **Фазовий склад** — характеризує матеріал як систему, що може складатися з твердої речовини (каркасу, що утворює стінки пор) та пор, заповнених повітрям або водою. Фазовий стан води у порах (рідкий або твердий) критично впливає на поведінку матеріалу при експлуатації, зокрема на його морозостійкість та теплопровідність.

Таким чином, для створення ефективних будівельних матеріалів необхідний комплексний підхід, що враховує хімічну природу компонентів, їхню мінералогічну взаємодію та формування оптимальної структури на всіх масштабних рівнях.

1.2. Класифікація будівельних матеріалів

Сучасна номенклатура будівельних матеріалів налічує тисячі найменувань, що зумовлює необхідність їхньої систематизації для раціонального вибору та застосування у проектуванні й будівництві. Класифікація дозволяє згрупувати матеріали за схожими ознаками, що полегшує вивчення їхніх властивостей та визначення сфери використання.

Класифікація за походженням

За генетичною ознакою (способом отримання) будівельні матеріали поділяють на дві основні групи:

1. **Природні матеріали.** До цієї групи належать матеріали, які видобувають із надр землі або отримують із лісових масивів і використовують у будівництві у первинному вигляді, піддаючи лише механічній обробці (розпилуванню, подрібненню, шліфуванню) без зміни їхньої внутрішньої структури та хімічного складу. Типовими представниками є деревина, природний камінь (граніт, мармур, пісок), бітуми, глина.

2. **Штучні матеріали.** Це матеріали, які створюються людиною в заводських умовах за допомогою спеціальних технологічних процесів (випалювання, плавлення, хімічного синтезу, твердіння в'язучих), що призводять до зміни структури та хімічного складу вихідної сировини. До штучних належать цемент, кераміка, скло, бетони, пластмаси, метали та композити.



Рисунок 1.3 – Природні і штучні матеріали

Класифікація за призначенням

Найбільш поширеною в архітектурно-будівельній практиці є класифікація, що базується на функціональному призначенні матеріалу та умовах його роботи в конструкції споруди.

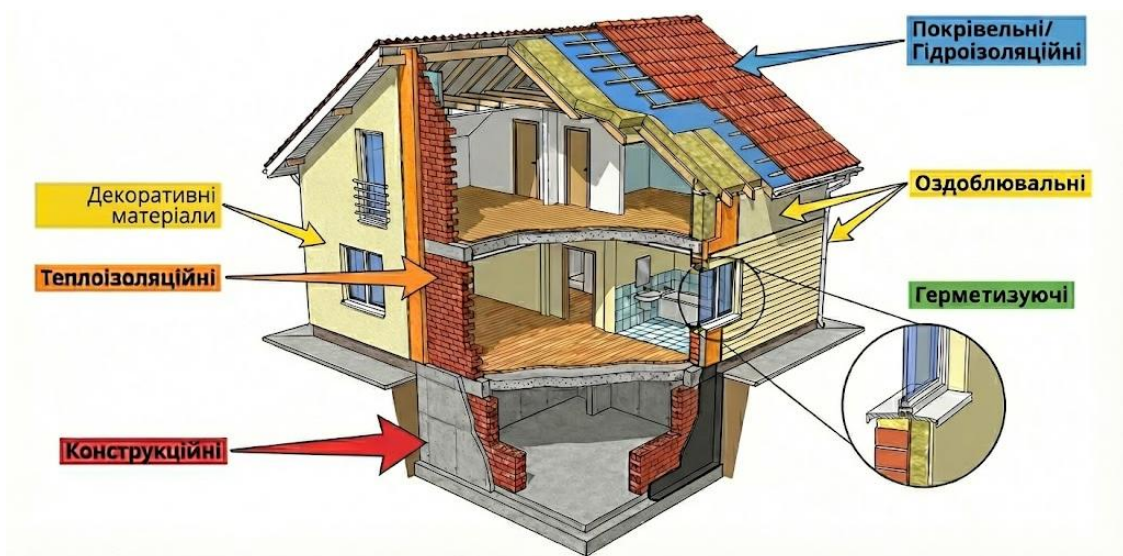


Рисунок 1.4 – Класифікація матеріалів за призначенням

Згідно з цим критерієм виділяють такі основні групи:

- **Конструкційні матеріали.** Призначені для сприйняття та передачі силових навантажень у несучих елементах будівель (фундаментах, стінах, перекриттях, каркасах). До них відносять важкі бетони, залізобетон, природний камінь, цеглу, метали, конструкційні пластмаси та скло.
- **Теплоізоляційні матеріали.** Використовуються для забезпечення необхідного теплового режиму приміщень шляхом мінімізації теплових втрат

через огорожувальні конструкції. Основними представниками є мінеральна вата, піноскло, газобетон, пінопласти.

- **Акустичні матеріали.** Застосовуються для створення комфортного акустичного середовища. Вони поділяються на звукопоглинальні (для зниження рівня шуму в приміщенні) та звукоізоляційні (для захисту від зовнішніх шумів). До цієї групи належать вироби з мінерального волокна, пористі бетони, перфоровані гіпсові плити.

- **Гідроізоляційні та покрівельні матеріали.** Призначені для створення водонепроникних шарів, що захищають будівлю від атмосферних опадів, ґрунтових вод та іншого впливу вологи. Сюди відносять рулонні матеріали (руберойд, полімерні мембрани), мастики, емульсії, черепицю, шифер, покрівельне залізо.

- **Оздоблювальні матеріали.** Виконують декоративно-художню функцію, формуючи інтер'єр та екстер'єр будівлі, а також захищають основні конструкції від зовнішніх впливів. Це керамічна плитка, природний камінь, облицювальна цегла, шпалери, лакофарбові матеріали, лінолеум, декоративні штукатурки.

- **Герметизуючі матеріали.** Використовуються для заповнення та ущільнення стиків у збірних конструкціях, забезпечення водо- та повітронепроникності з'єднань. До них належать мастики, еластичні прокладки, герметики, джгути.

Таблиця 1.1 - Класифікація будівельних матеріалів за хімічним складом та походженням

Група матеріалів	Підгрупа	Характеристика та приклади
Неорганічні (мінеральні)	Металеві	Чорні метали (сталь, чавун) та кольорові метали (алюміній, мідь, цинк) [3, 4].
	Неметалеві	Природні кам'яні матеріали (граніт, мармур), кераміка, скло, неорганічні в'язучі (цемент, вапно, гіпс), бетони та розчини [1, 5].
Органічні	Рослинного походження	Деревина та вироби з неї (фанера, ДВП, ДСП), матеріали з торфу, соломи, костриці [6, 7].
	Продукти переробки нафти та вугілля	Бітуми, дьогті, асфальт, пластмаси (полімери) [8, 9].
Комбіновані (композиційні)	Органо-мінеральні	Асфальтобетон, полімербетон, фіброліт, арболіт (деревина + цемент) [10, 2].

Класифікація за хімічною основою

Залежно від хімічного складу основних компонентів будівельні матеріали поділяються на три категорії:

1. **Неорганічні (мінеральні) матеріали.** Складають найчисельнішу групу, до якої входять природні кам'яні матеріали, кераміка, мінеральні в'язучі (цемент, вапно, гіпс), бетони, розчини, скло, а також метали.

2. **Органічні матеріали.** Основу цих матеріалів складають органічні речовини. Сюди відносять деревину та вироби з неї, бітуми, дьогті, а також синтетичні полімери (пластмаси).

3. **Комбіновані (композиційні) матеріали.** Отримуються шляхом поєднання органічних та неорганічних компонентів, що дозволяє досягти нових якісних характеристик. Прикладами є асфальтобетон (бітум + мінеральний заповнювач), полімербетони, фіброліт (деревина + цемент), арболіт.



Рисунок 1.5 – Класифікація будівельних матеріалів за хімічною основою

1.3. Основні властивості матеріалів

Для раціонального вибору та ефективного використання будівельних матеріалів необхідно всебічно оцінювати їхні властивості, які визначають здатність матеріалу виконувати свої функції в умовах будівництва та

експлуатації. Властивості класифікують на фізичні, механічні, хімічні, біологічні та експлуатаційні.

Фізичні властивості

Ця група характеристик визначає особливості фізичного стану матеріалу та його відношення до дії фізичних полів (гравітаційного, теплового) і вологи.

Параметри стану:

- **Істинна густина (ρ)** — маса одиниці об'єму матеріалу в абсолютно щільному стані, без урахування пор і пустот. Це фізична константа речовини, з якої складається матеріал.

- **Середня густина (ρ_0 або ρ_m)** — маса одиниці об'єму матеріалу в природному стані (разом із порами та пустотами). Цей показник є змінним і залежить від вологості та структури матеріалу; для пористих матеріалів середня густина завжди менша за істинну.

- **Пористість (П)** — ступінь заповнення об'єму матеріалу порами. Вона визначає основні технічні властивості: зі збільшенням пористості зазвичай знижується міцність і теплопровідність, але покращуються звукоізоляційні властивості. Розрізняють *відкриту пористість* (пори сполучаються з навколишнім середовищем і між собою) та *закриту* (ізольовані пори).

- **Пустотність** — об'єм порожнеч між зернами у сипких матеріалах (пісок, щебінь) або наявність технологічних пустот у виробках (наприклад, у пустотілій цеглі).

Гідрофізичні властивості:

- **Гігроскопічність** — здатність капілярно-пористого матеріалу поглинати (сорбувати) водяну пару з повітря. Вона залежить від температури та відносної вологості середовища, а також від природи речовини (гідрофільність).

- **Водопоглинання** — здатність матеріалу вбирати й утримувати воду при безпосередньому контакті з нею. Розрізняють водопоглинання за масою (W_m) та за об'ємом (W_v). Водопоглинання за об'ємом чисельно дорівнює

відкритій пористості, тоді як водопоглинання за масою для легких пористих матеріалів може перевищувати 100%.

- **Водостійкість** — здатність матеріалу зберігати свої міцнісні характеристики у насиченому водою стані. Кількісно оцінюється коефіцієнтом розм'якшення (K_p), який дорівнює відношенню міцності насиченого водою матеріалу ($R_{нас}$) до міцності сухого матеріалу ($R_{сух}$). Матеріали з $K_p \geq 0,8$ вважаються водостійкими.

Теплофізичні властивості:

- **Теплопровідність** — властивість матеріалу передавати теплоту крізь свою товщу за наявності різниці температур. Характеризується коефіцієнтом теплопровідності λ [Вт/(м·К)]. Теплопровідність залежить від пористості (повітря у порах є гарним ізолятором), вологості (вода проводить тепло в 25 разів краще за повітря) та температури.

- **Теплоємність** — здатність матеріалу акумулювати тепло під час нагрівання. Характеризується питомою теплоємністю (C), що показує кількість теплоти, необхідну для нагрівання 1 кг матеріалу на 1°C.

- **Вогнестійкість** — здатність конструкцій зберігати несучу здатність та цілісність під дією вогню протягом певного часу. За горючістю матеріали поділяють на негорючі (бетон, цегла), важкогорючі (асфальтобетон) та горючі (деревина, бітуми).

Механічні властивості

Ця група властивостей характеризує здатність матеріалу чинити опір деформаціям та руйнуванню під дією зовнішніх навантажень.

- **Міцність** — властивість матеріалу опиратися руйнуванню від внутрішніх напружень, що виникають під дією навантажень. Оцінюється межею міцності (у МПа) на стиск, розтяг (осьовий або при розколюванні) та вигин. Для бетонів, наприклад, міцність на стиск у 10–15 разів вища за міцність на розтяг.

- **Твердість** — здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого, більш твердого тіла. Для кам'яних матеріалів оцінюється за шкалою Мооса (від 1 для тальку до 10 для алмазу), для металів і бетону — методами вдавлення (наприклад, за Брінеллем).

- **Пружність** — здатність матеріалу відновлювати первинну форму та розміри після зняття навантаження. Характеризується модулем пружності (E).

- **Пластичність** — здатність матеріалу змінювати форму та розміри під навантаженням без руйнування і зберігати цю форму після зняття навантаження (наприклад, бітуми, глиняне тісто).

- **Крихкість** — властивість матеріалу руйнуватися раптово без помітних пластичних деформацій (скло, чавун, бетон).

- **Опір удару (ударна в'язкість)** — здатність чинити опір руйнуванню при динамічних (миттєвих) навантаженнях. Важлива для матеріалів підлог та дорожніх покриттів.

- **Стираність** — здатність матеріалу зменшуватися в об'ємі та масі під дією стиральних зусиль (абразивного зносу).

Хімічні та біологічні властивості

Характеризують здатність матеріалу чинити опір руйнівній дії агресивних середовищ та живих організмів.

- **Корозійна стійкість** — здатність матеріалу опиратися руйнуванню під дією хімічних, електрохімічних та фізико-хімічних процесів. Розрізняють хімічну (газову) та електрохімічну (у водних середовищах) корозію.

- **Кислото- та лугостійкість** — здатність протистояти дії розчинів кислот і лугів. Наприклад, керамічні матеріали є кислотостійкими, а бетон на портландцементі руйнується кислотами, але є стійким до лугів.

- **Біостійкість** — здатність матеріалу протистояти впливу біологічних агентів: мікроорганізмів (бактерій), грибків (плісняви), комах. Це особливо важливо для органічних матеріалів, таких як деревина.

Експлуатаційні властивості

Є комплексними характеристиками, що визначають ефективність роботи матеріалу в конструкції протягом часу.

- **Довговічність** — здатність матеріалу зберігати свої робочі властивості до граничного стану в конкретних умовах експлуатації протягом заданого часу.

- **Надійність** — властивість матеріалу виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в установлених межах протягом необхідного проміжку часу. Вона включає безвідмовність та збережаність властивостей.

- **Сумісність** — здатність різнорідних матеріалів або компонентів композитів утворювати міцні з'єднання і спільно працювати в конструкції без взаємного негативного впливу (наприклад, сумісність арматури й бетону, що мають близькі коефіцієнти температурного розширення).

Таблиця 1.2 - Вплив структури на властивості матеріалів

Тип структури / Пор	Вплив на міцність	Вплив на теплопровідність	Вплив на морозостійкість	Приклади матеріалів
Щільна (безпориста)	Дуже висока	Висока (матеріал добре проводить тепло)	Висока (вода не проникає всередину)	Сталь, скло, граніт, клінкер [20].
Дрібнопориста замкнута	Середня / Низька	Низька (хороший теплоізолятор)	Висока (вода не заповнює замкнуті пори)	Піноскло, пінополістирол, ніздрюваті бетони [20].
Великопориста відкрита	Низька	Середня (можлива конвекція повітря в порах)	Низька (вода легко проникає і замерзає, руйнуючи матеріал)	Деякі види легкої цегли, вапняк-черепашник [21].
Волокниста	Залежить від напрямку волокон (анізотропія)	Низька (утримує повітря між волокнами)	Середня (потребує захисту від зволоження)	Деревина, мінеральна вата [22].

Контрольні питання до розділу 1:

1. Назвіть три ієрархічні рівні вивчення структури будівельних матеріалів та вкажіть орієнтовний масштаб елементів для кожного з них.
2. Які типи макроструктури розрізняють у будівельних матеріалах? Наведіть приклад матеріалу з конгломератною будовою.
3. У чому полягає принципова різниця між кристалічною та аморфною будовою речовини щодо анізотропії властивостей та наявності фіксованої температури плавлення?
4. Поясніть різницю між хімічним та мінеральним складом матеріалу. Чи може зміна мінерального складу вплинути на властивості матеріалу при незмінному хімічному складі?
5. Як фазовий стан води у порах матеріалу впливає на його експлуатаційні властивості, зокрема на теплопровідність та морозостійкість?

РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ

Природні кам'яні матеріали — це матеріали та вироби, отримані шляхом механічної обробки (дробильної, розпилювальної, тесальної) гірських порід без зміни їхньої природної структури та властивостей. Гірські породи є мінеральними агрегатами більш-менш сталого складу, що утворюють земну кору.

2.1. Класифікація гірських порід

Властивості природних кам'яних матеріалів безпосередньо залежать від умов утворення (генезису) гірської породи, її мінерального складу та структури. За походженням гірські породи поділяють на три основні групи: магматичні (вивержені), осадові та метаморфічні.

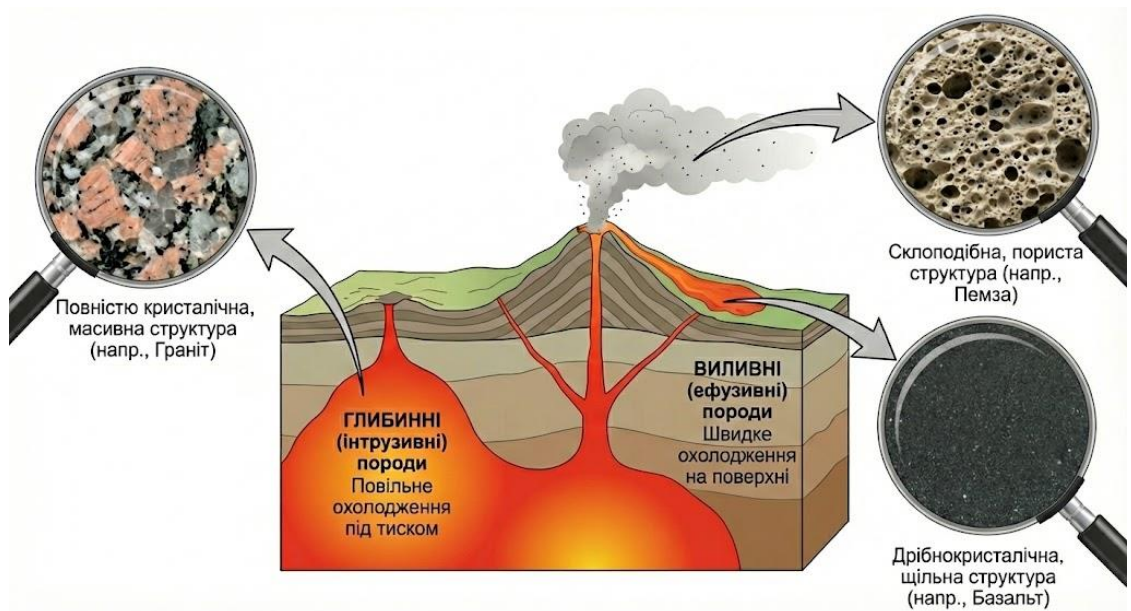


Рисунок 2.1 – Схема утворення та структури гірських порід

Магматичні (вивержені) породи Ці породи утворилися внаслідок охолодження та кристалізації розплавленої магми. Залежно від умов застигання їх поділяють на глибинні та виливні.

- **Глибинні (інтрузивні) породи** формувалися в надрах земної кори під великим тиском при повільному охолодженні. Це сприяло утворенню масивної, повністю кристалічної структури з високою щільністю та міцністю. Типовими представниками є **граніт** (складається з кварцу,

польового шпату та слюди), **габро** (темна порода без кварцу), а також сієніт та діорит.

- **Виливні (ефузивні) породи** утворилися внаслідок виходу магми на поверхню. Швидке охолодження призвело до формування дрібнокристалічної або склоподібної структури, часто з пористістю через виділення газів. До щільних виливних порід належить **базальт** (аналог габро), що має високу міцність і твердість. До пористих — **пемза** (вулканічне скло з пористістю до 80%).



Рисунок 2.2 – Процеси утворення та метаморфізму гірських порід

Осадкові породи Ці породи є вторинними і утворилися внаслідок руйнування первинних порід під дією зовнішніх факторів (води, вітру, температури) або внаслідок життєдіяльності організмів. За характером утворення їх класифікують на:

- **Механічні (уламкові) відклади:** продукти фізичного вивітрювання, що можуть бути пухкими (**пісок**, гравій, глина) або зцементованими природними в'язучими (**пісковик**, конгломерат).

- **Хімічні осади:** утворилися внаслідок випадання речовин з водних розчинів. До них належать **гіпс** ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ангідрит, доломіт, магнезит.

- **Органогенні відклади:** сформувалися із залишків тваринних організмів (зоогенні) або рослин (фітогенні). Типовими представниками є **вапняк** (складається переважно з кальциту), **крейда** (м'яка порода з черепашок найпростіших організмів) та діатоміт.

Метаморфічні породи Утворилися внаслідок перекристалізації магматичних або осадових порід у надрах землі під впливом високої температури, тиску та хімічно активних речовин, що призвело до зміни їх структури та властивостей.

- **Мармур** — продукт перекристалізації вапняків або доломітів; має високі декоративні властивості, але низьку хімічну стійкість до кислот.
- **Гнейс** — утворився з гранітів або осадових порід, має сланцювату будову.
- **Кварцит** — перекристалізований пісковик, що характеризується дуже високою міцністю та стійкістю до вивітрювання.

Таблиця 2.1 – Характеристика основних породотвірних мінералів та їх вплив на властивості каменю

Мінерал	Твердість (шкала Мооса)	Характерні особливості та вплив на породу	Приклади порід, де зустрічається
Кварц (SiO_2)	7	Надає породі високої міцності, твердості та стійкості до вивітрювання і дії кислот. Забезпечує скляний блиск [1, 3].	Граніт, кварцит, пісковик, гнейс
Польові шпати (ортоклаз, плагіоклаз)	6	Мають досконалу спайність (здатність розколюватися у певних напрямках), що полегшує обробку каменю, але знижує міцність порівняно з кварцом. Визначають колір породи (рожевий, сірий) [4, 5].	Граніт, сієніт, габро, діорит, лабрадорит
Слюди (біотит, мусковіт)	2–3	Здатні розшаровуватися на тонкі пластинки. Є шкідливою домішкою: знижують міцність, ускладнюють полірування та прискорюють вивітрювання породи [4, 2].	Граніт, гнейс
Кальцит (CaCO_3)	3	Має низьку твердість, легко дряпається ножом. Бурхливо реагує ("кипить") при взаємодії з розчином соляної кислоти, що є діагностичною ознакою. Нестійкий до дії води та кислот [2, 6].	Вапняк, мармур, крейда, мергель
Доломіт ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)	3,5–4	Стійкіший і твердіший за кальцит. Реагує з кислотою тільки у порошкоподібному стані або при нагріванні [2, 7].	Доломіт, мармур
Залізо-магнезіальні (авгіт, рогова обманка)	5–6	Темнозбарвлені мінерали, що надають породі темного (зеленого, чорного) кольору та високої ударної в'язкості (міцності на удар) [8, 9].	Габро, базальт, діорит, діабаз

2.2. Видобування та обробка

Вибір способу видобування каменю залежить від твердості породи та залягання пласта.



Рисунок 2.3 – Методи видобутку породи

- **Буровибуховий метод:** застосовується для розробки родовищ твердих порід (граніт, кварцит). Метод полягає у відділенні брил від масиву за допомогою вибухових речовин, закладених у шпури. Недоліком є утворення тріщин у матеріалі та велика кількість відходів.

- **Каменерізальний метод (розпилювання):** використовується для порід середньої та малої твердості (вапняк, туф). Блоки вирізають безпосередньо з масиву за допомогою каменерізальних машин з дисковими, канатними або ланцюговими пилками. Цей метод дозволяє отримувати блоки правильної форми без внутрішніх тріщин.



Рисунок 2.4 – Спектр фактур обробки каменю

- **Клиновий спосіб:** відокремлення блоків за допомогою гідравлічних або механічних клинів, що забиваються у попередньо пробурені отвори.

Обробка поверхні (фактурна обробка) Для надання виробам декоративного вигляду та необхідної фактури застосовують різні види механічної обробки:

- **Ударна обробка:** дозволяє отримати фактури типу «скеля» (грубий скол), рифлену або точкову поверхню. Виконується закольниками, бучардами та іншим інструментом.

- **Абразивна обробка:** включає розпилювання, шліфування (отримання матової рівної поверхні) та полірування (отримання дзеркального блиску, що повністю розкриває малюнок і колір каменю).

2.3. Види виробів

Природні кам'яні матеріали за ступенем обробки поділяють на грубооброблені та вироби правильної форми.



Бут: великі неформатні брили (для фундаментів)



Щебінь: дрібні кутасті уламки (заповнювач для бетону)

Рисунок 2.5 – Грубооброблені будівельні матеріали

1. Бутовий камінь (бут) Це великі шматки гірської породи неправильної форми.

- **Характеристики:** Розмір фракції варіюється в межах **150–500 мм**, а маса окремого каменю становить **20–40 кг**. Матеріал повинен бути однорідним, без тріщин та слідів вивітрювання.

- **Сировина:** Отримують переважно з осадових (вапняки, доломіти, пісковики) або вивержених (граніти) порід.
- **Застосування:** Використовується для мурування масивних фундаментів, зведення підпірних стінок, стін неопалюваних будівель, а також для заповнення габіонних конструкцій.

2. Щебінь Сипучий матеріал, що складається із суміші кутастих уламків каменю.

- **Характеристики:** Розмір зерен становить від **5 до 70 мм**.
- **Отримання:** Утворюється шляхом механічного дроблення гірських порід (граніту, гравію, валунів) з подальшим розсіюванням на фракції.
- **Застосування:** Є основним крупним заповнювачем для важких бетонів, забезпечуючи їм міцний скелет.

3. Облицювальні плити Високоякісні вироби правильної геометричної форми.

- **Характеристики:** Пиляні або колоті плити різної товщини (від **6 до 140 мм**) з різною фактурою лицьової поверхні (полірованою, шліфованою, бучардованою або «скеля»).
- **Сировина:** Виготовляються з декоративних та довговічних порід: граніту, мармуру, лабрадориту, травертину, щільного вапняку.
- **Застосування:** *оздоблення:* фасади, цоколі будівель (переважно граніт, лабрадорит).

4. Бруківка Штучні камені у формі брусків, що наближаються до форми паралелепіпеда або усіченої піраміди.

- **Характеристики:** Відзначається надзвичайно високою міцністю на стиск та зносостійкістю.
- **Сировина:** Виготовляється виключно з твердих вивержених порід: граніту, діабазу, базальту.
- **Застосування:** Використовується для влаштування надійних та довговічних дорожніх покриттів у місцях з інтенсивним рухом транспорту, на площах та в історичних частинах міст.



Рисунок 2.6 – Вироби з каменю правильної форми

Таблиця 2.1 – Види фактурної обробки поверхні природного каменю

Вид фактури	Характеристика поверхні	Спосіб отримання	Рекомендована сфера застосування
Полірована	Ідеально гладка, має дзеркальний блиск, чітко виявляє колір та малюнок (текстуру) каменю. Пори закриті, що підвищує довговічність [13, 10].	Обробка порошками з подальшим використанням повстяних кругів.	Внутрішнє облицювання, фасадні плити (уникати для підлог у вологих зонах — слизька).
Лощена (матова)	Гладка, оксамитова, без блиску, але з повним виявленням малюнка каменю [11].	Шліфування дрібними абразивами без фінішного полірування.	Підлоги (менш слизька, ніж полірована), зовнішнє облицювання.
Шліфована	Рівна, злегка шорстка, зі слідами обробки абразивами. Малюнок каменю згладжений [10].	Обробка шліфувальними кругами середньої зернистості.	Сходи, підлоги з інтенсивним рухом (протиковзкі властивості), цоколі.
Пиляна	Нерівномірно-шорстка з поздовжніми канавками від ріжучого інструменту (штрихами) [10].	Розпилювання каменю рамними пилами або дисками.	Облицювання фасадів, цоколів, мостіння садових доріжок.
Скеляста ("Скеля")	Груба імітація природного розколу каменю з виступами (горбами) і западинами (висота рельєфу 50–200 мм) [11].	Сколювання великих шматків каменю з лицьової поверхні закольником.	Облицювання цоколів масивних будівель, підпірні стінки, пам'ятники (для створення ефекту монументальності).
Термооброблена	Шорстка, з ефектом лущення, виглядає оплавленою або "зістареною" [10].	Обробка поверхні газовим струменем високої температури.	Зовнішні сходи, майданчики перед входом (високий ефект проти ковзання взимку).

2.4. Захист від руйнування

Кам'яні матеріали в спорудах піддаються руйнівній дії води, зміні температур (мороз), газів та біологічних факторів. Для підвищення довговічності застосовують комплекс заходів,,:

Конструктивні заходи Спрямовані на запобігання зволоженню конструкцій: надання поверхням нахилу для стоку води, влаштування карнизів, крапельників, полірування поверхні (з гладкої поверхні вода стікає швидше, ніж з шорсткої).

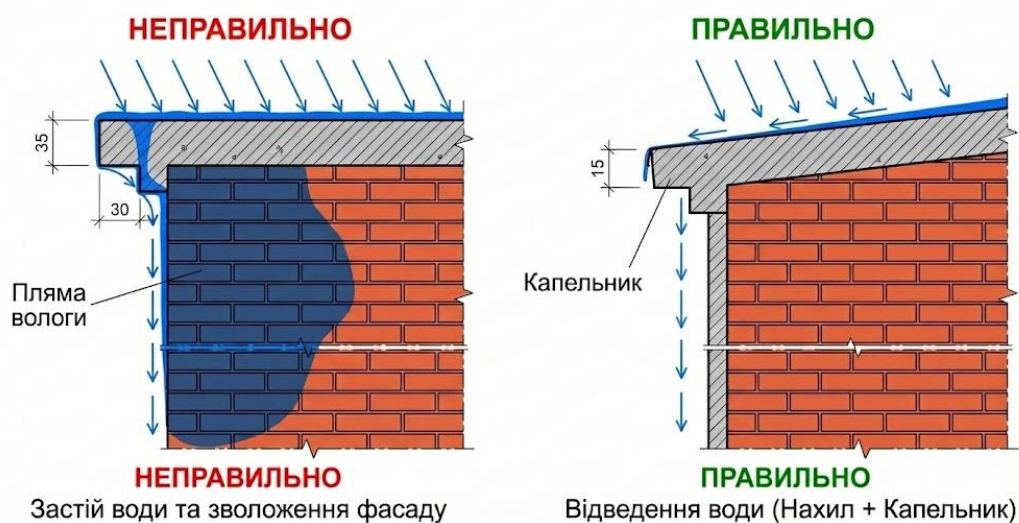


Рисунок 2.7 – Конструктивні заходи по захисту від вологи

Хімічні та фізико-хімічні заходи

- **Гідрофобізація:** обробка поверхні каменю спеціальними розчинами (кремнійорганічні рідини ГКЖ, парафін), які не закупорюють пори, а роблять стінки пор водовідштовхувальними. Це запобігає проникненню вологи всередину матеріалу.

- **Флюатування:** обробка поверхні карбонатних порід (вапняків) солями кремнефтористоводневої кислоти (флюатами). В результаті хімічної реакції утворюються нерозчинні сполуки (фторид кальцію, кремнезем), які ущільнюють поверхню каменю та підвищують його водостійкість і міцність.

- **Силікатизація:** просочення пористого каменю розчином рідкого скла з подальшою обробкою хлоридом кальцію, що призводить до утворення важкорозчинних сполук, які кольматують (заповнюють) пори.



Рисунок 2.8 – Механізми хімічного захисту пористих матеріалів

Контрольні запитання до розділу 2.

1. На які три основні групи поділяються гірські породи за умовами утворення (генезисом)?
2. У чому полягає відмінність умов формування та структури глибинних (інтрузивних) та виливних (ефузивних) магматичних порід?
3. Назвіть основні мінерали, що входять до складу граніту. Який з них забезпечує високу твердість породи?
4. Чому слюда вважається шкідливою домішкою у складі природного каменю?
5. Яка діагностична ознака дозволяє легко відрізнити кальцит (та породи на його основі) від інших мінералів?
6. На які підгрупи поділяють осадові породи за характером утворення? Наведіть приклади органогенних порід.
7. З яких вихідних порід утворилися такі метаморфічні породи: мрамур, кварцит, гнейс?
8. Який метод видобування каменю доцільно використовувати для твердих порід, а який — для м'яких (наприклад, вапняку-черепашнику)?
9. Які недоліки має буровибуховий спосіб видобування каменю порівняно з каменерізальним?
10. Опишіть особливості полірованої фактури поверхні. Для яких елементів будівлі її не рекомендується застосовувати і чому?
11. Яким чином отримують термооброблену фактуру каменю і яка її головна експлуатаційна перевага?
12. Що таке фактура «скеля» і для оздоблення яких частин будівель її зазвичай використовують?
13. Дайте визначення побутовому каменю. Які вимоги до його форми та маси?

РОЗДІЛ 3. КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

Керамічними називають штучні кам'яні матеріали та вироби, що отримуються шляхом формування та подальшого високотемпературного випалу мінеральної глинистої сировини. Завдяки довговічності, універсальності та значним запасам сировини, кераміка займає одне з провідних місць серед будівельних матеріалів.

3.1. Сировина: склад та технологічні властивості

Основним сировинним компонентом для виробництва кераміки є **глинисті гірські породи** (глини та каоліни), що утворилися внаслідок вивітрювання полевошпатових порід. Головним мінералом, що визначає властивості глин, є каолініт ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), а також монтморилоніт та гідрослюди.

Технологічні властивості сировини є визначальними для вибору способу виробництва:

- **Пластичність** — здатність глинистого тіста під дією зовнішніх сил набувати заданої форми без руйнування і зберігати її після зняття навантаження. За ступенем пластичності глини поділяють на високопластичні, середньопластичні, помірнопластичні та малопластичні. Пластичність залежить від вмісту глинистих часток (розміром менше 0,005 мм).

- **Усадка** — зменшення лінійних розмірів та об'єму напівфабрикату. Розрізняють *повітряну усадку*, що відбувається під час сушіння через видалення води, та *вогневу усадку*, яка проходить при випалі внаслідок фізико-хімічних перетворень і ущільнення черепка. Загальна усадка може досягати 10–15%.

Для регулювання властивостей до глини додають **домішки**:

- *Спіснювальні (опіснюючі)* — для зниження пластичності та усадки (шамот, пісок, шлак, зола).

- *Вигоряючі та поротвірні* — для отримання легких виробів з підвищеною пористістю (тирса, вугільний порошок, крейда).

- *Плавні* — для зниження температури випалу та спікання (польовий шпат, доломіт, залізна руда).

- *Пластифікуючі* — для підвищення пластичності (високопластичні глини, ПАР).

Таблиця 3.1 – Функціональне призначення мінеральних добавок у керамічних масах

Вид добавки	Основна функція	Приклади матеріалів	Вплив на готовий виріб
Опіснювачі (спіснювальні)	Зменшують пластичність жирних глин, знижують усадку при сушінні [9, 17].	Кварцовий пісок, шамот, дегідратована глина, шлаки, золи [10, 16].	Запобігають деформаціям та появі тріщин у сирці [10, 18].
Плавні (флюси)	Знижують температуру плавлення і спікання глини [10, 15].	Польові шпати, доломіт, магнезит, склобій, залізна руда [10, 16].	Сприяють ущільненню черепка та підвищенню його міцності [19, 20].
Пороутворювачі	Вигорають або розкладаються з виділенням газів, створюючи пори [10, 15].	Тирса, вугільний порошок, торф, крейда, лігнін [10].	Знижують середню густину та теплопровідність (ефективна кераміка) [10, 22].
Пластифікатори	Покращують здатність маси до формування при меншій кількості води [11, 15].	Бентонітові глини, поверхнево-активні речовини (ПАР) [11].	Полегшують виготовлення виробів складної форми [15, 24].

3.2. Технологія виробництва

Виробничий цикл складається з видобування сировини, підготовки маси, формування, сушіння та випалу.

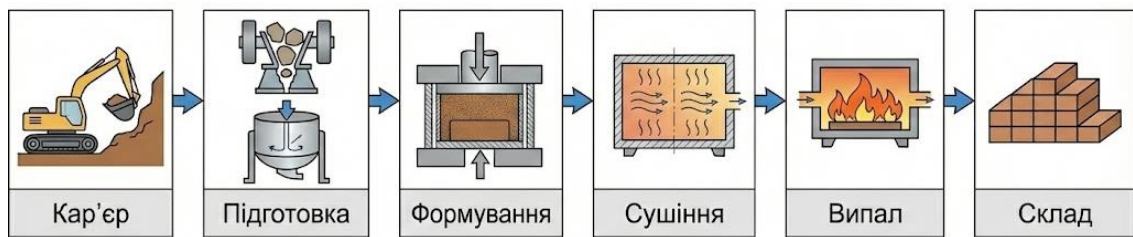


Рисунок 3.1 – Технологічна лінія виробництва кераміки

Вибір методу формування залежить від властивостей сировини та типу виробу:

1. **Пластичний спосіб.** Глиняна маса з вологістю 18–25% обробляється у глинозмішувачах і формується на стрічкових пресах шляхом витискання бруса крізь мундштук з подальшим розрізанням. Цей метод є основним для виробництва цегли, каменів, труб.

2. **Напівсухий спосіб.** Вироби пресують під високим тиском (15–40 МПа) з порошкоподібної маси вологістю 8–12%. Цей метод дозволяє отримати вироби точних розмірів, скоротити час сушіння та знизити витрати палива, проте морозостійкість таких виробів може бути нижчою.

3. **Шлікерний (мокрый) спосіб.** Використовується для виготовлення виробів складної форми (санітарна кераміка) та облицювальної плитки. Рідку масу (шлікер) з вологістю 45–60% заливають у гіпсові форми, які вбирають зайву вологу.

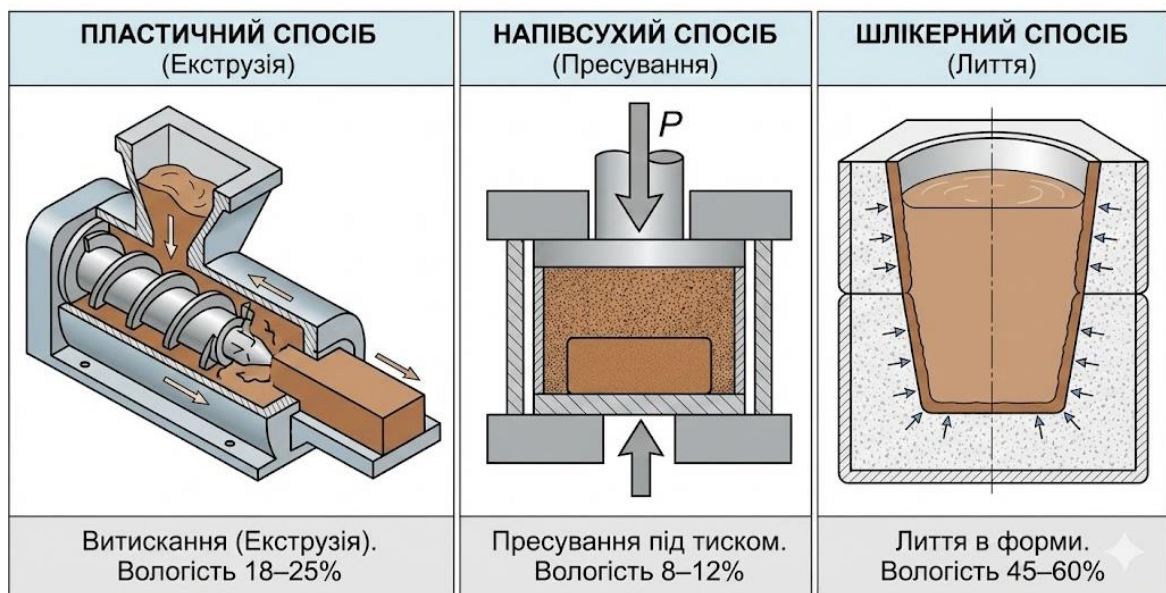


Рисунок 3.2 – Технології формування кераміки

Сушіння напівфабрикату проводиться в тунельних або камерних сушарках до залишкової вологості близько 5–6%, що запобігає

розтріскуванню при випалі. **Випал** є завершальною стадією, під час якої при температурах 900–1200 °С (для цегли) або вище (для вогнетривів) відбувається спікання маси, утворення кам'яноподібного черепка та формування експлуатаційних властивостей.

Таблиця 3.2 – Класифікація за вогнетривкістю та інтервали випалювання

Категорія за вогнетривкістю	Температура плавлення (стійкості)	Оптимальна температура випалу	Типові вироби
Легкоплавка	< 1350 °С [25, 27]	900 – 1100 °С [26, 28]	Рядова цегла, лицювальні камені, керамзит, черепиця [26, 28].
Тугоплавка	1350 – 1580 °С [25, 27]	1100 – 1300 °С [26, 28]	Клінкерна цегла, плитки для підлог, санітарний фаянс [26, 29].
Вогнетривка	1580 – 2000 °С [25, 27]	1300 – 1600 °С [26, 30]	Шамотна та динасова цегла для футерування печей [31, 32].
Вищої вогнетривкості	> 2000 °С [25, 27]	Понад 1600 °С [26]	Спеціальна кераміка для металургії та космічної галузі [31, 33].

3.3. Стінові вироби

Стінові матеріали класифікують за призначенням, порожнистістю та розмірами:

- **Керамічна цегла.** Стандартний розмір одинарної цегли — 250×120×65 мм. За міцністю цеглу поділяють на марки (М75–М300), за морозостійкістю — на марки F15–F50.

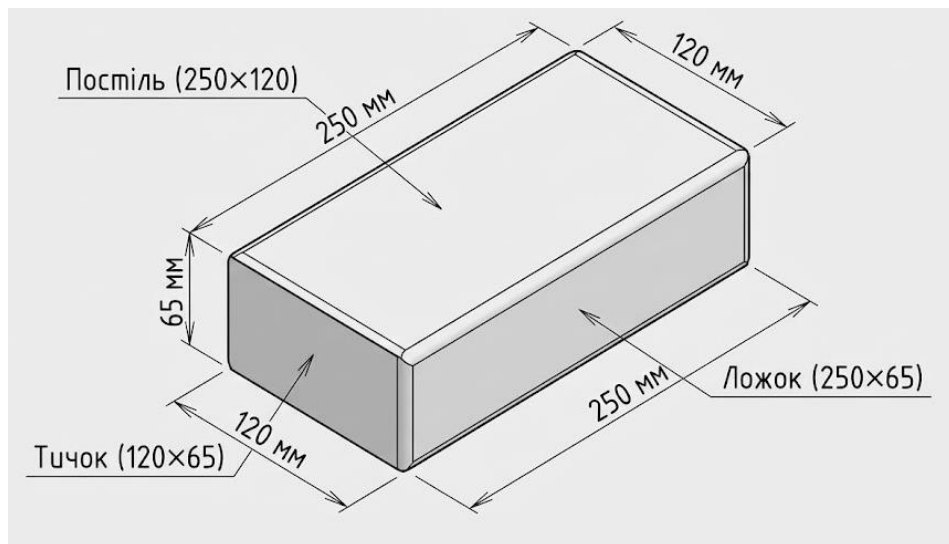
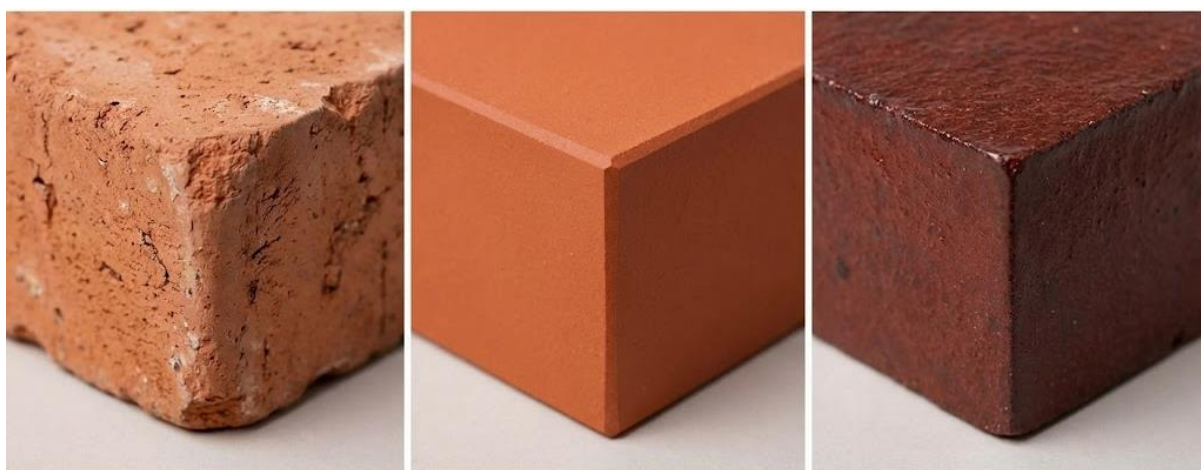


Рисунок 3.3 – Розміри цегли глиняної звичайної

- *Рядова цегла* використовується для мурування несучих стін, що передбачають подальше оздоблення (штукатурення).

- *Лицьова (фасадна) цегла* призначена для мурування з одночасним облицюванням. Вона має дві якісні лицьові поверхні, чіткі грані, однорідний колір та підвищену морозостійкість (не менше F25).

- *Клінкерна цегла* випалюється до повного спікання при високих температурах, має низьке водопоглинання (<6%), високу міцність (M400–M1000) та зносостійкість. Використовується для облицювання фасадів, цоколів, мостіння доріг.



РЯДОВА
Під штукатурку

ЛИЦЬОВА
Чиста кладка (F25+)

КЛІНКЕРНА
Повне спікання, міцність,
водонепроникність

Рисунок 3.4 – Різноманіття сучасної цегли

- **Керамічні камені.** Мають більші розміри (наприклад, 250×120×138 мм або модульні) і виготовляються виключно порожнистими, що знижує теплопровідність стін та масу конструкцій.

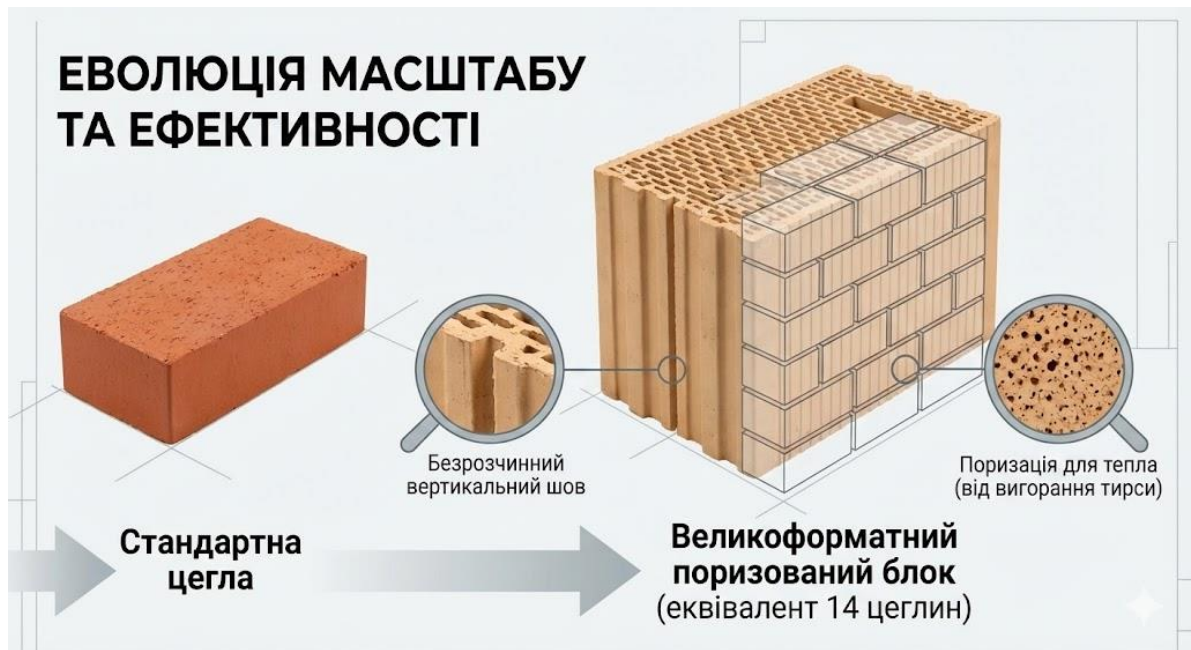


Рисунок 3.5 – Порівняння цегли звичайної з керамоблоком

- **Великоформатні поризовані блоки.** Сучасний ефективний матеріал (наприклад, розміром 510×250×219 мм), що дозволяє прискорити кладку та підвищити теплоізоляцію за рахунок пористої структури черепка та системи пазогребеневого з'єднання, яке мінімізує містки холоду.

Таблиця 3.3 – Розподіл керамічних виробів за структурою черепка

Група кераміки	Характеристика структури	Водопоглинання (за масою)	Приклади виробів
Пориста (груба)	Неоднорідний зернистий злом, черепок пропускає воду та повітря [4, 5].	> 5 % (зазвичай 8–20 %) [1, 5].	Рядова цегла, порожнисті камені, черепиця, дренажні труби, фаянс [1, 6].
Щільна (пikша)	Однорідний склоподібний або дрібнозернистий злом, практично водонепроникна [1, 3].	< 5 % (зазвичай до 1 %) [3, 7].	Клінкерна цегла, плитки для підлог, каналізаційні труби, фарфор [1, 8].

3.4. Оздоблювальна та спеціальна кераміка

- **Фасадна кераміка.** До неї відносять килимово-мозаїчну плитку, малогабаритні плитки типу «кабанчик» та терокотові плити. Вони повинні мати низьке водопоглинання та високу морозостійкість.

- **Плитка для підлоги.** Виготовляється методом напівсухого пресування зі щільним спіклим черепком. Характеризується низьким водопоглинанням (менше 4–5%), високою стійкістю до стирання (зносостійкістю) та міцністю. Різновидом є *керамограніт (грес)* — особливо щільний та міцний матеріал, що імітує природний камінь.

- **Санітарно-технічні вироби.** (Умивальники, унітази, ванни) виготовляють методом лиття з фаянсу (пористий черепок, покритий глазур'ю) або фарфору та напівфарфору (щільний черепок). Глазур забезпечує водонепроникність та гігієнічність виробів.



Рисунок 3.6 – Порівняння фаянсу з фарфором

- **Каналізаційні та дренажні труби.** Каналізаційні труби мають щільний спіклий черепок, покритий хімічно стійкою глазур'ю для захисту від агресивних стоків. Дренажні труби, навпаки, виготовляють пористими та неглазурованими для пропускання води через стінки, або з отворами.



Глазурована труба: ізоляція стоків



Дренажна труба: збір ґрунтових вод

Рисунок 3.7 – Каналізаційні і дренажні труби

• **Вогнетриви.** Вироби, здатні витримувати тривалий вплив високих температур (понад 1580 °С) без деформації. За складом поділяються на кремнеземисті (динасові), алюмосилікатні (шамотні) та магнезіальні. Використовуються для футерування промислових печей та топок.

Контрольні запитання до розділу 3.

1. Дайте визначення керамічним матеріалам. Який технологічний етап є обов'язковим для їх отримання?
2. Який мінерал є основним носієм властивостей глинистої сировини?
3. Що таке пластичність глини і як вона впливає на вибір способу формування виробів?
4. Поясніть різницю між повітряною та вогневою усадкою. Чому велика усадка є небажаною?
5. З якою метою до складу «жирних» глин вводять опіснювачі (пісок, шамот)?
6. Як впливають вигоряючі добавки (тирса, вугілля) на структуру та теплопровідність готового керамічного виробу?
7. Яку функцію виконують плавні (флюси) під час випалу кераміки?
8. Назвіть три основні способи формування керамічних виробів. Яка вологість маси характерна для кожного з них?

РОЗДІЛ 4. СКЛО ТА МАТЕРІАЛИ З МІНЕРАЛЬНИХ РОЗПЛАВІВ

Матеріали та вироби з мінеральних розплавів (скляні, кам'яні, шлакові, склокристалічні) займають важливе місце в сучасному будівництві завдяки поєднанню високої хімічної стійкості, довговічності, декоративності та спеціальних оптичних властивостей.

4.1. Скло: склад, сировина та технологія виробництва

Скло — це аморфний матеріал, що отримується шляхом переохолодження розплаву складного хімічного складу. Характерною ознакою склоподібного стану є ізотропність властивостей (однаковість у всіх напрямках) та відсутність фіксованої температури плавлення — при нагріванні скло поступово розм'якшується, переходячи з крихкого стану у в'язко-текучий.

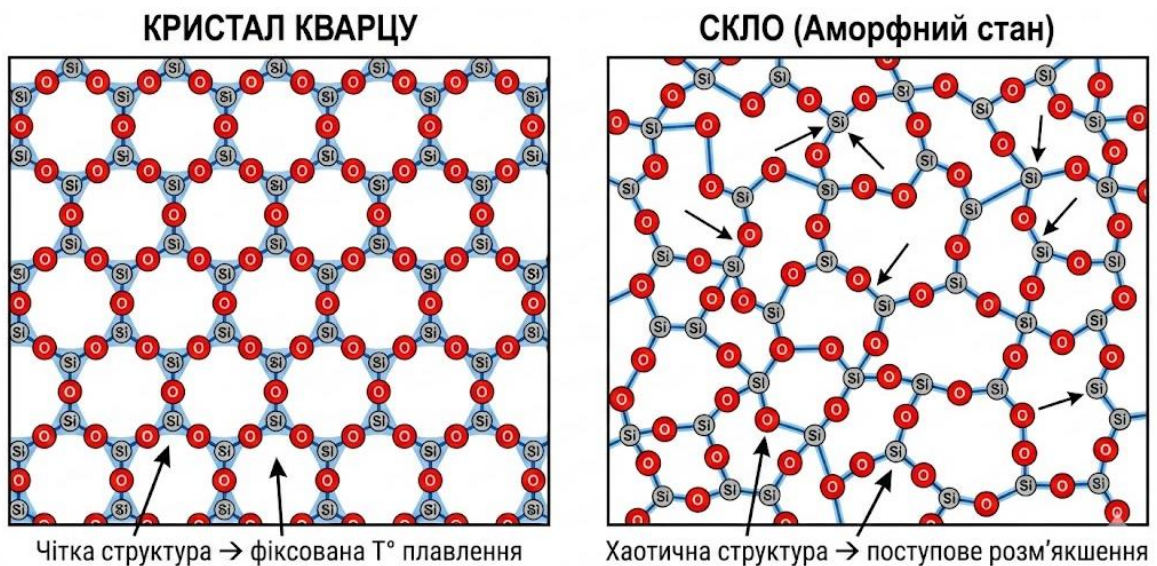


Рисунок 4.1 – Атомна структура SiO_2

Сировинні матеріали Для виробництва будівельного силікатного скла використовують суміш компонентів (шихту), яку умовно поділяють на головні та допоміжні матеріали,:

- **Кварцовий пісок (SiO_2)** — основний склоутворюючий компонент, що формує структурний каркас скла.

- **Сода кальцинована (Na_2CO_3)** або сульфат натрію — вводяться для зниження температури плавлення кварцового піску та прискорення процесу склоутворення.
- **Вапняк, крейда, доломіт ($CaCO_3, MgCO_3$)** — джерела оксидів кальцію та магнію, які підвищують хімічну стійкість та механічну міцність скла.
- **Допоміжні матеріали:** освітлювачі (для видалення газових пухирців), глушники (для створення непрозорості), барвники (оксиди металів: кобальту — для синього кольору, хрому — для зеленого тощо).



Рисунок 4.2 – Склад скляної шихти

Процес скловаріння

Процес скловаріння є однією з найважливіших технологічних операцій у виробництві скла та відбувається у спеціальних ванних печах безперервної дії при надзвичайно високих температурах 1450–1600 °С. Ці печі являють собою складні інженерні споруди, футеровані вогнетривкими матеріалами, здатними витримувати екстремальні температурні навантаження протягом тривалого часу експлуатації.

Стадії процесу скловаріння

Технологічний процес включає декілька послідовних стадій, кожна з яких має критичне значення для отримання якісного скломатеріалу:

Силікатоутворення – початкова стадія, під час якої відбуваються хімічні реакції між компонентами шихти (піском, содою, вапняком та іншими добавками) з утворенням силікатів. На цьому етапі температура поступово підвищується, компоненти починають взаємодіяти один з одним, утворюючи проміжні сполуки.

Склоутворення – стадія, на якій силікати плавляться та перетворюються на однорідну склоподібну масу. При цьому відбувається повне розплавлення всіх компонентів і формування аморфної структури майбутнього скла з характерною для нього безперервною сіткою кремнекисневих тетраедрів.

Освітлення (дегазація) – критично важлива стадія видалення газових включень та бульбашок із розплавленої скломаси. Процес відбувається при максимальних температурах, коли в'язкість розплаву мінімальна, що дозволяє газовим бульбашкам вільно спливати на поверхню і видалятися з об'єму скломаси.

Гомогенізація – стадія вирівнювання складу та властивостей скломаси по всьому об'єму ванни. На цьому етапі відбувається інтенсивне перемішування розплаву для усунення неоднорідностей за хімічним складом, температурою та фізичними властивостями, що забезпечує однакову якість готової продукції.

Охолодження – заключна стадія підготовки скломаси до формування, під час якої температура знижується до рівня, при якому скло набуває в'язкості, необхідної для подальших операцій формування виробів. Контрольоване охолодження дозволяє досягти оптимальних реологічних властивостей для конкретного методу формування.

Весь цикл скловаріння в сучасних печах займає від 24 до 48 годин залежно від типу скла та потужності обладнання, забезпечуючи безперервне постачання якісної скломаси для подальшого формування різноманітних виробів.

Таблиця 4.1 – Вплив оксидів на технологічні та експлуатаційні властивості скла

Оксид	Основна сировина	Функція та вплив на властивості
SiO₂ (Діоксид кремнію)	Кварцовий пісок, пісковик, кварцит	Головний склоутворювач. Створює просторовий структурний каркас, забезпечує тугоплавкість, хімічну стійкість та механічну міцність.
Na₂O (Оксид натрію)	Кальцинована сода (Na ₂ CO ₃), сульфат натрію	Плавень. Прискорює процес варіння, знижує температуру плавлення та в'язкість розплаву, полегшує освітлення. Недолік: знижує хімічну та термічну стійкість, збільшує коефіцієнт термічного розширення.
CaO (Оксид кальцію)	Вапняк, крейда (CaCO ₃)	Стабілізатор. Підвищує хімічну стійкість скла (робить його нерозчинним у воді).
MgO (Оксид магнію)	Доломіт (CaCO ₃ · MgCO ₃)	Запобігає кристалізації скла, підвищує хімічну стійкість та механічну міцність.
Al₂O₃ (Оксид алюмінію)	Польовий шпат, каолін, глинозем	Підвищує механічну міцність, термічну та хімічну стійкість, розширює температурний інтервал в'язкості (полегшує формування).
B₂O₃ (Оксид бору)	Борна кислота, бура	Значно прискорює варіння, підвищує термостійкість, блиск та показник заломлення світла (використовується у спецсклі).
PbO (Оксид свинцю)	Свинцевий сурик	Надає склу високий показник заломлення світла (блиск, гра світла), підвищує густину. Використовується для кришталю та оптичного скла.

Найпоширеніші методи формування листового скла:

1. **Флоат-спосіб (спосіб плаваючої стрічки).** Це найсучасніший високопродуктивний метод, при якому стрічка скла формується на поверхні розплавленого олова. Завдяки ідеально рівній поверхні металу нижня частина скла стає гладкою, а верхня вирівнюється під дією сил поверхневого натягу. Метод дозволяє отримувати поліроване скло без додаткової механічної обробки.

2. **Спосіб прокату.** Використовується для виготовлення товстого, візерункового або армованого скла. Склomаса проходить між двома обертовими валками (гладкими або з рельєфом), які формують стрічку заданої товщини та фактури.

3. **Спосіб вертикального витягування (ВВС).** Традиційний метод, при якому стрічка скла витягується зі скломаси за допомогою валків через спеціальний вогнетривкий брус (човник) або з вільної поверхні.

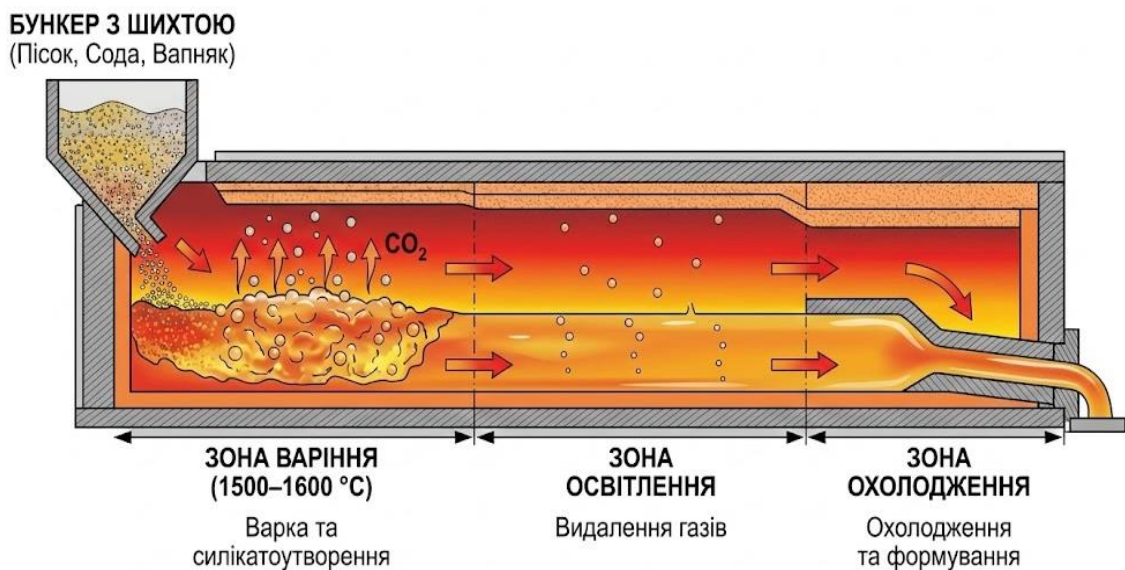


Рисунок 4.3 – Принципова схема ванної печі для виготовлення скла

4.2. Види будівельного скла

- **Листове скло.** Основний вид продукції, що використовується для скління світлових прорізів. Залежно від якості поверхні може бути полірованим (флоат) або неpolірованим, а за товщиною — від 2 до 12 мм і більше.

• **Загартоване скло.** Отримують шляхом нагрівання листового скла до 600–650 °С з наступним різким рівномірним охолодженням. Це створює внутрішні напруження, що підвищують механічну міцність у 5–7 разів, а термостійкість — у 3–4 рази. При руйнуванні таке скло розсипається на дрібні осколки з тупими краями, що робить його безпечним.

• **Армоване скло.** Виготовляють методом безперервного прокату, впресовуючи всередину скломаси металеву сітку. Сітка утримує осколки при ударі або дії високих температур, тому таке скло вважається безпечним і вогнестійким. Використовується для ліхтарів верхнього світла, огорожень балконів, дверей.

• **Енергозберігаюче (теплозахисне) скло.**

◦ *Теплопоглинаюче* — забарвлене в масі (блакитне, бронзове) скло, яке поглинає інфрачервоні промені, зменшуючи нагрів приміщень.

◦ *Низькоемісійне (теповідбивне)* — скло зі спеціальним покриттям (оксиди металів), яке пропускає видиме світло, але відбиває довгохвильове теплове випромінювання назад у приміщення, значно знижуючи тепловтрати.

• **Багатошарове скло (триплекс).** Складається з двох або більше листів скла, склеєних між собою полімерною плівкою або ламінуючою рідиною. При ударі скло не розсипається, оскільки осколки утримуються на еластичній прокладці. Характеризується підвищеною безпекою та звукоізоляцією.



Рисунок 4.4 – Характер руйнування різних видів скла при розбитті

4.3. Вироби зі скла

- **Склопакети.** Герметичні вироби, що складаються з двох або трьох листів скла, з'єднаних по контуру через дистанційну рамку. Повітряний або газовий прошарок між стеклами забезпечує високу тепло- та звукоізоляцію, запобігає запотіванню та обмерзанню вікон.

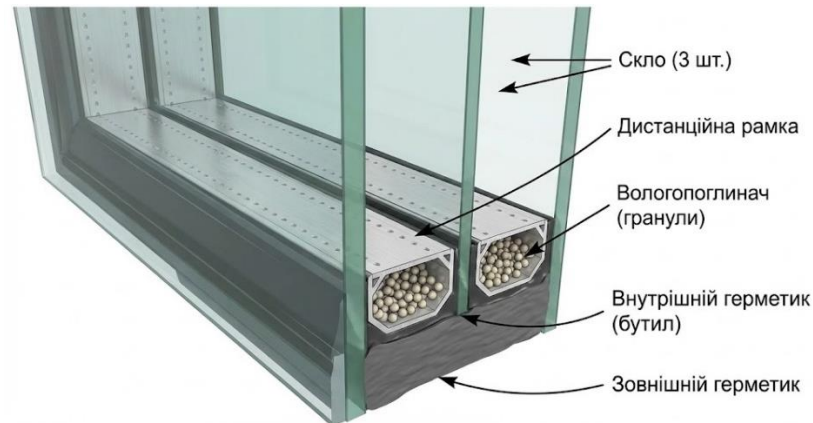


Рисунок 4.5 – Конструкція склопакета

- **Скляні блоки (склоблоки).** Порожністі вироби, отримані зварюванням двох відпресованих напівблоків. Вони герметичні, мають високі теплоізоляційні властивості (завдяки розрідженому повітрю всередині) та хорошу світлопроникність при розсіюванні світла. Застосовуються для зведення світлопрозорих перегородок та зовнішніх стін.

- **Профільне скло (склопрофіліт).** Довгомірні вироби швелерного, коробчатого або ребристого перерізу, що виготовляються методом безперервного прокату. Дозволяють монтувати світлопрозорі огорожувальні конструкції великої площі без складних рамних плетінь.

- **Піноскло.** Пористий теплоізоляційний матеріал, отриманий спіканням скляного порошку з газоутворювачами (коксом, крейдою). Має замкнуту пористість, що забезпечує водонепроникність, негорючість, високу міцність на стиск, морозостійкість та хімічну стійкість. Випускається у вигляді блоків, плит та гравію.

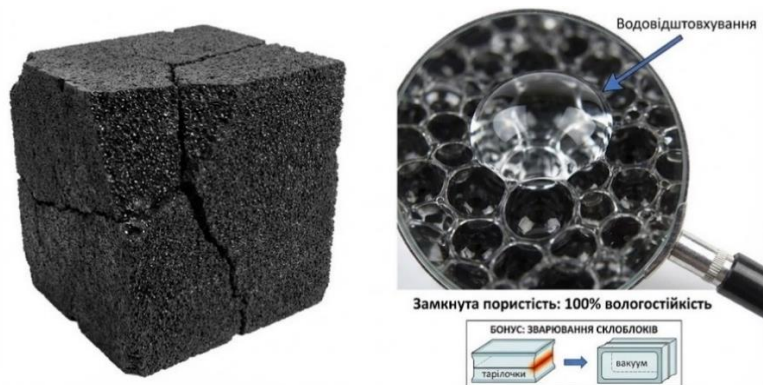


Рисунок 4.6 – Макрорструктура піноскла

Таблиця 4.2 – Порівняльна характеристика фізико-механічних властивостей скляних виробів

Матеріал / Виріб	Густина, кг/м ³	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Світлопропускання, %	Особливості та призначення
Звичайне листове скло	2500	0,76 – 0,82	84 – 90	Базовий матеріал. Висока прозорість, але низький опір теплопередачі [6, 8].
Склопакет	–	$R_0 = 0,32 - 0,37$ (опір, m^2K/Wm)	70 – 80	Висока тепло- та звукоізоляція за рахунок герметичного прошарку сухого повітря/газу [11].
Піноскло	100 – 600	0,04 – 0,14	0 (непрозоре)	Ефективний утеплювач. Не горить, не боїться води, гризунів, довговічний.
Склоблоки (пустотілі)	800 (середня)	0,46	50 – 65	Світлопрозорі огороження. Розсіюють світло, мають хорошу звукоізоляцію завдяки розрідженому повітрю всередині [17, 14].
Профільне скло (склопрофіліт)	2500	0,76	73 – 82	Самонесучі світлопрозорі перегородки та стіни. Висока жорсткість завдяки швелерному/коробчастому перерізу [10, 18].

4.4. Склокристалічні матеріали та кам'яне литво

Особливий клас матеріалів складають вироби з мінеральних розплавів, у яких шляхом спеціальної обробки або підбору складу досягається часткова або повна кристалізація.

- **Ситали.** Склокристалічні матеріали, отримані шляхом керованої каталітичної кристалізації скла. Вони мають дрібнокристалічну структуру (розмір кристалів до 1-2 мкм), зцементовану тонкими прошарками залишкового скла. Ситали поєднують високу твердість, зносостійкість, термічну стійкість (до 700–1000 °С) та хімічну стійкість до кислот і лугів. За механічними властивостями вони наближаються до металів, але легші за них.

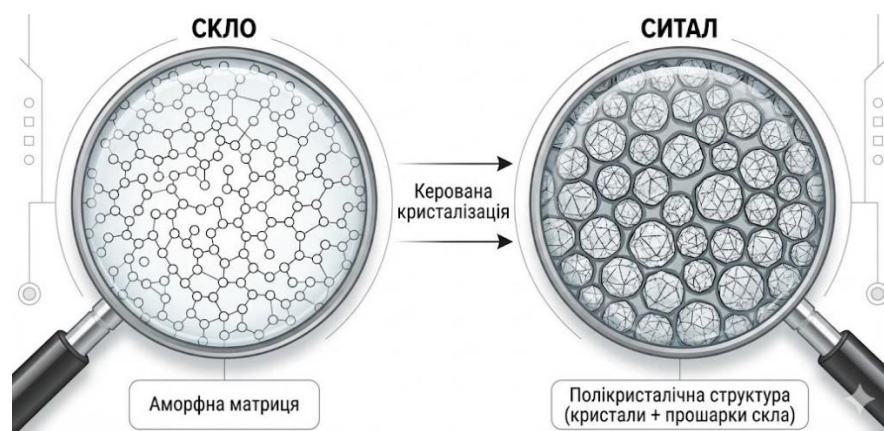


Рисунок 4.7 – Порівняння скла і ситалів

- **Шлакоситали.** Різновид ситалів, що виготовляються з металургійних шлаків із додаванням піску та каталізаторів. Використовуються як зносостійкий матеріал для підлог промислових будівель, футерування жолобів та труб, облицювання фасадів.

- **Кам'яне литво.** Отримується шляхом розплавлення гірських порід (базальту, діабазу) або шлаків з наступним заливанням у форми та відпалом для кристалізації. Литі вироби (плитки, труби, жолоби) характеризуються винятковою стійкістю до абразивного зносу, дії агресивних хімічних середовищ та високих температур. Застосовуються для захисту будівельних конструкцій, бункерів, трубопроводів, що працюють у важких умовах експлуатації.



Рисунок 4.8 – Принципова схема кам'яного литва з базальту

Таблиця 4.3 – Склокристалічні матеріали та вироби з кам'яного литва

Матеріал	Сировина	Структура	Властивості та застосування
Ситали (технічні)	Скляна шихта зі спеціальними добавками (каталізаторами).	Дрібнокристалічна (кристали < 1 мкм), з'єднані прошарками скла.	Висока твердість, зносостійкість, термостійкість (до 1100°C), діелектричні властивості. Деталі машин, хімічна апаратура.
Шлакоситали	Металургійні шлаки, пісок, каталізатори.	Щільна, дрібнозерниста, непрозора.	Висока міцність на стиск (до 650 МПа), хімічна стійкість. Підлоги в цехах, футерування жолобів, бункерів, облицювання будівель.
Кам'яне литво	Базальт, діабаз (гірські породи).	Щільна кристалічна (відпалена).	Виняткова стійкість до стирання та дії кислот/лугів. Плитки для підлог, футерування труб, жолобів для агресивних стоків.
Сигран	Скломаса (імітація граніту).	Склокристалічна.	Декоративний матеріал для облицювання фасадів та підлог. Імітує фактуру полірованого граніту [12].
Склокремнезит	Скляні гранули + пісок.	Двошарова: низ – спечений пісок/скло, верх – сплавлене кольорове скло.	Облицювальні плити підвищеної міцності та декоративності. Утилізація відходів скла.

Контрольні запитання до розділу 4:

1. Дайте визначення склу як матеріалу. Яка фізична властивість є характерною ознакою склоподібного стану?
2. Яку роль у скляній шихті виконує кальцинована сода (Na_2CO_3) та як вона впливає на температурний режим варіння?
3. Для чого до складу шихти вводять оксиди кальцію та магнію (через вапняк, доломіт) і на які експлуатаційні характеристики вони впливають?
4. Що таке ізотропність властивостей скла?
5. Який оксид є головним склоутворювачем, що формує структурний каркас звичайного будівельного скла?
6. Опишіть стадію «освітлення» (дегазації) при скловарінні. За яких умов вона відбувається і яка її мета?
7. У чому полягає сутність процесу гомогенізації скломаси і чому цей етап критичний для якості кінцевого продукту?
8. Поясніть принцип флоат-способу виробництва листового скла. Завдяки чому досягається полірована поверхня без механічної обробки?
9. Який метод формування застосовується для виготовлення армованого або візерункового скла?
10. Який температурний діапазон підтримується у ванних печах під час процесу скловаріння?
11. Чим відрізняється процес виготовлення загартованого скла від звичайного та як це впливає на характер його руйнування?
12. Яка принципова відмінність між теплопоглинаючим та низькоемісійним (тепловідбивним) склом за механізмом енергозбереження?
13. Що таке триплекс (багатошарове скло) і завдяки чому цей матеріал забезпечує підвищену безпеку при ударі?
14. Яку функцію виконує металева сітка в армованому склі? Чи підвищує вона механічну міцність скла на вигин?
15. Як працює механізм теплозахисту у низькоемісійному склі і що саме відбиває спеціальне покриття?
16. Поясніть конструкцію склопакета. За рахунок чого забезпечуються його високі тепло- та звукоізоляційні властивості?
17. Що таке піноскло і які його основні переваги як утеплювача порівняно з іншими матеріалами?

РОЗДІЛ 5. МЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

Металеві матеріали займають одне з ключових місць у сучасному будівництві завдяки унікальному поєднанню високої міцності, пластичності, технологічності та довговічності. Вони широко використовуються як для створення несучих каркасів будівель, так і в якості арматури для залізобетонних конструкцій, покрівельних матеріалів та елементів інженерних мереж,.

5.1. Загальна характеристика та класифікація

Метали — це речовини кристалічної будови, характерними ознаками яких є висока електро- та теплопровідність, специфічний металевий блиск, ковкість та здатність до утворення сплавів,. Внутрішня будова металів характеризується наявністю вільних електронів у кристалічній ґратці, що обумовлює їхні фізичні властивості,.

У будівельній практиці металеві матеріали прийнято поділяти на дві основні групи:

1. **Чорні метали:** до цієї групи відносять залізо та сплави на його основі (чавуни та сталі). Це найбільш масові конструкційні матеріали, частка яких у загальному обсязі споживання металів сягає 94–95%,.

2. **Кольорові метали:** до них належать алюміній, мідь, цинк, титан, свинець та сплави на їх основі. Вони дорожчі за чорні метали, тому використовуються у специфічних сферах, де необхідна низька густина, висока корозійна стійкість або особливі архітектурно-декоративні властивості,.

5.2. Чорні метали

Основним критерієм розмежування залізовуглецевих сплавів є вміст вуглецю.

- **Сталь** — це сплав заліза з вуглецем, у якому вміст вуглецю становить до 2,14% (зазвичай до 2%). Сталь характеризується високою

пластичністю, пружністю та здатністю до обробки тиском (кування, прокатування).

- **Чавун** — це сплав із вмістом вуглецю понад 2,14% (зазвичай 2–4,5%). Порівняно зі сталлю, чавун має нижчі механічні показники на розтяг та є більш крихким, проте відзначається відмінними ливарними властивостями та корозійною стійкістю.

Класифікація чавунів Залежно від стану вуглецю в структурі сплаву, чавуни поділяють на:

- *Білий (переробний)*: вуглець знаходиться у зв'язаному стані у вигляді цементиту (Fe_3C). Цей матеріал дуже твердий і крихкий, важко піддається механічній обробці, тому здебільшого використовується як сировина для виплавки сталі,.

- *Сірий (ливарний)*: вуглець присутній у вигляді вільного графіту пластинчастої форми. Такий чавун добре обробляється різанням і використовується для виготовлення фасонного литва (тюбінги, труби, опорні елементи, сантехніка),.

- *Ковкий та високоміцний*: отримують шляхом спеціальної термічної обробки або модифікування (введення магнію, церію), що надає графітовим включенням кулястої або пластівчастої форми, підвищуючи в'язкість та міцність матеріалу,.

Класифікація сталей Сталі класифікують за хімічним складом та призначенням:

1. За хімічним складом:

- *Вуглецеві*: властивості визначаються кількістю вуглецю. Зі збільшенням вмісту вуглецю зростає міцність і твердість, але знижується пластичність і зварюваність. Розрізняють низько- (<0,25%), середньо- (0,25–0,6%) та високовуглецеві (>0,6%) сталі,.

- *Леговані*: до їх складу спеціально вводять легуючі елементи (Cr, Ni, Mn, Si, Cu тощо) для покращення фізико-механічних властивостей (корозійної стійкості, жароміцності, твердості). За вмістом добавок бувають низько- (<2,5%), середньо- (2,5–10%) та високолеговані (>10%),.

2. **За якістю:** залежить від вмісту шкідливих домішок (сірки та фосфору). Виділяють сталі звичайної якості (Ст), якісні та високоякісні,.

3. **За ступенем розкислення:** киплячі (кп), напівспокійні (пс) та спокійні (сп). Спокійні сталі мають найбільш однорідну структуру, але є дорожчими у виробництві,.

Для зміни властивостей сталі (підвищення твердості, зняття внутрішніх напружень) застосовують термічну обробку: загартування, відпуск, відпал та нормалізацію.

Таблиця 5.1 – Класифікація та порівняльна характеристика чорних металів

Характеристика	Сталь	Чавун
Вміст вуглецю (С)	до 2,14 %	від 2,14 % до 6,67 %
Технологічні властивості	Пластичний, ковкий, добре піддається зварюванню, прокатуванню та куванню.	Крихкий, не кується, але має відмінні ливарні властивості (добре заповнює форми).
Основні види	<p>Вуглецева:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Конструкційна</i> (Ст0–Ст6) — для будівельних конструкцій. • <i>Інструментальна</i> (У8–У13). <p>Легована: містить спеціальні добавки (Cr, Ni, Mn) для покращення властивостей.</p>	<p>Білий: вуглець у вигляді цементиту (дуже твердий, крихкий).</p> <p>Сірий: вуглець у вигляді графіту (добре обробляється різанням).</p> <p>Ковкий: отримують тривалим відпалом білого чавуну (більш в'язкий).</p>
Сфера застосування	Несучі каркаси будівель, арматура для ЗБВ, труби, листовий прокат, рейки, резервуари.	Колони, опорні частини, тубінги метрополітену, труби каналізації, санітарно-технічні вироби (ванни, радіатори).

5.3. Металеві вироби

Металопрокат, що використовується в будівництві, поділяють на кілька основних груп залежно від форми та призначення:

- **Сортовий прокат:** Має прості геометричні форми перерізу (круг, квадрат, штаба, шестигранник). До цієї ж групи відносять **арматуру** (гладку та періодичного профілю), яка є ключовим елементом для виготовлення залізобетонних конструкцій та фундаментів.

- **Фасонний прокат:** Профілі складної форми, що забезпечують високу жорсткість та несучу здатність конструкцій. До них відносять кутики (рівно- та нерівнополичні), швелери, двотаври, рейки, шпунтові палі. Вони є основою для створення каркасів промислових будівель, мостів та перекриттів.
- **Листовий прокат:** Товстолистова (гарячекатана) та тонколистова (холоднокатана) сталь, а також профільовані настили та металочерепиця, що мають захисні полімерні покриття. Часто слугує сировиною для виготовлення гнутих профілів та зварних труб.
- **Труби:** Безшовні та зварні, круглого або профільного перерізу (квадратні, прямокутні). Останні широко застосовуються як легкі та міцні конструкційні елементи колон, ферм та огорож, які добре працюють на вигин.

Таблиця 5.2 – Сортамент сталевих прокатних профілів для будівництва

Вид профілю	Характеристика форми перерізу	Маркування та розміри (мм)	Основне призначення
Кутик (рівнополичний)	Г-подібний переріз з однаковими полочками.	Ширина полочки: 20...250 мм.	Елементи ферм, в'язі, каркаси, обрамлення прорізів.
Швелер	П-подібний переріз.	Номер швелера відповідає його висоті в см (№ 5...40 — висота 50...400 мм).	Балки, колони, прогони, елементи, що працюють на вигин.
Двотавр	Н-подібний переріз (найефективніший для балок).	Номер відповідає висоті профілю в см (№ 10...100 — висота 100...1000 мм).	Потужні балки перекриттів, мостові конструкції, підкранові балки.
Листова сталь	Плоскі листи.	Товста (4–160 мм) та тонка (0,2–4 мм).	Зварні труби, резервуари, покриття підлог, покрівля.
Труби	Круглі, квадратні, прямокутні.	Безшовні (гаряче- та холоднодеформовані) та зварні.	Трубопроводи, елементи ферм (добре працюють на стиск).

Арматура для залізобетону Важливим видом продукції є арматурна сталь, яка сприймає розтягуючі напруження в залізобетонних конструкціях. Вона поділяється на класи залежно від механічних властивостей (A240, A400,

A500 тощо). За профілем арматура буває гладкою (зазвичай клас А240) та періодичного профілю (рифлена), що забезпечує краще зчеплення з бетоном.

Таблиця 5.3 – Класифікація та характеристики сучасної будівельної арматури (ДСТУ 3760)

Клас арматури	Тип профілю	Межа плинності σ_T , МПа (не менше)	Типові марки сталі та особливості	Сфера застосування
A240C	Гладкий (круглий)	240	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп М'яка, пластична сталь. Індекс «С» вказує на зварюваність.	Монтажна арматура, хомути, петлі для підйому виробів.
A300C	Періодичний (рифлений)	300	Ст5сп, Ст5пс, 18Г2С Має вищу міцність, ніж А240С.	Робоча арматура в ненапружених конструкціях, анкерні деталі.
A400C	Періодичний	400	35ГС, 25Г2С Основна робоча арматура. Сталь 35ГС зазвичай не рекомендується для зварювання дуговим способом (тільки в'язка), тоді як індекс «С» гарантує зварюваність.	Несучі каркаси фундаментів, перекриттів, колон, балок.
A500C	Періодичний (серповидний)	500	Низьколеговані сталі з термомеханічним зміцненням. Забезпечує економію металу до 10–20% порівняно з А400С завдяки вищій межі плинності.	Найпоширеніша сучасна арматура для відповідальних конструкцій, висотних будівель.
A600...A1000	Періодичний	600...1000	80С, 20ХГ2Ц, 23Х2Г2Т Високоміцні леговані сталі, часто термічно зміцнені.	Попередньо напружені залізобетонні конструкції (ферми, мостові балки, плити великих прольотів).

5.4. Кольорові метали та сплави

У будівництві кольорові метали використовуються переважно у вигляді сплавів для зниження ваги конструкцій або захисту від корозії.

- **Алюміній та його сплави:** Легкі матеріали (густина ~ 2700 кг/м³) з високою корозійною стійкістю. Сплави (дюралюміні, силуміни) використовують для віконних рам, фасадних панелей, підвісних стель.

- **Мідь та її сплави:** Мають високу довговічність та естетичність. Латунь (сплав міді з цинком) та бронза (сплав міді з оловом та іншими

елементами) застосовуються для санітарно-технічної арматури та архітектурних деталей.

- **Цинк:** Використовується головним чином як антикорозійне покриття для сталевих виробів (оцинкована сталь).

5.5. Корозія металів та методи захисту

Корозія — це самовільне руйнування металів під впливом фізико-хімічної взаємодії з навколишнім середовищем.

Таблиця 5.4 – Види корозії металів та методи захисту

Вид корозії	Механізм руйнування	Приклади середовища	Методи захисту
Хімічна	Руйнування металу при взаємодії з сухими газами або рідинами-неелектролітами (без виникнення електричного струму).	Високотемпературні гази в печах, нафтопродукти.	<ul style="list-style-type: none"> • Легування (введення хрому, нікелю). • Термодифузійне покриття (насичення поверхні алюмінієм, кремнієм).
Електрохімічна	Руйнування в середовищі електроліту (вода, вологий ґрунт, атмосфера) з виникненням електричного струму між ділянками металу (анод/катод).	Атмосферна корозія, морська вода, блукаючі струми в ґрунті.	<ul style="list-style-type: none"> • Лакофарбові покриття (бітумні лаки, епоксидні емалі). • Металеві покриття (цинкування, алюмінівання). • Протекторний захист (присаднання більш активного металу, напр. магнію).
Газова	Окислення металу киснем повітря при високих температурах (окалина).	Експлуатація при $t > 500$ °С.	<ul style="list-style-type: none"> • Використання жаростійких сталей (легованих Si, Al, Cr).

Методи захисту:

- *Легування:* введення в сплав елементів (хром, нікель), що підвищують корозійну стійкість (нержавіючі сталі).

• *Нанесення захисних покриттів:* металевих (цинкування, алітування) та неметалевих (лаки, фарби, полімери, емалі).

• *Електрохімічний захист:* використання протекторів (жертвоних анодів) або катодного захисту зовнішнім струмом.

Контрольні запитання до розділу 5:

1. Яка особливість внутрішньої будови металів зумовлює їхню високу електро- та теплопровідність?
2. Який вміст вуглецю є межею розмежування між сталлю та чавуном?
3. Яка частка чорних металів у загальному обсязі споживання металів у будівництві?
4. У якому виді чавуну вуглець знаходиться у зв'язаному стані (у вигляді цементиту)?
5. Який вид чавуну найкраще обробляється різанням і використовується для фасонного литва (труби, сантехніка)?
6. Як впливає збільшення вмісту вуглецю на міцність, твердість та пластичність сталі?
7. Яка сталь за ступенем розкислення має найбільш однорідну структуру?
8. З якою метою до складу сталі вводять легуючі елементи (хром, нікель, марганець)?
9. До якої групи металопрокату відносять вироби простих геометричних форм (круг, квадрат, штаба, арматура)?
10. Який вид фасонного прокату є найефективнішим для виготовлення балок, що працюють на вигин?
11. Якому параметру відповідає номер швелера у його маркуванні?
12. Яка основна сфера застосування арматури класу A240C (гладкого профілю)?
13. Що означає індекс «С» у маркуванні арматури класу A500C?
14. У чому полягає основна перевага арматури періодичного профілю над гладкою арматурою?
15. Які класи арматури застосовують для виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій?

РОЗДІЛ 6. НЕОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ

Неорганічні (мінеральні) в'язучі речовини — це порошкоподібні матеріали, які при змішуванні з водою (іноді з розчинами солей) утворюють пластичне тісто, що здатне самочинно тверднути внаслідок фізико-хімічних процесів, перетворюючись на каменеподібне тіло. Залежно від умов твердіння та здатності зберігати міцність у різних середовищах їх поділяють на повітряні та гідравлічні.

6.1. Повітряні в'язучі речовини

Ці речовини здатні тверднути та тривалий час зберігати свої властивості лише у повітряному середовищі. У воді вони розмокають і втрачають міцність, тому їх використовують переважно для внутрішніх робіт у сухих приміщеннях.

Гіпсові в'язучі Сировиною для їх виробництва слугує природний гіпсовий камінь ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) або ангідрит ($CaSO_4$), а також промислові відходи (фосфогіпс).

• **Виробництво та модифікації.** Основний процес отримання полягає у термічній обробці сировини, що призводить до її дегідратації (зневоднення). Залежно від температури та умов обробки розрізняють дві групи в'язучих:

1. *Низьковипалювальні* (отримують при 110–180 °С): основним продуктом є напівводний гіпс ($CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$). Якщо випал відбувається у відкритих апаратах (варильних котлах), утворюється β -модифікація (будівельний гіпс) з дрібнокристалічною структурою та високою водопотребою. При термічній обробці в герметичних апаратах (автоклавах) під тиском утворюється α -модифікація (високоміцний гіпс), що має крупніші кристали та меншу водопотребу, а отже, вищу міцність.

2. *Високовипалювальні* (отримують при 600–1000 °С): до них належать ангідритовий цемент та естрих-гіпс. Вони складаються переважно з безводного сульфату кальцію ($CaSO_4$), повільно тужавіють, але дають міцніший та водостійкіший камінь.

• **Твердіння.** Механізм твердіння будівельного гіпсу базується на його гідратації — приєднанні води з утворенням двоводного гіпсу: $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O + 1,5H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Процес супроводжується виділенням тепла та незначним збільшенням об'єму (до 1%), що дозволяє отримувати чіткі відливки.

Таблиця 6.1 – Порівняльна характеристика різновидів гіпсових в'язучих

Вид в'язучого	Температура випалу, °С	Основна сполука (фазовий склад)	Властивості та застосування
Будівельний гіпс (алебастр)	120 – 180	β - $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ (Бета-напівгідрат)	Швидко тужавіє (4–30 хв), міцність середня (Г-2...Г-25). Використовується для штукатурних робіт, виготовлення панелей, перегородок.
Високоміцний гіпс (технічний)	120 – 180 (в автоклаві під тиском)	α - $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ (Альфа-напівгідрат)	Має меншу водопотребу, утворює більш щільну структуру. Міцність вища (Г-15...Г-25 і вище). Застосовується для архітектурних деталей, форм.
Ангідритовий цемент	600 – 700	$CaSO_4$ (Ангідрит нерозчинний) + каталізатори (вапно)	Повільно тужавіє (від 30 хв до 24 год). Використовується для безшовних підлог, штучного мармуру.
Естрих-гіпс (високовипалювальний)	800 – 1000	$CaSO_4 + CaO$ (Ангідрит + Вапно)	Тужавіє повільно, але дає високу міцність і стійкість до вологи. Застосовується для підлог, мозаїчних робіт.

Повітряне будівельне вапно Продукт помірного випалу кальцієво-магнієвих карбонатних порід (крейди, вапняку, доломіту) до повного видалення вуглекислого газу.

- **Виробництво.** Випал проводять у шахтних або обертових печах при температурі 900–1200 °С за реакцією: $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$. Отриманий продукт називають грудковим негашеним вапном (кипілкою).

- **Гасіння.** При взаємодії з водою оксид кальцію перетворюється на гідроксид ($CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$) з виділенням значної кількості тепла та збільшенням об'єму. Залежно від кількості води отримують: гідратне вапно (пушонку) — при додаванні 50–70% води; вапняне тісто — при надлишку води.

- **Твердіння.** Відбувається внаслідок висихання та карбонізації — взаємодії гідроксиду кальцію з вуглекислим газом повітря, що веде до утворення каменю з карбонату кальцію: $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$.

Таблиця 6.2 – Відмінності між повітряним та гідравлічним вапном

Характеристика	Повітряне вапно	Гідравлічне вапно
Сировина	Чисті вапняки або доломіти (вміст глини до 6–8%).	Мергелісті вапняки (вміст глинистої речовини 6–20%).
Умови твердіння	Тільки на повітрі. У вологому середовищі розмокає і втрачає міцність.	На повітрі та у воді (після попереднього твердіння на повітрі протягом 7–14 діб).
Продукти випалу	Переважно оксид кальцію (CaO) та магнію (MgO).	Оксид кальцію (CaO) + силікати та алюмінати кальцію ($2CaO \cdot SiO_2$ тощо), що здатні до гідролізу.
Основна сфера застосування	Штукатурні розчини для сухих приміщень, побілка, виробництво силікатної цегли.	Розчини для мурування фундаментів, стін у вологих умовах, штукатурка фасадів, виробництво легких бетонів.

Магнезіальні в'язучі та рідке скло

- *Магнезіальні в'язучі* (каустичний магнезит та доломіт) отримують випалом природного магнезиту ($MgCO_3$) або доломіту. Їх особливість — замішування не водою, а водними розчинами солей (наприклад, $MgCl_2$), що забезпечує високу міцність та зчеплення з органічними заповнювачами (ксилоліт, фіброліт).

- *Рідке (розчинне) скло* — це водний розчин силікатів натрію або калію ($R_2O \cdot SiO_2$). Твердіння відбувається на повітрі, матеріал відрізняється високою кислотостійкістю та жаростійкістю. Використовується для виготовлення кислототривких бетонів, силікатних фарб та ущільнення ґрунтів.

6.2. Гідравлічні в'язучі речовини

Здатні тверднути і тривалий час зберігати міцність не лише на повітрі, а й у воді. Головним представником цієї групи є портландцемент.

Портландцемент Це гідравлічне в'язуче, що отримують тонким помелом клінкеру та гіпсу (3–5% для регулювання строків тужавлення).

- **Сировина та виробництво.** Сировинна суміш зазвичай складається з вапняку (близько 75%) та глини (близько 25%). Суміш випалюють у печах при температурі близько 1450 °С до спікання, в результаті чого утворюється клінкер.

- **Мінералогічний склад клінкеру.** Властивості цементу визначаються співвідношенням чотирьох основних мінералів:

1. *Аліт* (C_3S або $3CaO \cdot SiO_2$) — 45–60%. Забезпечує швидке твердіння та високу міцність, особливо в ранні строки.

2. *Беліт* (C_2S або $2CaO \cdot SiO_2$) — 15–30%. Твердне повільно, забезпечує приріст міцності у пізні терміни, виділяє мало тепла.

3. *Трикальцієвий алюмінат* (C_3A або $3CaO \cdot Al_2O_3$) — 4–12%. Характеризується дуже швидким захопленням та високим тепловиділенням, але низькою корозійною стійкістю.

4. Чотирикальцієвий алюмоферит (C_4AF або $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) — 10–18%. Займає проміжне положення за швидкістю твердіння.

Таблиця 6.3 – Мінералогічний склад портландцементного клінкеру та вплив мінералів на властивості цементу

Назва мінералу	Хімічна формула та позначення	Вміст у клінкері, %	Швидкість твердіння	Тепловиділення (екзотермія)	Вплив на міцність цементного каменю
Аліт (Трикальцієвий силікат)	$3CaO \cdot SiO_2$ (C_3S)	40 – 60	Висока (швидко твердне)	Високе	Забезпечує основну міцність, особливо у ранні строки твердіння.
Беліт (Двокальцієвий силікат)	$2CaO \cdot SiO_2$ (C_2S)	15 – 35	Низька (твердне повільно)	Низьке	Забезпечує наростання міцності у пізні строки (через місяці та роки).
Трикальцієвий алюмінат	$3CaO \cdot Al_2O_3$ (C_3A)	4 – 12	Дуже висока (миттєве тужавлення)	Дуже високе	Сприяє швидкому тужавленню, але має низьку кінцеву міцність і низьку сульфатостійкість.
Чотирикальцієвий алюмоферит	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (C_4AF)	10 – 18	Середня	Помірне	Займає проміжне положення між алітом та белітом, підвищує стійкість до ударів.

- **Теорія твердіння.** При взаємодії з водою мінерали клінкеру гідролізуються та гідратуються. Аліт гідролізується з утворенням гідросилікатів кальцію (які формують основний міцний каркас — цементний гель) та вільного гідроксиду кальцію $Ca(OH)_2$. Інші мінерали приєднують воду, утворюючи відповідні гідратні сполуки. З часом колоїдні новоутворення кристалізуються, зростаються в єдиний моноліт — цементний камінь.

Різновиди цементів

- *Шлакопортландцемент:* містить 21–80% гранульованого доменного шлаку. Твердне повільніше за звичайний цемент, має менше тепловиділення, вищу стійкість до м'яких і сульфатних вод.

- *Пуцолановий портландцемент:* містить 20–40% активних мінеральних добавок (пуцолан). Відрізняється високою водостійкістю, низьким тепловиділенням, але меншою морозостійкістю.

- *Швидкотверднучий (ШТЦ):* характеризується інтенсивним набором міцності в перші 3 доби завдяки тонкому помелу та підвищеному вмісту аліту (C3S) і алюмінату (C3A).

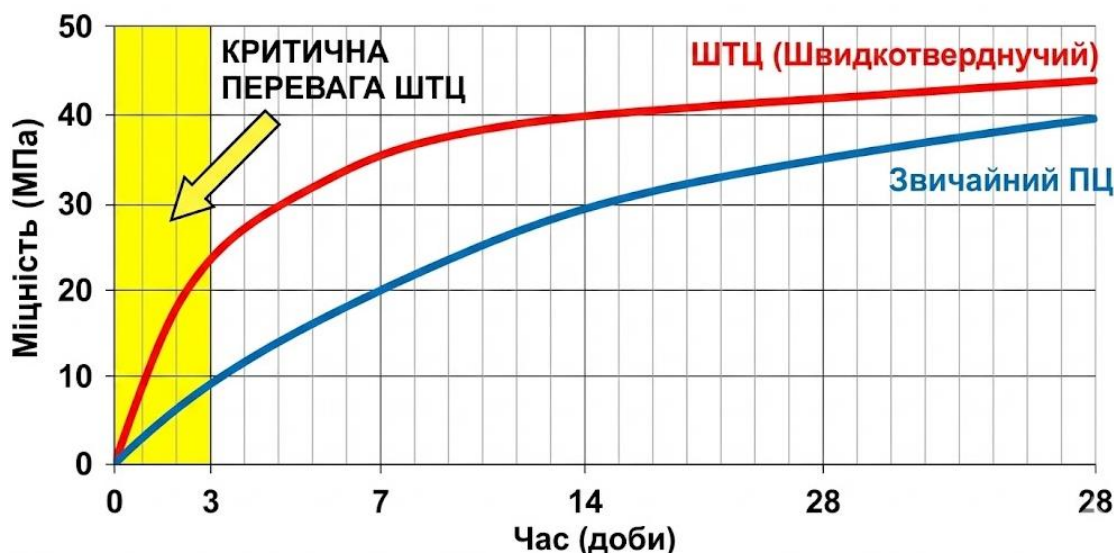


Рисунок 6.1 – Порівняння швидкості тужавіння звичайного і швидкотверднучого бетону

- *Білий та кольоровий:* виготовляються з чистої сировини (без оксидів заліза), для кольорових вводять пігменти. Використовуються для архітектурного оздоблення.

- *Сульфатостійкий*: виготовляється з клінкеру з обмеженим вмістом СЗА (не більше 5%), що підвищує стійкість бетону в агресивних сульфатних середовищах.

Спеціальні цементи

- *Глиноземистий цемент*: швидкоотверднуче в'язуче на основі алюмінатів кальцію. Характеризується високою екзотермією (виділенням тепла), швидким набором міцності, високою вогнетривкістю та корозійною стійкістю.

- *Розширяючі та напружувальні цементи*: тверднуть зі збільшенням об'єму (внаслідок утворення еtringіту), що використовується для компенсації усадки, гідроізоляції швів та створення попереднього напруження в залізобетонних конструкціях (самонапруження).

Корозія цементного каменю та заходи захисту

Під дією агресивних середовищ цементний камінь може руйнуватися. Виділяють три основні види корозії,:

1. **I вид (вилуговування)**: розчинення та вимивання складових частин каменю, насамперед гідроксиду кальцію $Ca(OH)_2$, м'якою водою, що призводить до підвищення пористості та зниження міцності.

2. **II вид (кислотна та обмінна)**: взаємодія складових цементного каменю з кислотами або солями, в результаті чого утворюються легкорозчинні або аморфні продукти, що не мають в'язучих властивостей (наприклад, під дією кислот).

3. **III вид (сульфатна)**: накопичення в порах бетону важкорозчинних солей (наприклад, еtringіту при реакції з сульфатами), кристалізація яких супроводжується значним збільшенням об'єму і призводить до руйнування структури (розтріскування).

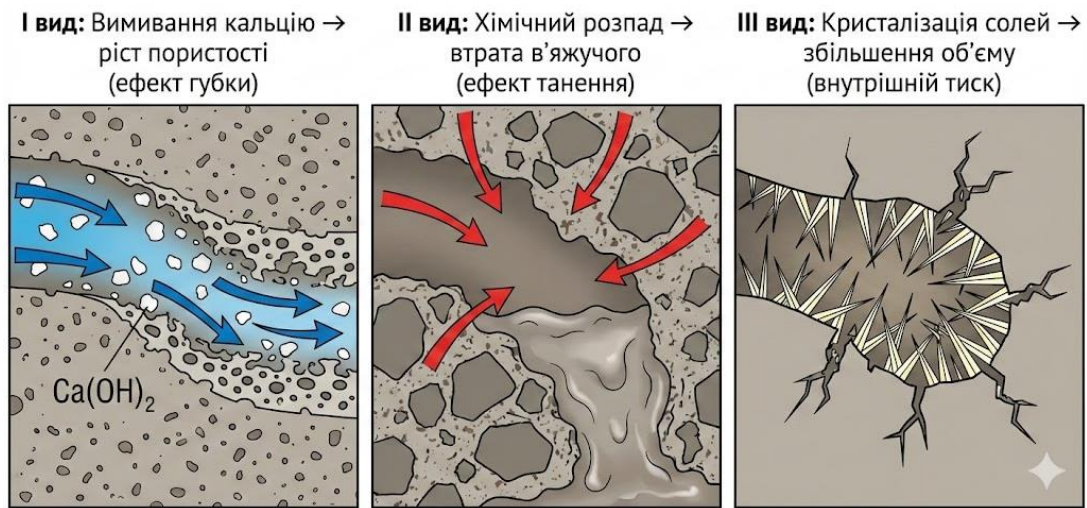


Рисунок 6.2 – Три сценарії руйнування бетону

Заходи захисту включають: вибір стійкого виду цементу (наприклад, сульфатостійкого або з активними мінеральними добавками), підвищення щільності бетону, карбонізацію поверхні, а також нанесення захисних гідроізоляційних покриттів.

Контрольні запитання до розділу 6:

1. Що таке неорганічні (мінеральні) в'язучі речовини та в чому полягає їх основна функція?
2. На які дві основні групи поділяють в'язучі речовини залежно від умов твердіння?
3. У чому полягає головний недолік повітряних в'язучих речовин порівняно з гідравлічними?
4. Які умови термічної обробки необхідні для отримання α -модифікації напівводного гіпсу (високоміцного гіпсу)?
5. Яка хімічна реакція лежить в основі механізму твердіння будівельного гіпсу?
6. До якої групи в'язучих (низько- чи високовипалювальних) належить ангідритовий цемент і при якій температурі його отримують?
7. Як змінюється об'єм гіпсового тіста під час твердіння?
8. Яку речовину називають «кипількою» і як її отримують?
9. Які два фізико-хімічні процеси забезпечують твердіння повітряного вапна?
10. Чим відрізняється сировина для гідравлічного вапна від сировини для повітряного вапна?
11. Яка особливість приготування (замішування) магнезіальних в'язучих речовин відрізняє їх від інших видів?
12. Для яких спеціальних видів бетонів використовують рідке скло?
13. З яких двох основних компонентів складається портландцемент і для чого додають гіпс?
14. Які основні сировинні матеріали (гірські породи) використовують для виробництва портландцементного клінкеру?

РОЗДІЛ 7. БЕТОНИ ТА БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ

Бетон — це штучний кам'яний матеріал композиційної будови, що отримується в результаті формування і твердіння раціонально підібраної та ущільненої суміші, яка складається з в'язучої речовини, води, дрібного і крупного заповнювачів та спеціальних добавок.

7.1. Класифікація бетонів

Внаслідок різноманітності складів та властивостей бетони класифікують за декількома основними ознаками:

• **За середньою густиною:**

1. **Особливо важкі** (густина понад 2500 кг/м^3) — виготовляються на важких заповнювачах (сталеві ошурки, залізна руда, барит) і використовуються для захисту від радіації.

2. **Важкі** (густина $2200\text{--}2500 \text{ кг/м}^3$) — найбільш поширений вид, виготовляється на щільних заповнювачах (гранітний щебінь, кварцовий пісок).

3. **Полегшені** (густина $1800\text{--}2200 \text{ кг/м}^3$) — зазвичай на щебені з гірських порід зниженої густини.

4. **Легкі** (густина $500\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$) — виготовляються на пористих заповнювачах (керамзит, пемза, туф) або мають поризовану структуру.

5. **Особливо легкі** (густина менше 500 кг/м^3) — використовуються переважно як теплоізоляційний матеріал (ніздрюваті бетони, перлітобетон).

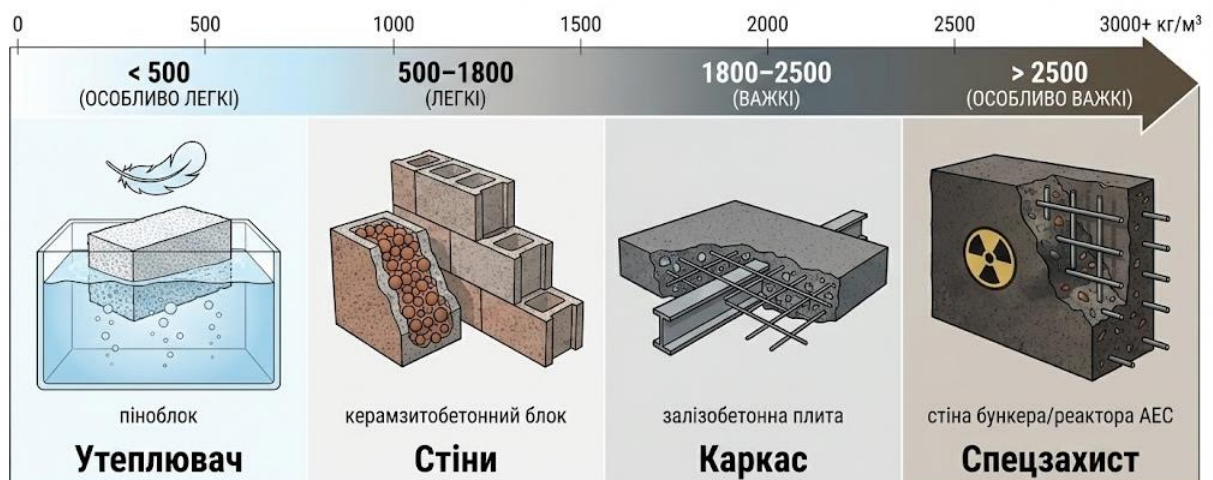


Рисунок 7.1 – Категорії бетонів

- **За видом в'язучого:** Цементні, силікатні (автоклавного твердіння), гіпсові, шлаколувні, полімербетони (на синтетичних смолах), асфальтобетони (на бітумі).

- **За призначенням:**

- *Конструкційні* (для несучих конструкцій будівель і споруд).
- *Гідротехнічні* (для гребель, шлюзів, каналів).
- *Дорожні* (для покриттів доріг та аеродромів).
- *Спеціальні* (жаростійкі, кислотостійкі, радіаційно-захисні, декоративні).

7.2. Важкий бетон

Вимоги до заповнювачів та води Якість бетону безпосередньо залежить від якості його складових. Заповнювачі займають до 80–85% об'єму бетону, створюючи жорсткий скелет, що зменшує усадку та повзучість.

- **Дрібний заповнювач (пісок):** Використовують природні або штучні піски з розміром зерен 0,16–5 мм. Важливим є зерновий склад, що визначається просіюванням через стандартний набір сит. Вміст пилюватих та глинистих часток суворо обмежується (зазвичай до 3%), оскільки вони знижують міцність та морозостійкість бетону. Наявність органічних домішок перевіряють колориметричним методом.

- **Крупний заповнювач (щебінь, гравій):** Розмір зерен 5–70 мм. Щебінь, отриманий дробленням гірських порід, забезпечує краще зчеплення з цементним каменем, ніж гладкий гравій. Міцність заповнювача повинна бути в 1,5–2 рази вищою за проектну міцність бетону. Також нормується вміст пластинчастих (лещадних) зерен, які погіршують укладання суміші.

- **Вода:** Для замішування використовують воду без шкідливих домішок (кислот, сульфатів, жирів, цукру), що перешкоджають твердінню. Питна вода придатна без перевірки. Болотні та стічні води використовувати заборонено. Водневий показник рН має бути не менше 4.

Властивості бетонної суміші та бетону

- **Бетонна суміш:** Основною технологічною властивістю є *легкоукладальність* (зручноукладальність), яка оцінюється за показниками рухливості або жорсткості.

- *Рухливість* визначається осадкою стандартного конуса (ОК, см).

Суміші поділяють на марки П1–П5 (від малорухливих до литих).

- *Жорсткість* характеризується часом вібрування (в секундах), необхідним для ущільнення конуса суміші у формі. Марки Ж1–Ж4. Важливою властивістю є також *тіксотропія* — здатність суміші розріджуватися при механічному впливі (вібрації) і загустіти у стані спокою.

- **Затверділий бетон:**

- *Міцність:* Основний показник якості. Оцінюється *класом бетону* (B), що гарантує міцність у МПа із забезпеченістю 0,95 (наприклад, B15, B25, B60), та *маркою* (M), що базується на середній міцності.

- *Морозостійкість* (F): Здатність витримувати багаторазове заморожування і відтавання у насиченому водою стані без значної втрати міцності. Марки F50–F1000.

- *Водонепроникність* (W): Здатність не пропускати воду під тиском. Марки W2–W12.

Проектування складу та технологія Проектування складу бетону базується на *методі абсолютних об'ємів*, який передбачає, що сума об'ємів усіх компонентів у щільному тілі бетону дорівнює одиниці (1 м³). Розрахунок включає визначення водоцементного відношення (B/C) на основі необхідної міцності та активності цементу, вибір витрати води за необхідною рухливістю суміші, та розрахунок кількості заповнювачів. *Технологічний процес включає:*

1. **Дозування:** Компоненти дозують за масою (для пористих заповнювачів — за об'ємом з корекцією за масою).

2. **Перемішування:** Здійснюється у бетонозмішувачах вільного падіння (для рухливих сумішей) або примусової дії (для жорстких та дрібнозернистих сумішей) до отримання однорідної маси.

3. **Ущільнення:** Найефективнішим методом є вібрування (глибинне або поверхневе), що дозволяє видалити повітря та щільно укласти суміш.

4. **Догляд:** Забезпечення вологого середовища та позитивної температури (15–25 °С) для нормальної гідrataції цементу, особливо у перші 7–14 діб.

Таблиця 7.1 – Рекомендовані склади (у частинах за об'ємом)

Марка цементу	Тип розчину	M100	M75	M50	M25
M400	Цементно-вапняний (Цемент : Вапно : Пісок)	1 : 0,3 : 4,0	1 : 0,5 : 5,5	1 : 0,8 : 7,0	1 : 0,9 : 8,0
	Цементний (Цемент : Пісок)	1 : 4,5	1 : 5,5	1 : 6,0	—
M500	Цементно-вапняний (Цемент : Вапно : Пісок)	1 : 0,2 : 3,5	1 : 0,4 : 4,5	1 : 0,5 : 5,5	1 : 0,8 : 7,0
	Цементний (Цемент : Пісок)	1 : 4,0	1 : 4,5	1 : 5,5	—

7.3. Легкі бетони

- **Бетони на пористих заповнювачах:** Виготовляються з використанням природних (пемза, туф) або штучних (керамзит, аглопорит, шлакова пемза, перліт) пористих заповнювачів. Мають меншу густину (до 1800 кг/м³) та низьку теплопровідність, що дозволяє використовувати їх як конструкційно-теплоізоляційний матеріал для стінових панелей та перекриттів.

- **Ніздрюваті бетони:** Мають структуру, насичену порами (до 85% об'єму) розміром 1–2 мм. За способом поризації поділяються на:

- *Газобетон:* Отримують введенням газоутворювача (зазвичай алюмінієвої пудри), який реагує з вапном або цементом, виділяючи водень і спучуючи суміш.

- *Пінобетон:* Отримують змішуванням в'язучого розчину зі стійкою технічною піною, приготовленою з піноутворювачів.

7.4. Спеціальні бетони

- **Гідротехнічний бетон:** Призначений для масивних споруд, що постійно або періодично контактують з водою (греблі, шлюзи, канали, резервуари). Характеризується підвищеною водонепроникністю (марки W4–W20), морозостійкістю (F) та стійкістю до вимивання (корозії), що досягається ретельним підбором гранулометрії. Використовують спеціальні пуцоланові або сульфатостійкі цементы для зменшення екзотермії.

- **Жаростійкий бетон:** Здатний зберігати фізико-механічні властивості при тривалій дії температур понад 200 °C (до 1580 °C) без руйнування та розтріскування. Виготовляється на глиноземистому цементі, рідкому склі або шлакопортландцементі з вогнетривкими заповнювачами (шамот, базальт, хроміт, бій кераміки). Застосовується для футерування промислових печей та теплових агрегатів.

- **Радіаційно-захисний (особливо важкий) бетон:** Призначений для біологічного захисту персоналу АЕС та лабораторій від рентгенівського та гамма-випромінювання. Має густину понад 2500 кг/м³ (зазвичай до 5000 кг/м³). Як заповнювачі використовують важкі матеріали, що ефективно поглинають радіацію: магнетит, барит, лимоніт, металевий скрап. Вміст хімічно зв'язаної води (наприклад, у гідратних бетонах) або сполук бору додатково допомагає затримувати потік нейтронів.

7.5. Будівельні розчини

Будівельний розчин — це дрібнозернистий бетон, що складається з в'язучого, дрібного заповнювача (піску) та води. Класифікується:

- **За призначенням:** Кладочні (для цегляної та кам'яної кладки), штукатурні (опоряджувальні), монтажні (для заповнення швів), спеціальні (гідроізоляційні, акустичні, рентгенозахисні).

- **За властивостями розчинових сумішей:** Основні властивості — *рухливість* (глибина занурення еталонного конуса, см) та *водоутримувальна здатність* (здатність утримувати воду при нанесенні на пористу основу, наприклад, цеглу, що запобігає розшаруванню та забезпечує набір міцності).

Таблиця 7.2 – Залежність необхідної рухливості розчинної суміші від виду робіт

Марка за рухливістю	Осідання конуса (ОК), см	Рекомендована сфера застосування (вид робіт)
П4	1 – 4	<ul style="list-style-type: none"> • Бутова кладка з ущільненням вібруванням. • Монтаж стін з великих блоків (заповнення швів). • Влаштування віброваних панелей.
П8	4 – 8	<ul style="list-style-type: none"> • Звичайна бутова кладка. • Кладка з повнотілої цегли та важкого природного каменю. • Монтаж стінових панелей та блоків (горизонтальні шви).
П12	8 – 12	<ul style="list-style-type: none"> • Кладка зі звичайної та пустотілої цегли (якщо не потрібне заповнення пустот). • Кладка з легких бетонних каменів і черепашнику. • Опоряджувальні (штукатурні) роботи ручним способом.
П14	12 – 14	<ul style="list-style-type: none"> • Заповнення пустот у бутовій кладці. • Нанесення штукатурного набризку та ґрунту механізованим способом (розчинонасосами).

7.6. Сухі будівельні суміші (СБС)

Сухі будівельні суміші — це приготовані в заводських умовах порошкоподібні композиції з в'язучих речовин, наповнювачів, заповнювачів та модифікуючих добавок, які перед використанням потребують лише додавання води.

- **Переваги:** Стабільність складу, точне дозування компонентів, підвищення продуктивності праці, можливість нанесення тонкими шарами, зниження матеріаломісткості, зручність транспортування та зберігання.

- **Класифікація:** Клейові (для плитки, теплоізоляції), штукатурні, шпаклювальні, для влаштування підлог (самовирівнювальні), мурувальні, гідроізоляційні.

- **Модифікуючі добавки:** Є ключовим компонентом СБС, що забезпечує їх спеціальні властивості.

◦ *Ефіри целюлози* (наприклад, метилцелюлоза) — основна водоутримувальна добавка, яка запобігає відсмоктуванню води основою та забезпечує життєздатність розчину.

◦ *Редиспергуючі полімерні порошки* — при змішуванні з водою відновлюються у дисперсію, значно підвищуючи адгезію до основи, еластичність та тріщиностійкість затверділого розчину.

Таблиця 7.3 – Функціональна роль компонентів у сучасних сухих будівельних сумішах (СБС)

Компонент суміші	Типові представники	Основна функція та вплив на властивості
Органічне в'язуче	Редисперговані полімерні порошки (сополімери вінілацетату, етилену, акрилату)	Забезпечують високу адгезію до різних основ, еластичність (деформативність) затверділого шару, підвищують водостійкість.
Водоутримувальні добавки	Ефіри целюлози (метилцелюлоза)	Запобігають швидкому відсмоктуванню води пористою основою (цеглою, газобетоном), забезпечуючи повну гідратацію цементу в тонкому шарі (наприклад, у клеях для плитки).
Регулятори реології	Пластифікатори, тиксотропні добавки	Дозволяють суміші легко розтікатися (наливні підлоги) або, навпаки, не сповзати з вертикальних поверхонь (плиткові клеї, штукатурки).
Дисперсні наповнювачі	Мармурове борошно, мікрокремнезем, вапняк	Створюють щільну структуру, зменшують усадку, підвищують тріщиностійкість та міцність контактної зони.

Контрольні запитання до розділу 7:

1. З яких основних компонентів складається бетонна суміш?
2. Який діапазон густини ($\text{кг}/\text{м}^3$) відповідає категорії «важкі бетони»?
3. Які заповнювачі використовують для виготовлення особливо важких бетонів, призначених для захисту від радіації?
4. Який граничний відсоток вмісту пилюватих та глинистих часток допускається у піску для бетону?
5. У скільки разів міцність крупного заповнювача (щебеню) повинна перевищувати проектну міцність бетону?
6. Яким повинен бути мінімальний водневий показник (рН) води, що використовується для замішування бетону?
7. За допомогою якого приладу визначають рухливість бетонної суміші?
8. Що таке тіксотропія бетонної суміші?
9. Чим відрізняється клас бетону (В) від марки бетону (М)?
10. Що характеризує марка бетону за морозостійкістю (F)?
11. У чому полягає суть методу абсолютних об'ємів при проектуванні складу бетону?
12. Який метод ущільнення бетонної суміші вважається найефективнішим?
13. Які температурні умови необхідно підтримувати при догляді за бетоном у перші 7–14 діб?
14. Чим відрізняється технологія отримання газобетону від пінобетону?
15. Які марки за водонепроникністю (W) характерні для гідротехнічного бетону?
16. Які в'язучі речовини використовують для виготовлення жаростійкого бетону?
17. Що є основною відмінністю будівельного розчину від бетону за складом заповнювачів?
18. Які дві основні властивості визначають якість розчинових сумішей?
19. Яку функцію виконують ефіри целюлози у складі сухих будівельних сумішей (СБС)?

РОЗДІЛ 8. ЗАЛІЗОБЕТОННІ ВИРОБИ ТА КОНСТРУКЦІЇ

Залізобетон — це штучний композиційний будівельний матеріал, у якому поєднані в єдине ціле бетон та сталева (або композитна) арматура, що працюють сумісно під навантаженням. Таке поєднання дозволяє ефективно використовувати позитивні якості обох матеріалів, нівелюючи їхні недоліки.

8.1. Сутність залізобетону

Ідея створення залізобетону базується на відмінності у фізико-механічних властивостях його складових. Бетон, як штучний камінь, добре чинить опір стискаючим зусиллям, але має низьку міцність на розтяг (у 10–20 разів меншу, ніж на стиск). Сталь же володіє високою міцністю на розтяг. Тому в залізобетонних конструкціях арматуру розташовують у тих зонах (розтягнутих), де виникають розтягуючі напруження, а бетон сприймає стискаючі зусилля.

Сумісна робота бетону та арматури забезпечується трьома основними факторами:

1. **Зчеплення.** Між бетоном та арматурою виникають сили зчеплення, які перешкоджають їх взаємному зміщенню. Це досягається завдяки склеюванню цементним тістом (адгезії), силам тертя, що виникають при усадці бетону (обтиснення арматури), та механічному зачепленню за рахунок нерівностей поверхні арматури (періодичного профілю).

2. **Температурна сумісність.** Бетон і сталь мають близькі коефіцієнти лінійного температурного розширення (для бетону $\approx 10 \cdot 10^{-6}$, для сталі $\approx 12 \cdot 10^{-6}$), що запобігає виникненню внутрішніх напружень та руйнуванню монолітності конструкції при зміні температури в межах від -40 до $+60$ °С.

3. **Захист від корозії.** Щільний бетон захищає сталеву арматуру від корозії. При твердінні цементу утворюється лужне середовище, яке пасивує сталь, запобігаючи її окисленню. Для надійного захисту необхідно забезпечити достатню товщину захисного шару бетону та його щільність.

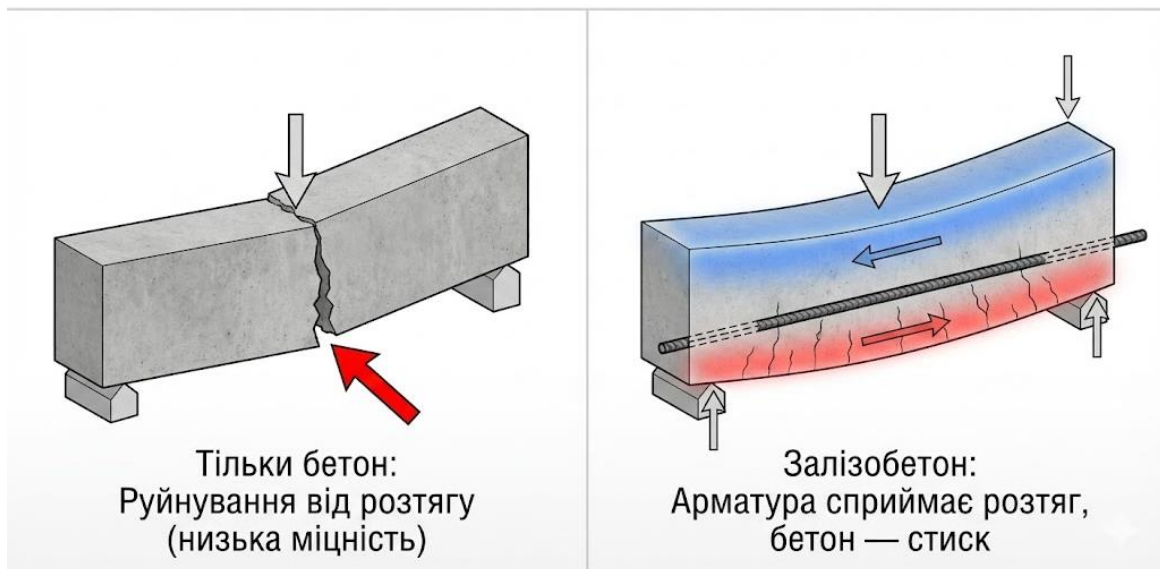


Рисунок 8.1 – Переваги залізобетону перед звичайним бетоном

8.2. Види арматури

Арматура сприймає розтягуючі, а в деяких випадках і стискаючі зусилля, а також забезпечує цілісність конструкції.



Рисунок 8.2 – Види арматури для залізобетону

Сталева арматура За способом виготовлення сталеву арматуру поділяють на:

- **Гарячекатану стрижневу (А).** Випускається у вигляді стрижнів діаметром від 6 до 80 мм. Залежно від механічних властивостей поділяється на класи А240С, А400С, А500С тощо.

- **Холоднотягнута дротяну (В).** Випускається у вигляді дроту діаметром 3–8 мм. За характером профілю арматура буває *гладкою* та *періодичного профілю* (з виступами для кращого зчеплення з бетоном). Також використовують арматурні канати та пасма.

Композитна арматура Сучасною альтернативою сталі є неметалева композитна арматура, яка складається з пучка волокон, просочених полімерним в'язучим (епоксидними смолами). Основні види:

- **Склопластикова арматура.** Виготовляється на основі скляного ровінгу. Вона має високу питому міцність (на розрив у 2,5 раза міцніша за сталь), низьку теплопровідність (не створює містків холоду) та є діелектриком (радіопрозора, магнітоінертна).

- **Базальтова арматура.** Виготовляється з базальтових волокон, має високу стійкість до агресивних середовищ. Головною перевагою композитної арматури є абсолютна стійкість до корозії, що значно подовжує термін служби конструкцій в агресивних умовах. Крім того, вона в 9 разів легша за сталеву (при рівномісній заміні).

8.3. Технологія виготовлення

Виготовлення збірних залізобетонних виробів здійснюється на спеціалізованих заводах за трьома основними схемами.

Способи виробництва:

1. **Агрегатно-поточковий.** Технологічні операції виконуються на окремих спеціалізованих постах. Форма з виробом переміщується від поста до поста за допомогою підйомного крана.

2. **Конвеєрний.** Процес максимально механізований та автоматизований. Форми примусово переміщуються по замкненому колу (конвеєру) із суворо заданим ритмом. Цей спосіб найбільш ефективний для масового випуску однотипних виробів (наприклад, плит перекриття або стінових панелей).

3. **Стендовий.** Виріб формується і твердне в нерухомій формі на спеціальному стенді. Технологічне обладнання переміщується до форми. Цей

метод використовують для виготовлення великогабаритних, масивних та попередньо напружених конструкцій (ферм, балок прольотом понад 12 м), які важко транспортувати в процесі виробництва.

4. **Касетний.** Формування відбувається у вертикальних стаціонарних формах-касетах. Це дозволяє формувати тонкостінні вироби (внутрішні стінові панелі, перегородки) з високою точністю розмірів і гарною якістю поверхні, значно заощаджуючи виробничу площу.

Таблиця 8.1 – Вплив технологічних факторів на властивості бетонної суміші та затверділого бетону

Фактор (зміна параметру)	Вплив на рухливість суміші (легкоукладальність)	Вплив на міцність затверділого бетону	Вплив на довговічність (морозостійкість, водонепроникність)
Збільшення В/Ц (додавання води)	Підвищується (суміш стає більш плинною)	Знижується (зростає пористість цементного каменю)	Знижується (утворюється більше відкритих капілярних пор)
Збільшення витрати цементного тіста (при постійному В/Ц)	Підвищується (зменшується тертя між зернами заповнювача)	Не змінюється або зростає (за рахунок кращого ущільнення)	Підвищується (краще заповнення пустот між зернами)
Використання щебеню (замість гравію)	Знижується (через кутасту форму зерен зростає внутрішнє тертя)	Підвищується (краще зчеплення цементного каменю з шорсткою поверхнею)	Підвищується (за умови високої якості щебеню)
Збільшення частки піску (у суміші заповнювачів)	Знижується (зростає сумарна площа поверхні, що потребує змочування)	Знижується (якщо порушено оптимальний зерновий склад і розсув зерен)	Знижується (можливе підвищення водопотреби)

Попередньо напружений залізобетон — це вдосконалений різновид залізобетону, в якому ще на етапі виготовлення (до прикладання експлуатаційних навантажень) штучно створюють значні стискаючі напруження в тих зонах бетону, де згодом під дією зовнішніх сил виникне розтяг. Це дозволяє компенсувати слабку роботу бетону на розтяг його високою міцністю на стиск.

- **Сутність методу:** Високоміцну арматуру попередньо розтягують, після чого вкладають бетонну суміш. Коли бетон твердне і набирає необхідної міцності, арматуру звільняють від натягу. Вона, прагнучи пружно скоротитися до початкового стану, передає зусилля на бетон, ефективно «обтискаючи» його.
- **Переваги:** Суттєво підвищується тріщиностійкість, жорсткість та довговічність конструкцій. Це дає можливість перекривати значно більші прольоти, зменшити витрати сталі (завдяки використанню меншої кількості високоміцної арматури) та бетону (через зменшення перерізу і маси елементів), а також підвищити витривалість конструкцій при динамічних та вібраційних навантаженнях.

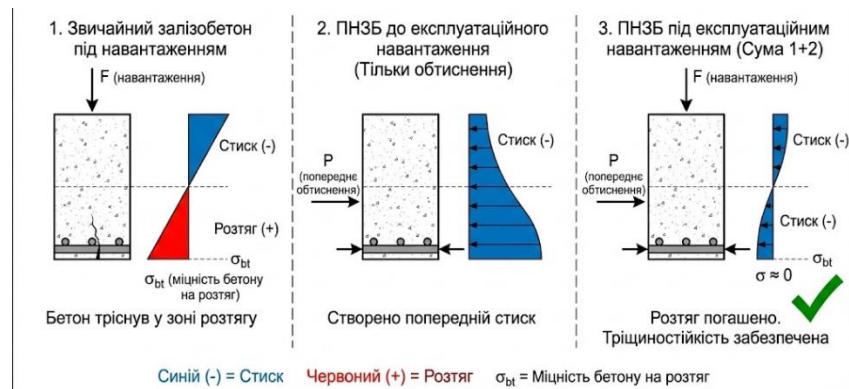


Рисунок 8.3 – Діаграма епюр напружень для звичайного і попередньо напруженого залізобетону

8.4. Номенклатура виробів

Збірний залізобетон широко використовується у всіх видах будівництва.



Рисунок 8.4 – Комплексна схема використання збірного залізобетону.

- **Фундаментні блоки та елементи:**

- *Фундаментні блоки (ФБС):* прямокутні паралелепіпеди з важкого бетону для влаштування стрічкових фундаментів та стін підвалів.

- *Палі:* залізобетонні стержні квадратного перерізу (зазвичай 300x300 мм) для передачі навантаження на глибоко розташовані шари ґрунту.

- **Плити перекриття:**

- Найпоширенішими є *багатопустотні плити* (з круглими або овальними порожнечами) для житлових та громадських будівель. Вони забезпечують звуко- та теплоізоляцію і зменшують вагу перекриття.

- Для промислових будівель використовують *ребристі плити* ("П"-подібні), які мають високу несучу здатність.

- **Ферми та балки:** Використовуються для перекриття великих прольотів (12, 18, 24 м і більше) у промислових будівлях, ангарах. Зазвичай виготовляються попередньо напруженими.

- **Елементи інженерних споруд:**

- *Труби:* напірні та безнапірні для водопроводів, колекторів.

- *Тюбінги:* для кріплення тунелів метрополітену.

- *Шпали:* попередньо напружені елементи для залізничних колій.

- *Елементи колодязів:* кільця стінові, плити днища та перекриття.

Контрольні запитання до розділу 8:

1. У яких зонах конструкції розташовують арматуру і чому?
2. У скільки разів міцність бетону на розтяг менша, ніж на стиск?
3. Назвіть три основні фактори, що забезпечують сумісну роботу бетону та арматури.
4. Яким чином бетон захищає сталеву арматуру від корозії?
5. Чому близькість коефіцієнтів лінійного температурного розширення бетону і сталі є важливою?
6. На які два основні види поділяють сталеву арматуру за способом виготовлення?
7. Для чого на арматурі роблять виступи (періодичний профіль)?
8. Які основні переваги композитної арматури перед сталевую?
9. У скільки разів композитна арматура легша за сталеву при рівномірній заміні?
10. Які існують чотири основні способи (схеми) виробництва збірних залізобетонних виробів?
11. Для якого типу виробів найбільш ефективним є конвеєрний спосіб виробництва?
12. Який спосіб виробництва використовується для виготовлення великогабаритних конструкцій (ферм, балок понад 12 м)?
13. У чому перевага касетного способу формування виробів?
14. Як впливає збільшення водоцементного відношення (В/Ц) на міцність та довговічність бетону?
15. Як впливає використання щебеню замість гравію на міцність бетону та рухливість суміші?
16. У чому полягає сутність методу попередньо напруженого залізобетону?
17. Які переваги мають попередньо напружені конструкції порівняно зі звичайними?
18. Для чого призначені фундаментні блоки (ФБС)?

РОЗДІЛ 9. ШТУЧНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ (БЕЗВИПАЛЮВАЛЬНІ)

Штучні кам'яні безвипалювальні матеріали отримують шляхом формування сумішей, що складаються з в'язучої речовини, води та заповнювачів, з подальшим твердінням у звичайних умовах або за спеціальних режимів (теплова обробка, автоклавування). Ця група матеріалів охоплює широкий спектр виробів на основі вапна, гіпсу та цементу, армованих різними видами волокон.

9.1. Автоклавні матеріали

Автоклавні матеріали об'єднує спільна технологія виробництва, ключовим етапом якої є тепловологісна обробка у герметичних апаратах — автоклавах. Процес відбувається у середовищі насиченої водяної пари при тиску 0,8–1,6 МПа та температурі 175–200 °С.

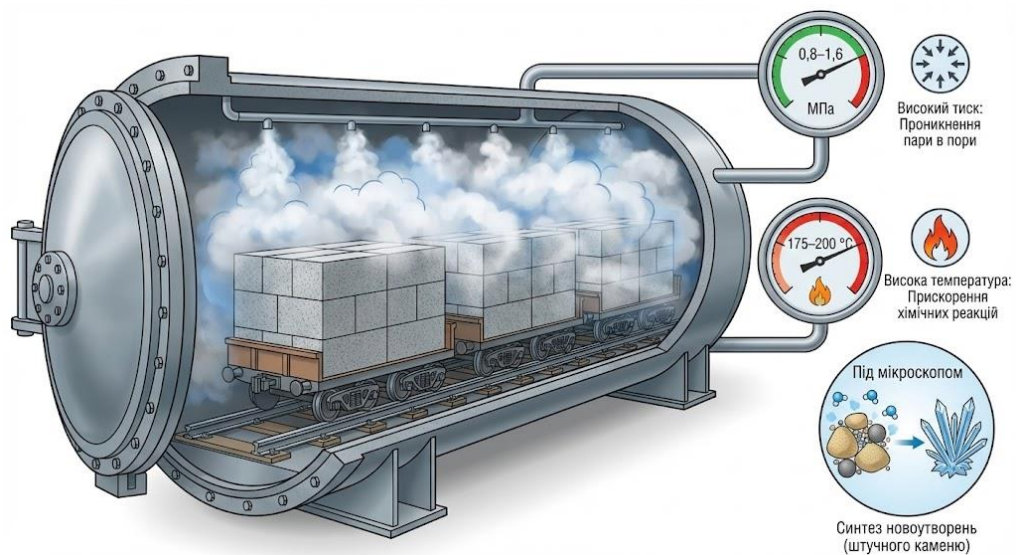


Рисунок 9.1 – Принциповий вигляд автоклаву.

Фізико-хімічні основи синтезу В'язучі автоклавного твердіння (вапняно-кремнеземисті, вапняно-шлакові тощо) за нормальних умов характеризуються низькою активністю. Однак під дією високої температури і тиску в автоклаві відбувається хімічна реакція між гідроксидом кальцію $Ca(OH)_2$ та кремнеземом SiO_2 (що міститься у піску або шлаках). Внаслідок цієї взаємодії синтезуються **гідросилікати кальцію**, які відіграють роль цементуючої речовини, що скріплює зерна заповнювача в єдиний міцний і

водостійкий моноліт. Реакцію можна представити схемою: $nCa(OH)_2 + SiO_2 + mH_2O \rightarrow nCaO \cdot SiO_2 \cdot (m+1)H_2O$.

Силікатна цегла Силікатна цегла є найпоширенішим стіновим матеріалом цієї групи. Її виготовляють із жорсткої суміші, що складається з кварцового піску (92–94 %), повітряного вапна (6–8 %) та води (7–8 %). Силікатна цегла поділяється на рядову та лицьову, повнотілу та порожнисту. За міцністю розрізняють марки від М75 до М300, а за морозостійкістю — від F15 до F50.

Таблиця 9.1 Порівняльна характеристика силікатної та керамічної цегли (експлуатаційні обмеження та ефективність)

Характеристика / Показник	Силікатна цегла (автоклавна)	Керамічна цегла (випалювальна)	Примітка
Водостійкість	Низька. Не допускається використання для фундаментів та цоколів нижче гідроізоляційного шару.	Висока. Може використовуватися у вологих умовах (за умови належної марки та морозостійкості).	Силікатна цегла інтенсивно вбирає ґрунтові води, що призводить до зниження міцності.
Термостійкість	Низька. Руйнується при $t > 500^\circ\text{C}$ внаслідок дегідратації гідросилікатів кальцію.	Висока. Витримує високі температури (до $800 - 900^\circ\text{C}$ для рядової).	Силікатну цеглу заборонено використовувати для мурування печей та димарів.
Енергоємність виробництва	Низька. Витрати палива у 2 рази менші, електроенергії — у 3 рази менші.	Висока. Потребує тривалого високотемпературного випалу ($900 - 1000^\circ\text{C}$).	Силікатна цегла має меншу собівартість (на 25–35%).
Звукоізоляція	Вища (завдяки більшій густині $1800 - 1900 \text{ кг/м}^3$).	Нижча (для пустотілої) або середня (для повнотілої).	Силікатна цегла є кращим матеріалом для міжквартирних перегородок.

Силікатний бетон Це штучний камінь, отриманий внаслідок автоклавного твердіння суміші вапняно-кремнеземистого в'язучого, піску та води, іноді з додаванням крупного заповнювача (щебеню). Залежно від структури та заповнювачів силікатні бетони поділяють на:

- **Щільні (важкі)** — використовуються для виготовлення конструкційних елементів (колон, балок, плит перекриттів).
- **Легкі** — виготовляються на пористих заповнювачах (керамзит, аглопорит) і мають меншу густину (до 1800 кг/м³).
- **Ніздрюваті (газосилікати, піносилікати)** — матеріали з високою пористістю (до 85%), що забезпечує їм високі теплоізоляційні властивості. Отримуються шляхом введення газоутворювачів (алюмінієвої пудри) або піни у вапняно-кремнеземисту суміш.

Таблиця 9.2 – Різновиди силікатних бетонів автоклавного твердіння за структурою

Вид бетону	Структура та склад	Середня густина, кг/м ³	Властивості та застосування
Щільний силікатний бетон	Вапно + кварцовий пісок + щебінь. Щільна структура без штучних пор [17]	1800 – 2200	Висока міцність (10–80 МПа). Використовується для несучих конструкцій: колон, балок, плит перекриттів, сходових маршів.
Ніздрюватий силікатний бетон (Газосилікат)	Вапно + мелений пісок + газоутворювач (алюмінієва пудра) [16] Пориста структура (сферичні пори 1–3 мм).	500 – 1200 (конструкційний) < 500 (теплоізоляційний)	Поєднує несучу здатність з високою теплоізоляцією $\lambda = 0,17...0,46$ Вт/м²С). Стінові блоки, панелі, утеплювач.
Силікальцит	Вапно + пісок, оброблені у дезінтеграторі (високошвидкісне ударне змішування).	1600 – 2000	Підвищена міцність та морозостійкість порівняно зі звичайним силікатобетоном завдяки активації піску. Тонкостінні конструкції, труби, черепиця.

9.2. Гіпсові вироби

Вироби на основі гіпсових в'язучих характеризуються екологічністю, вогнестійкістю, високими звуко- та теплоізоляційними властивостями, а також здатністю регулювати мікроклімат приміщень («дихати»). Залежно від

складу їх поділяють на гіпсові (з чистого гіпсового тіста) та гіпсобетонні (із заповнювачами — тирсою, шлаком тощо).

- **Гіпсокартонні листи (ГКЛ)** або «суха штукатурка» — це листовий оздоблювальний матеріал, що складається з гіпсового осердя, армованого скловолокном або іншими добавками, та облицьованого з обох боків картоном. Картон виконує роль армуючого каркаса та основи для нанесення оздоблення. Залежно від властивостей розрізняють звичайні (ГКЛ), вологостійкі (ГКЛВ — з добавками силікону), вогнестійкі (ГКЛП — з мінеральними волокнами) та вологовогнестійкі (ГКЛВП) листи.

- **Пазогребневі плити** — індустріальні вироби для зведення ненесучих перегородок. Вони виготовляються методом лиття і мають на торцях систему «паз-гребінь», що дозволяє вести швидкий монтаж без зміщення блоків. Використання таких плит дає змогу отримати рівну поверхню, що не потребує штукатурення.

- **Гіпсобетонні панелі** — великорозмірні вироби (розміром на кімнату), що виготовляються методом вібропрокату з гіпсобетону (гіпс, пісок, тирса). Зазвичай вони армуються дерев'яним рейковим каркасом. Використовуються для влаштування перегородок та основ під підлогу.

9.3. Асфальтоцементні та фіброцементні вироби

Азбестоцемент — це штучний композиційний матеріал, що отримується в результаті затвердіння суміші цементу (80–90 %), азбесту (10–20 %) та води. Цемент утворює міцну матрицю, а тонкі волокна азбесту виконують роль арматури, сприймаючи розтягуючі зусилля, що забезпечує матеріалу високу міцність на вигин, вогнестійкість та довговічність.

Основні види виробів:

- **Профільовані листи (шифер).** Найпоширеніший покрівельний матеріал. Випускається у вигляді хвилястих листів різного профілю (звичайного, підсиленого, уніфікованого). Хвиляста форма надає листам жорсткості та збільшує несучу здатність.

- **Плоскі плити.** Використовуються для облицювання стін, виготовлення стінових панелей типу «сендвіч», перегородок, огорож

балконів. Вони можуть бути пресованими (підвищеної міцності) та непресованими.

- **Труби.** Виготовляються напірні (для водопроводів, теплотрас) та безнапірні (для каналізації, дренажу). Азбестоцементні труби не піддаються електрохімічній корозії, мають низьку теплопровідність і меншу вагу порівняно з металевими.

- **Фасадні панелі.** Сучасні вироби часто представляють собою плити з захисно-декоративним покриттям або фактурною поверхнею. Використовуються в системах вентильованих фасадів та як облицювальний шар у тришарових панелях з утеплювачем.

Фіброцементні вироби (фібробетон) — це сучасний розвиток технології, де замість азбесту або разом з ним для дисперсного армування цементної матриці використовують інші волокна (фібри): скляні, базальтові, полімерні, сталеві. Склофібробетон, наприклад, дозволяє створювати тонкостінні архітектурні деталі складної форми з високою ударною в'язкістю. Базальтові волокна забезпечують високу хімічну стійкість та довговічність в агресивних середовищах.

Еволюція армування: Від азбесту до хай-теку

Тип волокна (Мікро-вигляд)	Ключова перевага (Іконка)	Приклад виробу
 Азбест	 Вогнестійкість	 шифер
 Скловолокно	 Складні форми, ударна в'язкість	 склофібробетон
 Базальтове волокно	 Хімічна стійкість в агресивних середовищах	 Базальтове вищо:робетон для хімічна плант
 Полімерне/ Сталеве	 Висока тріщиностійкість, міцність на розтяг	

Рисунок 9.2 – Армування матеріалів, типи та опис.

Контрольні запитання до розділу 9:

1. Які три основні компоненти входять до складу сумішей для отримання штучних безвипалювальних матеріалів?
2. За яких параметрів тиску та температури відбувається процес твердіння в автоклавах?
3. Чому вапняно-кремнеземисті в'язучі потребують автоклавної обробки, а не тверднуть за нормальних умов?
4. Яка хімічна сполука утворюється в результаті реакції між гідроксидом кальцію та кремнеземом в автоклаві?
5. Який орієнтовний склад суміші для виготовлення силікатної цегли (у відсотках)?
6. Який недолік силікатної цегли обмежує її використання для фундаментів та цоколів?
7. Чому силікатну цеглу заборонено використовувати для мурування печей та димарів?
8. У чому полягає економічна перевага виробництва силікатної цегли над керамічною?
9. Порівняйте звукоізоляційні властивості силікатної та керамічної цегли: яка з них краща і чому?
10. Які три основні види силікатних бетонів виділяють залежно від структури та заповнювачів?
11. Який компонент вводять у суміш для отримання газосилікату (ніздрюватого бетону)?
12. Що таке силікальцит і яка особливість його технології виробництва?
13. Чим відрізняються гіпсові вироби від гіпсобетонних за складом?
14. Яку функцію виконує картон у гіпсокартонних листах (ГКЛ)?
15. Як маркуються гіпсокартонні листи, що мають підвищену вологостійкість, і що додають до їх складу?
16. У чому полягає головна монтажна перевага пазогребневих плит?
17. Яким матеріалом зазвичай армуються великорозмірні гіпсобетонні панелі?
18. Яку роль виконують волокна азбесту в азбестоцементних виробках?

РОЗДІЛ 10. ОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ ТА МАТЕРІАЛИ НА ЇХ ОСНОВІ

Органічні в'язучі речовини — це складні суміші високомолекулярних вуглеводнів та їхніх неметалічних похідних (що містять сірку, кисень, азот), які здатні змінювати фізико-механічні властивості залежно від температури. Вони є термопластичними матеріалами: при нагріванні розм'якшуються, переходячи у рідкий стан, а при охолодженні відновлюють в'язкість та тверднуть, що дозволяє використовувати їх для створення водонепроникних та монолітних покриттів.

10.1. Бітуми та дьогті

Основними представниками цієї групи є бітумні та дьогтьові в'язучі, які об'єднує гідрофобність, водостійкість, висока адгезія до каменю та металу, а також аморфна структура.

Склад та класифікація

- **Бітуми.** Поділяються на природні та штучні (нафтові).

- *Природні бітуми* утворюються внаслідок природного окислення нафти і зустрічаються у вигляді просочених гірських порід (асфальтових порід). Чистий бітум отримують екстракцією з цих порід.

- *Нафтові бітуми* є продуктом переробки нафти. За технологією отримання розрізняють: залишкові (гудрони — після відгону легких фракцій), окислені (продуті повітрям) та крекінгові (продукти розкладання нафти при високих температурах).

- *Груповий хімічний склад бітумів* включає три основні групи вуглеводнів: *олії* (надають рухливість та плинність), *смоли* (забезпечують пластичність та адгезію) та *асфальтени* (тверді частинки, що підвищують в'язкість і температурну стійкість).

- **Дьогті.** В'язкі рідини, отримані в результаті сухої перегонки (нагрівання без доступу повітря) твердого палива: кам'яного вугілля, торфу, деревини. Найпоширенішим є кам'яновугільний дьоготь. Твердим залишком

перегонки дьогтю є пек. Дьогтьові матеріали мають вищу біостійкість, ніж бітумні, але швидше старіють під дією атмосфери.

Таблиця 10.1 – Порівняльна характеристика бітумних та дьогтьових в'язучих речовин

Характеристика	Бітумні в'язучі	Дьогтьові в'язучі
Сировина для отримання	Продукти переробки нафти (гудрон, крекінг-залишки) або екстракція з асфальтових гірських порід.	Продукти сухої перегонки (коксування) твердого палива: кам'яного вугілля, торфу, сланців, деревини.
Атмосферостійкість	Висока. Більш стійкі до старіння під дією сонця та повітря.	Знижена. Швидше старіють, стають крихкими через наявність ненасичених вуглеводнів.
Біостійкість	Помірна. Можуть руйнуватися під дією мікроорганізмів та коріння рослин.	Висока. Завдяки вмісту токсичного фенолу є антисептиками, захищають деревину та картон від гниття.
Токсичність	Відносно безпечні при дотриманні правил роботи.	Токсичні. Містять канцерогенні речовини (феноли), що обмежує їх використання у житловому будівництві.
Зміна в'язкості від температури	Менш різка зміна в'язкості при нагріванні (ширший інтервал пластичності).	Більш різка зміна в'язкості (швидко розріджуються при нагріванні і стають крихкими при охолодженні).

Основні властивості Якість бітумів оцінюють за комплексом показників, основними з яких є:

1. **В'язкість (твердість).** Характеризує опір матеріалу переміщенню частинок. Для твердих та напівтвердих бітумів в'язкість визначають на пенетрометрі за глибиною проникнення стандартної голки (пенетрація) при 25°C. Для рідких бітумів в'язкість вимірюють віскозиметром за часом витікання порції в'язучого через отвір.

2. **Температура розм'якшення.** Оскільки бітуми є аморфними речовинами, вони не мають чіткої точки плавлення. Цей показник

характеризує верхню температурну межу експлуатації і визначається методом «Кільце і Куля» (КіК) — фіксується температура, при якій шар бітуму під вагою сталеві кульки деформується на задану величину.

3. **Розтяжність (дуктильність).** Здатність бітуму витягуватися у тонку нитку без розриву. Визначається на дуктилометрі при 25 °С і характеризує пластичність та когезійні властивості матеріалу.

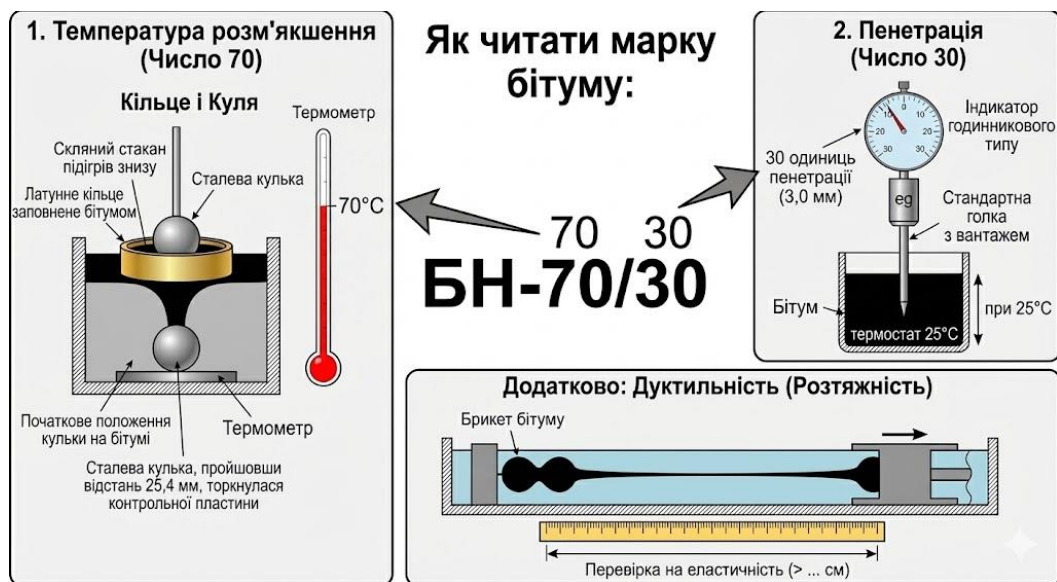


Рисунок 10.1 – Марка бітуму

Маркування Марка бітуму встановлюється залежно від його призначення та показників твердості, розтяжності й температури розм'якшення. Позначення складається з букв і цифр:

- **БН** — бітум нафтовий будівельний (наприклад, БН-70/30, де 70 — температура розм'якшення, 30 — середня пенетрація).
- **БНД** — бітум нафтовий дорожній (в'язкий).
- **БНК** — бітум нафтовий покрівельний.

10.2. Асфальтові бетони та розчини

Асфальтовий бетон — це штучний будівельний матеріал, отриманий в результаті ущільнення раціонально підбраної суміші щебеню, піску, мінерального порошку та бітуму. Якщо суміш не містить крупного заповнювача (щебеню), матеріал називають **асфальтовим розчином**. Мінеральний порошок (тонкомелений вапняк або доломіт) відіграє ключову роль, переводячи бітум у плівковий стан і структуруючи систему.

Застосування:

- **У дорожньому будівництві:** Для влаштування одно- та багатошарових покриттів автомобільних доріг, аеродромів, тротуарів. Залежно від температури укладання розрізняють *гарячі* асфальтобетони (укладаються при $t \geq 120$ °С) та *холодні* (на рідких бітумах або емульсіях, укладаються при $t \geq 5$ °С). Гарячі суміші забезпечують вищу міцність і довговічність.

- **У промисловому та гідротехнічному будівництві:** Для влаштування підлог у цехах і складах (де потрібна безпильність і водонепроникність), а також для створення гідроізоляційних екранів, облицювання каналів та дамб. Литий асфальт використовується для експлуатованих покрівель.

10.3. Покрівельні та гідроізоляційні матеріали

Ця група матеріалів призначена для захисту будівель від атмосферних опадів та ґрунтових вод.

Рулонні матеріали

- **Традиційні (на картонній основі):** До них відносять *руберойд* (картон, просочений м'яким бітумом і покритий тугоплавким бітумом з посипкою) та *пергамін* (підкладковий матеріал без посипки). Вони мають обмежену довговічність через схильність картону до гниття.

- **Сучасні бітумно-полімерні (євроруберойд):** Виготовляються на гниlostійких основах (склополотно, склотканина, поліестер). Бітумне в'язуче модифікують полімерами (СБС — стирол-бутадієн-стирол або АПП — атактичний поліпропілен), що надає матеріалу гнучкість при низьких температурах, теплостійкість (понад 100 °С) і значно подовжує термін служби (до 15–25 років). Укладаються методом наплавлення.

- **Полімерні мембрани:** Високоєфективні матеріали на основі синтетичних каучуків (EPDM) або термопластів (ПВХ, ТПО). Вони характеризуються високою еластичністю (подовження до 300–400%),

стійкістю до УФ-випромінювання та можливістю укладання в один шар без використання відкритого вогню.

Мастики та емульсії

Мастики: Це пластичні суміші органічних в'язучих речовин з мінеральними наповнювачами та спеціальними добавками. За способом застосування розрізняють гарячі мастики (які потребують попереднього розігріву до температури 160–180 °С) та холодні мастики (що містять у своєму складі розчинник і тверднуть у процесі його поступового випаровування). Ці матеріали широко використовуються для надійного приклеювання рулонних покрівельних матеріалів, влаштування безрулонної покрівлі, створення обмазувальної гідроізоляції та якісної герметизації різноманітних швів і стиків конструкцій.

Емульсії: Це дисперсні системи, що являють собою бітум, рівномірно розподілений у воді з обов'язковим додаванням емульгаторів для стабілізації. Вони є значно екологічно безпечнішими порівняно з іншими бітумними матеріалами, можуть успішно наноситися навіть на вологу основу і широко використовуються як для попереднього ґрунтування різноманітних поверхонь, так і для надійного влаштування якісної гідроізоляції будівельних конструкцій.

Гнучка черепиця (бітумна черепиця)

Це сучасний штучний покрівельний матеріал, що виготовляється у вигляді невеликих плоских листів з оригінальними фігурними вирізами. Міцну основу (склополотно або скловолокно) ретельно просочують високоякісним бітумом, а лицьову зовнішню поверхню покривають спеціальною кольоровою мінеральною крихтою (базальтовою або сланцевою), яка надійно захищає матеріал від шкідливого впливу сонячного ультрафіолету і надає йому привабливих декоративних властивостей. Гнучка черепиця вдало поєднує високу герметичність традиційних бітумних матеріалів з прекрасною естетикою штучної покрівлі, має порівняно малу вагу, залишається абсолютно безшумною під час дощу і чудово підходить для влаштування дахів найскладнішої конфігурації та архітектурних форм.

Таблиця 10.2 – Класифікація будівельних мастик за способом застосування

Вид мастики	Склад та консистенція	Спосіб підготовки до роботи	Переваги та сфера застосування
Гарячі (МБК-Г, МБР-Г)	Бітум + наповнювач (азбест, вапняк, гумова крихта). При звичайній температурі — тверді.	Розігрів у котлах до 160–180 °С безпосередньо перед нанесенням [27, 31].	Швидко тверднуть при охолодженні, створюють товстий міцний шар. Використовують для приклеювання руберойду, заповнення швів бетонних покриттів [28, 30].
Холодні (МБК-Х, "Гісар")	Бітум + органічний розчинник (бензин, сольвент) + наповнювач. Рідкі або пастоподібні.	Готові до вживання (перемішати). При низьких температурах потребують підігріву до 60–70 °С [27, 33].	Зручніші та безпечніші (немає відкритого вогню). Тверднуть повільно (випаровування розчинника). Обмазувальна гідроізоляція фундаментів, труб [28, 30].
Емульсійні	Водна дисперсія бітуму + емульгатор.	Готові до вживання. Можуть розбавлятися водою.	Екологічно чисті (без розчинників), пожежобезпечні, можна наносити на вологу основу. Використовують для ґрунтування (праймер) та внутрішніх робіт [34, 30].

Контрольні запитання до розділу 10:

1. Що таке органічні в'язучі речовини та як змінюється їхній стан залежно від температури?
2. Які три основні групи вуглеводнів входять до хімічного складу бітумів?
3. Чим відрізняється сировина для отримання нафтових бітумів та дьогтів?
4. Який вид в'язучих (бітумні чи дьогтьові) має вищу біостійкість?
5. Чому використання дьогтьових матеріалів у житловому будівництві обмежене?
6. Яким приладом визначають в'язкість твердих бітумів і як називається цей показник?
7. Як називається метод визначення температури розм'якшення бітумів?
8. Яку властивість бітуму характеризує показник розтяжності (дуктильності)?
9. Розшифруйте маркування бітуму БН-70/30.
10. Що означає аббревіатура БНД у маркуванні бітумів?
11. Чим відрізняється асфальтовий розчин від асфальтобетону?
12. Яку роль відіграє мінеральний порошок у складі асфальтобетону?
13. Яка мінімальна температура укладання гарячих асфальтобетонних сумішей?
14. Що є основним недоліком традиційного руберойду на картонній основі?
15. Які гнिलостійкі матеріали використовують як основу для сучасного євроруберойду?
16. Для чого бітумні в'язучі модифікують полімерами (СБС або АПП)?
17. У чому полягає перевага монтажу полімерних мембран перед бітумними матеріалами?
18. Яка відмінність у підготовці до роботи між гарячими та холодними мастиками?
19. Чому бітумні емульсії є екологічно безпечнішими та зручнішими для вологих поверхонь?
20. Яку функцію виконує мінеральна посипка на поверхні гнучкої черепиці?

РОЗДІЛ 11. ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ І ПЛАСТМАСИ

Полімерні матеріали — це природні або синтетичні високомолекулярні сполуки, що складаються з величезної кількості атомів, об'єднаних у макромолекули. **Пластмасами (пластиками)** називають матеріали на основі полімерів, які на певній стадії виробництва набувають пластичності та здатні формуватися у вироби під дією тепла й тиску, а потім зберігати надану форму.

11.1. Склад пластмас

Властивості пластмас залежать від складу композиції. До основних компонентів належать:

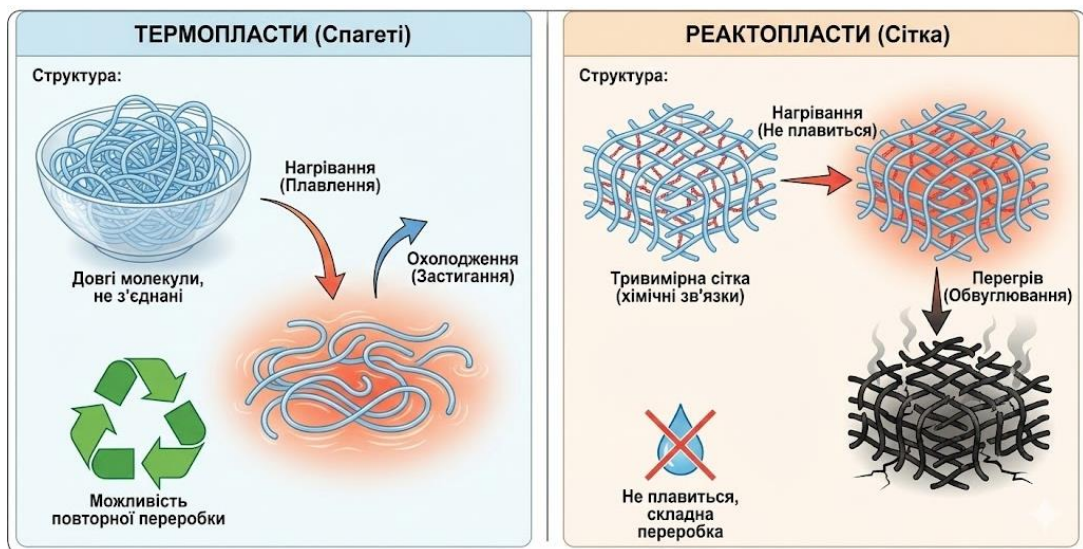


Рисунок 11.1 – Порівняння термопластів і реактопластів

1. **Полімер (в'язуче)**. Це найважливіший компонент, що визначає основні фізико-механічні та технологічні властивості матеріалу. Залежно від поведінки при нагріванні полімери поділяють на два класи:

- **Термопластичні (термопласти):** Здатні багаторазово розм'якшуватися при нагріванні й тверднути при охолодженні без зміни хімічної структури. Це дозволяє переробляти їх неодноразово.

- **Термореактивні (реактопласти):** При першому нагріванні стають пластичними і набувають заданої форми, але внаслідок хімічних реакцій (твердіння) переходять у неплавкий і нерозчинний стан. Повторна переробка шляхом розм'якшення неможлива.

Таблиця 11.1 – Порівняльна характеристика термопластичних та термореактивних полімерів

Характеристика	Термопластичні полімери (Термопласти)	Термореактивні полімери (Реактопласти)
Структура молекул	Лінійна або розгалужена структура макромолекул.	Просторова (сітчаста) структура, що утворюється після твердіння.
Реакція на нагрівання	Оборотно розм'якшуються при нагріванні і тверднуть при охолодженні. Процес можна повторювати багаторазово.	При першому нагріванні розм'якшуються і переходять у неплавкий стан. При повторному нагріванні не розм'якшуються, а при високих температурах руйнуються (згоряють).
Механізм утворення	Переважно реакція полімеризації.	Переважно реакція поліконденсації (з виділенням побічних продуктів).
Технологічні особливості	Легко зварюються, піддаються вторинній переробці (рециклінгу), формуються литтям, екструзією.	Не зварюються після твердіння, не підлягають повторному формуванню. Вироби часто формують пресуванням з наповнювачами.
Типові представники	Поліетилен (ПЕ), полістирол (ПС), полівінілхлорид (ПВХ), поліметилметакрилат (оргскло).	Фенолформальдегідні, епоксидні, поліефірні, карбамідні смоли.

2. Наповнювачі. Вводяться для покращення механічних властивостей (міцності, твердості, теплостійкості) та зниження вартості матеріалу. Бувають порошкоподібні (крейда, тальк, деревне борошно), волокнисті (скловолокно, азбест) та листові (папір, тканина, шпон).

3. Пластифікатори. Речовини (наприклад, дибутилфталат, олеїнова кислота), які підвищують еластичність і гнучкість полімеру, полегшують його переробку та знижують крихкість при експлуатації.

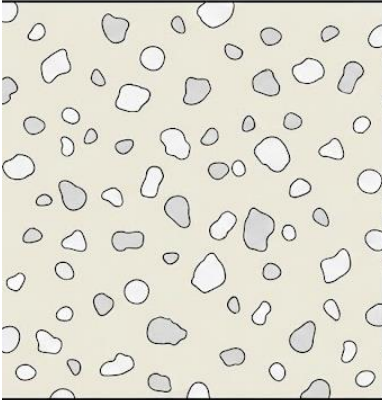
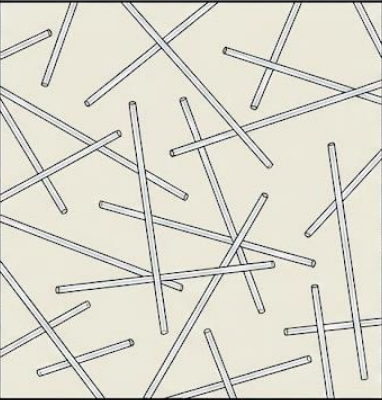

1. Дисперсні (Порошкові)	2. Волокнисті (Фіброзні)	3. Шаруваті (Листові)
		
Здешевлення, підвищення твердості. Частинки займають об'єм.	Армування, висока міцність. Створення внутрішнього каркаса.	Анізотропія властивостей, конструкційна міцність. Шарувата структура.

Рисунок 11.2 – Мікроструктура пластмас

4. Інші добавки:

- *Стабілізатори* (сповільнюють старіння матеріалу під дією світла і тепла).
- *Отверджувачі* (зшивають макромолекули термореактивних полімерів).
- *Барвники* (пігменти) та *поротвірні речовини* (для отримання пінопластів).

11.2. Вироби з пластмас

Завдяки легкості, корозійній стійкості та технологічності, полімерні вироби широко застосовуються в будівництві.

- **Труби.** Виготовляються методом екструзії з поліетилену, полівінілхлориду (ПВХ), поліпропілену. Вони використовуються для водопостачання, каналізації, дренажу, вентиляції. Пластмасові труби не піддаються корозії, мають гладку внутрішню поверхню (не заростають), легкі та еластичні, але мають низьку теплостійкість.

«Гідравлічна перевага»



Рисунок 11.3 – Порівняння металевих і пластикових труб

- **Погонажні вироби.** До них відносять плінтуси, поручні для сходів, наличники, розкладки, накладки. Їх виготовляють екструзійним способом переважно з полівінілхлориду (ПВХ). Вироби можуть бути будь-якої довжини (зазвичай випускаються відрізками або в бухтах), вони легко ріжуться, миються і не потребують фарбування.

- **Покриття для підлоги (лінолеум).** Рулонний матеріал, який може бути безосновним або на основі (тканинній, повстяній, спіненій). Найпоширенішим є полівінілхлоридний (ПВХ) лінолеум. Також існують гумовий (релін) та алкідний лінолеуми. Ці матеріали гігієнічні, мають низьку теплопровідність і добре поглинають шум кроків.

- **Віконні профілі.** Виготовляються з жорсткого ПВХ, часто з внутрішнім армуванням металом для жорсткості. Використовуються для створення віконних і дверних блоків, що забезпечують високу тепло- та звукоізоляцію. Для герметизації таких конструкцій застосовують спеціальні полімерні прокладки (наприклад, з пінополіуретану).

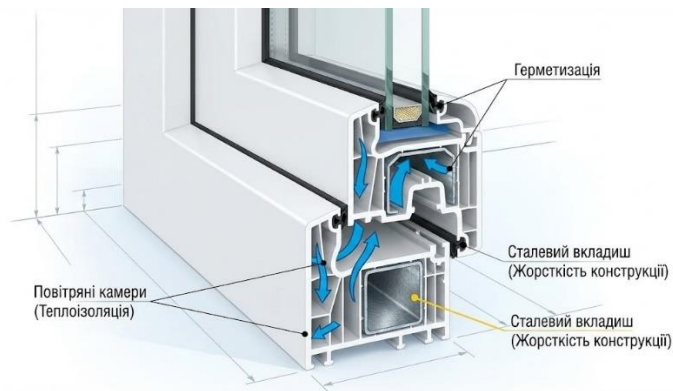


Рисунок 11.4 – Конструкція ПВХ віконного профілю

11.3. Композиційні матеріали

Це матеріали, що складаються з двох або більше компонентів (матриці та наповнювача), властивості яких суттєво відрізняються від властивостей окремих складових.

- **Склопластики.** Листові або фігурні матеріали, що складаються з полімерної матриці (епоксидної, поліефірної або фенолформальдегідної смоли) та зміцнювального наповнювача — скляного волокна (у вигляді ниток, тканин, матів). Склопластики характеризуються високою міцністю (наближається до сталі), малою густиною (1800–2000 кг/м³), високою хімічною стійкістю та діелектричними властивостями. Використовуються для виготовлення труб, оболонок, покрівельних листів, ємностей. Також існує композитна склопластикова арматура, яка не піддається корозії і є легшою за сталеву.

- **Деревно-полімерні композити («рідке дерево»).** Сучасний матеріал, що виготовляється з подрібненої деревини (деревного борошна) та полімерних смол (поліпропілен, ПВХ) з додаванням модифікаторів.

- *Властивості:* Поєднує кращі якості дерева і пластику. Матеріал має вигляд натуральної деревини, але не гниє, не розсихається, стійкий до вологи, перепадів температур (від -50 до +180 °C), дії комах, кислот і лугів. Не потребує фарбування.

- *Застосування:* Використовується для виготовлення терасної дошки (декінгу), альтанок, причалів, облицювання фасадів, тобто там, де звичайна деревина швидко руйнується під дією атмосферних факторів.

Контрольні запитання до розділу 11:

1. Які два основні фактори необхідні для формування виробів із пластмас на стадії виробництва?
2. Який компонент пластмас є найважливішим і визначає основні фізико-механічні властивості матеріалу?
3. На які два класи поділяються полімери залежно від їхньої поведінки при нагріванні?
4. Яка принципова відмінність термопластів від реактопластів щодо повторної переробки?
5. Яку структуру макромолекул мають термопластичні полімери?
6. Що відбувається з реактопластами при повторному нагріванні до високих температур?
7. Для чого до складу пластмас вводять наповнювачі?
8. Які речовини додають у пластмасу для підвищення еластичності та зниження крихкості?
9. Яку функцію виконують стабілізатори у складі полімерної композиції?
10. До якого типу полімерів (термопластів чи реактопластів) належать поліетилен (ПЕ) та полівінілхлорид (ПВХ)?
11. Яким методом зазвичай виготовляють труби та погонажні вироби з полімерів?
12. Назвіть основний експлуатаційний недолік пластмасових труб порівняно з металевими.
13. Чому внутрішня поверхня пластмасових труб не заростає відкладеннями?
14. З якого матеріалу переважно виготовляють віконні профілі та чим їх армують?
15. Які основні переваги лінолеуму як покриття для підлоги?
16. Що таке композиційні матеріали?
17. Які два основні компоненти входять до складу склопластиків?
18. З яким традиційним конструкційним матеріалом можна порівняти склопластик за показниками міцності?
19. З чого виготовляють деревно-полімерні композити (ДПК), також відомі як «рідке дерево»?

РОЗДІЛ 12. ДЕРЕВИННІ МАТЕРІАЛИ

Деревина — це природний органічний матеріал, який отримують зі зрубаних дерев. Завдяки високій питомій міцності (коефіцієнт конструктивної якості близько 0,7), низькій теплопровідності, легкості обробки та екологічності, вона широко використовується у будівництві як конструкційний та оздоблювальний матеріал.

12.1. Будова та властивості деревини

Будова деревини Стовбур дерева є основною частиною, з якої отримують 60–90% ділової деревини.

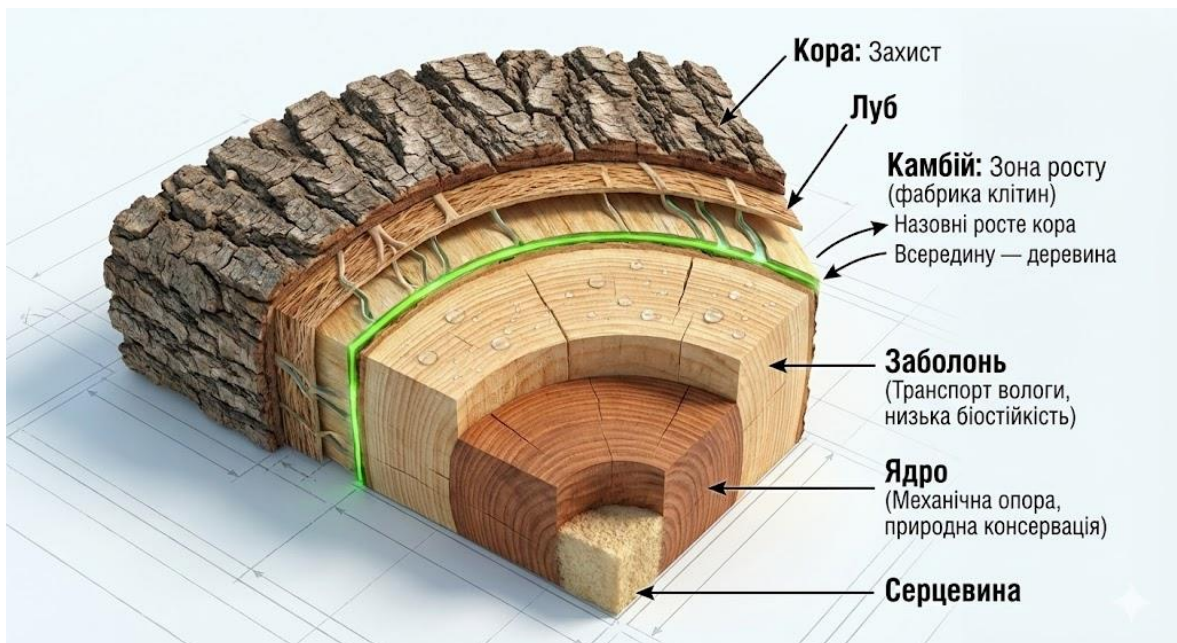


Рисунок 12.1 – Будова деревини

При вивченні макроструктури (видимої неозброєним оком) на поперечному розрізі стовбура виділяють такі основні елементи:

- **Кора** — зовнішній захисний шар, що надійно захищає дерево від різноманітних механічних пошкоджень та несприятливих впливів зовнішнього середовища.
- **Камбій** — тонкий шар живих активних клітин, завдяки якому відбувається постійний ріст дерева в товщину протягом усього періоду вегетації.
- **Заболонь** — світла зовнішня частина деревини, що складається переважно з молодих клітин, які активно проводять вологу від коріння

до крони. Вона характеризується великою вологістю і меншою стійкістю до процесів загнивання.

- **Ядро** — внутрішня, часто темніша частина стовбура, що складається з відмерлих клітин, які втратили здатність проводити воду. Ядро має значно меншу вологість і вищу міцність та стійкість до гниття порівняно з заболоню.
- **Серцевина** — центральна пухка тканина невеликого діаметру, яка є найслабшою та найменш цінною частиною деревини.

На поперечному розрізі також чітко видно річні кільця (концентричні шари приросту деревини за один вегетаційний період), які складаються з ранньої (світлої, пористої) та пізньої (темної, більш щільної) деревини.

Властивості деревини

- **Анізотропія.** Це властивість неоднаковості фізико-механічних характеристик деревини в різних напрямках (вздовж волокон, у радіальному та тангенціальному напрямках). Наприклад, теплопровідність деревини вздовж волокон майже вдвічі вища, ніж упоперек волокон. Механічна міцність деревини на стиск вздовж волокон у кілька разів перевищує міцність при стисканні поперек волокон.
- **Вологість.** У деревині розрізняють гігроскопічну (зв'язану) вологу, що міцно утримується в стінках клітин, та капілярну (вільну) вологу, що заповнює внутрішні порожнини клітин. Вологість суттєво впливає на фізико-механічні властивості деревини: зі збільшенням вмісту зв'язаної води міцність деревини закономірно зменшується, а об'єм матеріалу збільшується (явище розбухання). ° Стандартна вологість деревини прийнята на рівні 12% від маси абсолютно сухої деревини. Усі показники міцності та інші характеристики перераховуються саме на цю стандартну вологість. ° Точка насичення волокон (приблизно 30%) — це особливий стан деревини, коли клітинні стінки максимально насичені зв'язаною водою, а внутрішні порожнини залишаються вільними. Зміна вологості в межах від 0% до 30% викликає значне усихання або розбухання деревини.

Комплексна схема вад деревини: Анатомія, Механіка, Наслідки



Рисунок 12.2 – Комплексна схема вад деревини

Вади деревини

Вади деревини — це різноманітні дефекти та недосконалості, що суттєво знижують якість деревного матеріалу і значно обмежують можливості його практичного використання в будівництві та промисловості. До найпоширеніших та найважливіших вад деревини належать наступні категорії:

Сучки

Сучки являють собою частини гілок, що залишилися всередині деревини в процесі росту дерева. Вони суттєво порушують природну однорідність структури деревини та помітно знижують її механічну міцність, особливо критичною є їхня присутність при роботі матеріалу на розтяг. Сучки бувають здоровими (світлими, міцно зрослими з деревиною) та загнилими (темними, пошкодженими процесами розкладу), а також можуть відрізнятися за розміром, формою та ступенем зрощення з основною тканиною деревини.

Тріщини

Тріщини — це механічні розриви цілісності деревини вздовж волокон, що виникають з різних причин. Серед них виділяють мітикові тріщини (що утворюються в процесі росту дерева), морозні тріщини (які виникають внаслідок різкого зниження температури взимку), а також численні тріщини

всихання (що з'являються при втраті деревиною вологи в процесі природного або штучного сушіння матеріалу).

Вади форми стовбура

До цієї категорії належать різноманітні відхилення від правильної циліндричної форми стовбура дерева. Основні з них включають збіжистість (поступове або різке зменшення діаметра стовбура по його довжині від комля до верхівки), кривизну (викривлення поздовжньої осі стовбура в одній або декількох площинах), а також закомелистість (різке потовщення нижньої частини стовбура біля кореневої системи, що утруднює раціональне використання деревини).

Вади будови деревини

Ці вади пов'язані з порушенням нормальної внутрішньої структури деревної тканини. До них відносяться нахил волокон або косошар (відхилення напрямку волокон від поздовжньої осі стовбура), завилькуватість (хвилясте або безладне розташування деревних волокон навколо сучків, проростань кори чи пошкоджень), а також крен (одностороннє стиснення річних шарів у хвойних породах, що утворюється внаслідок нерівномірного росту дерева).

Біологічні пошкодження

Це вади, спричинені живими організмами, що руйнують деревину. Найнебезпечнішими з них є різноманітні види гnilі (розкладання деревини під дією дереворуйнівних грибів, що призводить до зміни кольору, структури та повної втрати механічної міцності), а також червоточини (численні ходи та отвори, прогризені личинками та дорослими особинами комах-шкідників деревини, що знижують щільність та міцність матеріалу і можуть призвести до його повного руйнування).

Таблиця 12.1 – Порівняльна характеристика фізико-механічних властивостей основних порід деревини

Порода деревини	Середня густина $\rho\theta$, кг/м ³ (при стандартній вологості)	Орієнтовна міцність на стиск, МПа	Коефіцієнт конструктивної якості (К.К.Я.)	Основне будівельне призначення
Сосна / Смерека	450 – 600	40 – 50	Високий (~95)	Несучі конструкції (балки, крокви), столярні вироби, підлоги
Дуб	700 – 900	50 – 60	Середній	Паркет, відповідальні деталі каркасів, гідротехнічні споруди (морений дуб)
Береза	600 – 650	40 – 50	Середній	Оздоблювальна фанера, поручні, деталі інтер'єру (схильна до загнивання у вологих умовах)
Бук	650 – 700	45 – 55	Середній	Паркет, шпон, меблі, внутрішні сходи (має високу стиранисть та гарну текстуру)
Модрина	650 – 800	50 – 65	Високий	Нижні вінці зрубів, гідротехнічні споруди (висока стійкість до гниття)

12.2. Захист деревини

Деревина піддається руйнуванню під дією вогню, грибків та комах. Для подовження терміну служби застосовують конструктивні та хімічні заходи.

Антисептування (захист від гниття) Антисептики — це спеціальні хімічні речовини, які є токсичними для дереворуйнівних грибів та інших шкідливих мікроорганізмів, що викликають процеси гниття деревини.

- **Водорозчинні антисептики** (такі як фторид натрію, мідний купорос, хлористий цинк та деякі інші сполуки) застосовують переважно для обробки та захисту деревних конструкцій, які надійно захищені від безпосереднього контакту з водою та вимивання атмосферними опадами.
- **Маслянисті антисептики** (зокрема кам'яновугільне масло, креозот та інші органічні сполуки) практично не вимиваються водою завдяки своїй гідрофобній природі, однак вони мають досить різкий специфічний запах і підвищену горючість, що обмежує область їх застосування.
- **Методи нанесення антисептичних засобів:** поверхнева обробка деревини за допомогою пензля, валика або розпилення спеціальними розпилювачами (найпростіший, але найменш ефективний метод); занурення деревних виробів у спеціальні ванни з антисептичними розчинами (холодний або гарячий способи, що забезпечують глибше проникнення).

Антипірени (захист від займання) Антипірени — це речовини, які підвищують вогнестійкість деревини. При нагріванні вони або плавляться, утворюючи захисну плівку (наприклад, бура, борна кислота, рідке скло), або розкладаються з виділенням негорючих газів, що відтісняють кисень (солі амонію). Деревину просочують розчинами антипіренів або покривають вогнезахисними фарбами та обмазками.

12.3. Вироби з деревини

Пиломатеріали Отримують шляхом розпилювання колод. Основні види:

- *Пластини* — колода, розпиляна поздовжньо навпіл.
- *Бруси* — пиломатеріал товщиною і шириною понад 100 мм.
- *Бруски* — товщина до 100 мм, ширина не більше подвійної товщини.

- *Дошки* — товщина до 100 мм, ширина більше подвійної товщини.

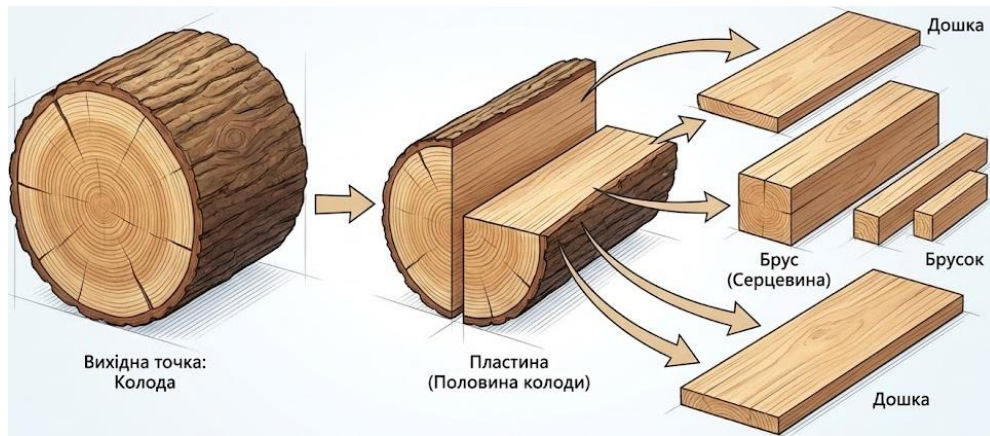


Рисунок 12.3 – Основні пиломатеріали

Листові та плитні матеріали

- **Фанера** — шаруватий матеріал, склеєний з трьох і більше листів шпону (тонкого зрізу деревини) із взаємно перпендикулярним розташуванням волокон у суміжних шарах. Має високу міцність і випускається великими листами.

- **Деревостружкові плити (ДСП)** — виготовляють гарячим пресуванням деревної стружки, змішаної з синтетичними смолами (6–18% від маси). Використовують для меблів, перегородок, підлог.

- **Деревоволокнисті плити (ДВП)** — виготовляють пресуванням деревної волокнистої маси (розпушеної деревини) з додаванням в'язучих. Використовують як теплозвукоізоляційний та оздоблювальний матеріал.

- **OSB (ОСП — орієнтовано-стружкова плита)** — багатошаровий матеріал із деревної стружки, склеєної смолами. Стружка у зовнішніх шарах має поздовжню орієнтацію, а у внутрішніх — поперечну, що надає матеріалу високої міцності.

Клеєні дерев'яні конструкції (КДК) Це індустріальні конструкції (балки, ферми, арки, рами), виготовлені шляхом склеювання дощок, брусків або фанери водостійкими клеями.

- *Переваги:* можливість створення великопролітних конструкцій (до 100 м і більше), використання маломірної деревини, висока вогнестійкість (масивні перерізи обвуглюються повільно, зберігаючи несучу здатність), відсутність вад природної деревини (сучки вирізаються або розосереджуються), стійкість до агресивних середовищ.

Таблиця 12.2 – Штучні будівельні матеріали на основі деревини
(композити)

Матеріал	Склад	Середня густина, кг/м ³	Властивості та застосування
Фіброліт	Деревна шерсть (довга стружка) + цементне або магнезійне в'язуче.	300 – 500	Теплоізоляційний та акустичний матеріал. Важкоспалимий, біостійкий. Використовується для утеплення стін та перекриттів, незнімної опалубки.
Арболіт	Деревна тріска (щепи) + цемент + хімічні добавки.	400 – 800	Легкий бетон. Має властивості деревини (пиляється, тримає цвяхи), але не горить і не гниє. Стінові блоки, панелі.
ДВП (Деревоволокнисті плити)	Розмелота деревна маса + полімери + антипірени/антисептики.	200 – 1100 (м'які/тверді)	М'які плити — тепло- і звукоізоляція. Тверді (оргаліт) — облицювання стін, підлог, виготовлення дверей, меблів.
ДСП (Деревостружкові плити)	Деревна стружка + синтетичні смоли (гаряче пресування).	600 – 800	Конструкційний та оздоблювальний матеріал. Основи під підлоги, перегородки, меблі. Бояться зволоження.
Фанера	Склеєні листи шпону (напрямок волокон у сусідніх шарах взаємно перпендикулярний).	600 – 750	Висока міцність у всіх напрямках, водостійкість (марки ФСФ). Обшивка, опалубка.

Контрольні запитання до розділу 12:

1. Яку назву має тонкий шар живих клітин між корою та деревиною, за рахунок якого дерево росте в товщину?
2. Яка частина стовбура (заболонь чи ядро) характеризується більшою вологістю та меншою стійкістю до загнивання?
3. Що таке анізотропія деревини?
4. Яке числове значення прийнято за стандартну вологість деревини, до якої перераховують усі показники міцності?
5. Що відбувається з деревиною, коли її вологість змінюється в межах від 0% до 30% (точка насичення волокон)?
6. Як впливають сучки на механічні властивості деревини, особливо при розтягу?
7. Яка порода деревини (згідно з таблицею) найкраще підходить для нижніх вінців зрубів та гідротехнічних споруд завдяки високій стійкості до гниття?
8. Чому деревину берези не рекомендують використовувати у вологих умовах без спеціального захисту?
9. У чому різниця між гігроскопічною та капілярною вологою в деревині?
10. Як змінюється теплопровідність деревини вздовж волокон порівняно з напрямком упоперек волокон?
11. Які антисептики (водорозчинні чи маслянисті) використовують для захисту шпал та палів, що контактують з ґрунтом?
12. Який принцип дії антипіренів при захисті деревини від вогню?
13. Які мінімальні розміри товщини та ширини повинен мати пиломатеріал, щоб класифікуватися як «брус»?
14. Чим відрізняється дошка від бруска за співвідношенням ширини до товщини?
15. Яка особливість розташування волокон у шарах шпону забезпечує фанері високу міцність у всіх напрямках?
16. З чого виготовляють деревостружкові плити (ДСП) і який метод при цьому використовують?

РОЗДІЛ 13. ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ (ІЗОЛЯЦІЙНІ ТА ОЗДОБЛЮВАЛЬНІ)

Функціональні матеріали відіграють ключову роль у забезпеченні енергоефективності, акустичного комфорту та довговічності будівель. Вони дозволяють знизити масу конструкцій, зменшити витрати палива та електроенергії, а також надати будівлям естетичного вигляду.

13.1. Теплоізоляційні матеріали

Теплоізоляційними називають матеріали, що мають низьку теплопровідність (не вище $0,18 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) та середню густину не більше $600 \text{ кг}/\text{м}^3$. Їх основна особливість — висока пористість (понад 50%, а іноді до 90–98%), причому найкращими властивостями володіють матеріали з рівномірно розподіленими дрібними замкнутими порами.

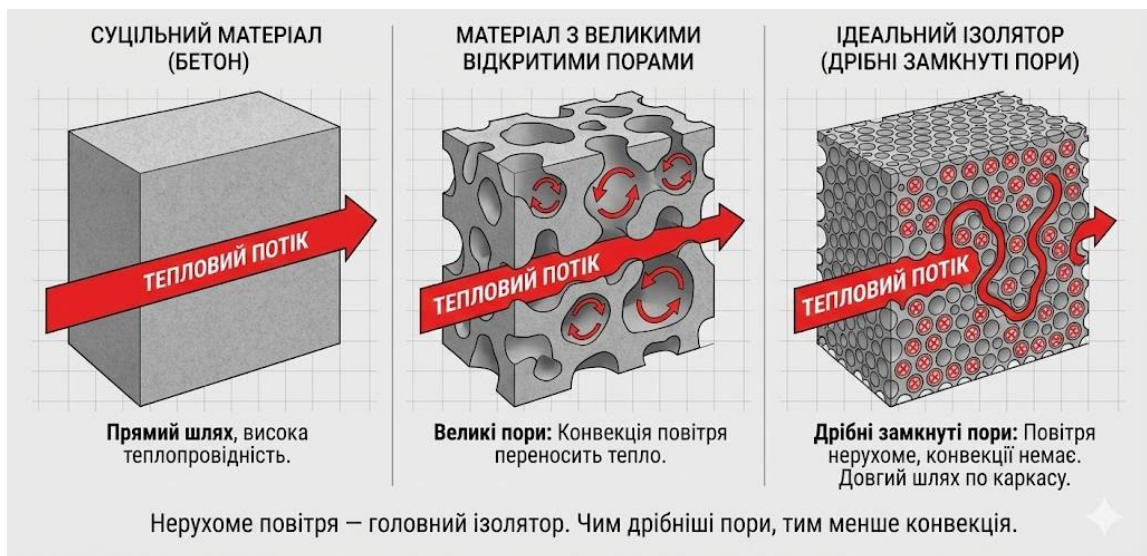


Рисунок 13.1 – Вплив пористості на теплопровідність

Неорганічні теплоізоляційні матеріали Ця група матеріалів є найбільш розповсюдженою завдяки своїй вогнестійкості, біостійкості та довговічності.

- **Мінеральна вата (кам'яна та шлакова).** Волокнистий матеріал, отриманий із силікатних розплавів гірських порід (базальт, доломіт) або металургійних шлаків. Має середню густину $75\text{--}150 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплопровідність $0,04\text{--}0,052 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Випускається у вигляді м'яких матів, напівжорстких та жорстких плит.

- **Скляна вата (скловата).** Отримується з розплаву скляного бою, піску, соди. Відрізняється від мінеральної вати більшою довжиною волокон, хімічною стійкістю та пружністю. Густина 75–125 кг/м³, теплопровідність 0,04–0,05 Вт/(м·К).

- **Піноскло.** Матеріал з ніздрюватою структурою, отриманий спіканням скляного порошку з газотворювачами (кокс, крейда). Має замкнуті пори, що забезпечує водонепроникність, морозостійкість та негорючість. Густина 100–700 кг/м³, теплопровідність 0,04–0,15 Вт/(м·К). Використовується для утеплення стін, покрівель, перекриттів.



Рисунок 13.2 – Переваги піноскла

- **Спучений перліт та вермикуліт.** Сипкі матеріали або вироби на їх основі. Перліт отримують швидким випалюванням вулканічних порід, вермикуліт — гідроліз. Мають низьку густина (100–500 кг/м³) і використовуються для теплоізоляційних засипок та легких бетонів.

Органічні теплоізоляційні матеріали виготовляються на основі природної сировини або синтетичних полімерів.

- **Пінополістирол (EPS, XPS).**

- *EPS (спінений):* Виготовляється з гранул полістиролу. Легкий матеріал (густина 15–50 кг/м³), теплопровідність 0,037–0,044 Вт/(м·К).

- *XPS (екструдований):* Має замкнуту дрібнопористу структуру, що забезпечує низьке водопоглинання і високу міцність (до 0,85 МПа). Ефективний для утеплення цоколів та фундаментів.

- **Пінополіуретан (ППУ).** Утворюється при реакції ізоціанату та поліолу. Має найнижчу теплопровідність серед традиційних матеріалів ($\sim 0,02\text{--}0,035 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$). Наноситься методом напилення або використовується у вигляді плит.

- **Фіброліт.** Плитний матеріал з деревної вовни (стружки), зв'язаної цементом або магнезіальним в'язучим. Має хороші акустичні властивості, біостійкий, важкозаймистий.

- **Ековата (целюлозний утеплювач).** Складається з переробленої целюлози (макулатури) з додаванням антипіренів (борна кислота) та антисептиків (бура). Екологічний, нетоксичний матеріал, що задувається у порожнини конструкцій.

Новітні теплоізоляційні матеріали

- **Аерогелі.** Високопористі тверді матеріали, де рідка фаза гелю замінена газом. Складаються на $80\text{--}99,8\%$ з повітря. Мають рекордно низьку теплопровідність ($0,013\text{--}0,020 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$), що робить їх найефективнішими твердими ізоляторами. Використовуються там, де критично важлива економія простору, хоча мають високу вартість.



Рисунок 13.3 – Аерогель

- **Вакуумні ізоляційні панелі (VIP).** Складаються з пористого ядра, герметично запаяного в оболонку, з якої відкачано повітря. Забезпечують теплопровідність близько $0,004 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, що дозволяє використовувати

мінімальну товщину шару, але вони чутливі до механічних пошкоджень (проколів).

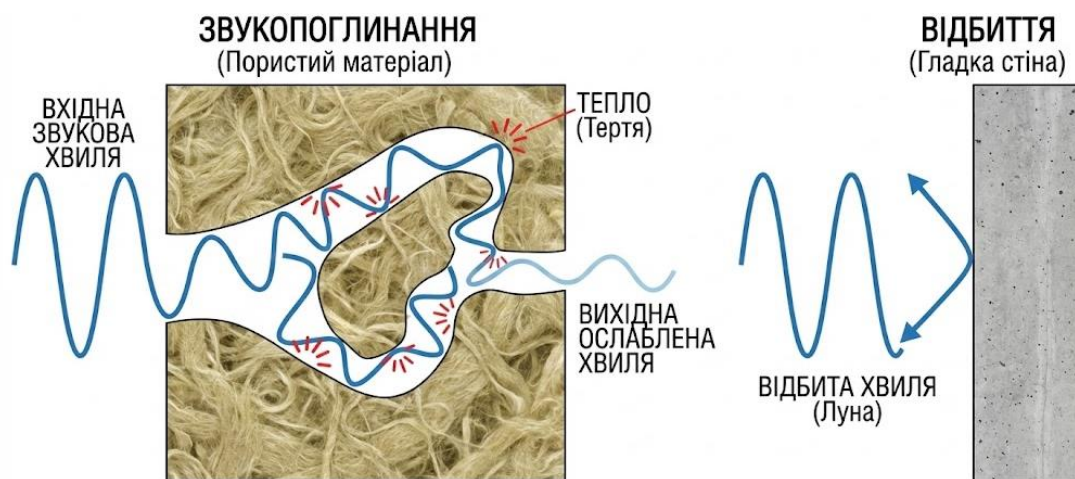
13.2. Акустичні матеріали

Акустичні матеріали призначені для зниження рівня шуму в приміщеннях (звукопоглинання) та захисту від зовнішніх шумів (звукоізоляція).

- **Звукопоглинальні матеріали.** Призначені для гасіння енергії звукових хвиль, що відбиваються від поверхонь. Ефективність обумовлена пористою структурою з відкритими порами, що сполучаються між собою (загальна пористість не менше 75%).

- *Види:* Мінераловатні та скловолокнисті плити, перфоровані плити з гіпсу або азбестоцементу, деревноволокнисті плити.

- *Приклади:* Плити «Акмігран» (мінеральна вата з крохмальним в'язучим) мають фактуру, що імітує природний камінь, і застосовуються для оздоблення стель.



Тертя повітря в порах перетворює звукову енергію на тепло.

Рисунок 13.4 – Принцип роботи звукопоглинача

- **Звукоізоляційні матеріали.** Призначені для боротьби з ударним шумом (кроки, удари), що передається через покриття. Це пружні прокладкові матеріали з малим модулем пружності.

- *Види:* Плити та мати з мінеральної вати, деревноволокнисті плити, еластичний пінополістирол, пориста гума, корок, спінений поліетилен.

Використовуються у конструкціях «плаваючих підлог» та як прокладки між стінами і перекриттями.

13.3. Лакофарбові матеріали

Лакофарбові матеріали (ЛФМ) — це в'язко-рідкі суміші, які при нанесенні на поверхню тонким шаром утворюють тверду плівку, що виконує захисні (від корозії, гниття, вологи), декоративні та спеціальні функції. Основні компоненти ЛФМ: плівкоутворювачі (в'язучі), пігменти, наповнювачі, розчинники та добавки (сикативи, пластифікатори).

Класифікація та застосування

Фарби

Фарби являють собою складні суспензії дрібнодисперсних пігментів (що надають колір) у різноманітних плівкоутворювачах (які забезпечують адгезію та захисні властивості).

Вододисперсійні (водоемульсійні) фарби

Це суспензії полімерних частинок (полівінілацетату (ПВА), латексу, акрилових смол та інших синтетичних полімерів) у водному середовищі. Вони є екологічно чистими та безпечними для здоров'я людини, абсолютно пожежобезпечними завдяки відсутності органічних розчинників, паропроникними (що дозволяє стінам «дихати» та регулювати вологість у приміщенні), швидко висихають при нормальних температурних умовах. Широко застосовуються для фарбування різноманітних пористих основ (бетонних поверхонь, цементно-вапняної та гіпсової штукатурки, деревини та деревних матеріалів) як всередині приміщень, так і для зовнішніх фасадних робіт. Серед них акрилові фарби вважаються найбільш довговічними, стійкими до механічних пошкоджень та атмосферних впливів (ультрафіолету, опадів, температурних коливань).

Емалі

Емалі являють собою суспензії пігментів у різних типах лаків як плівкоутворювача. Вони утворюють тверду, високоміцну, блискучу (або матову, залежно від складу), водостійку та хімічно стійку захисну плівку на

поверхні. Найпоширенішими є алкідні емалі (марок ПФ — пентафталеві, ГФ — гліфталеві), швидковисихаючі нітроемалі (НЦ — нітроцелюлозні), високоміцні двокомпонентні поліуретанові та епоксидні емалі з винятковими захисними властивостями. Емалі застосовуються переважно для надійного захисту металевих конструкцій від корозії, деревини від вологи та біопшкоджень, оштукатурених поверхонь в умовах підвищеної вологості, температурних перепадів та агресивних хімічних середовищ.

Олійні фарби

Це традиційні суспензії мінеральних або органічних пігментів в оліфах (рослинних висихаючих оліях або синтетичних замінниках). Використовуються для зовнішніх фасадних та внутрішніх оздоблювальних робіт (фарбування деревини, металевих поверхонь, підготовленої штукатурки), але мають істотний недолік — тривалий час висихання (від кількох годин до доби між шарами) та схильність до пожовтіння з часом.

Лаки

Лаки являють собою розчини різноманітних плівкоутворюючих речовин (природних або синтетичних смол, бітумів, ефірів целюлози, полімерів) в органічних розчинниках (уайт-спірит, ксилол, толуол) або у воді (для екологічних водних лаків). Після нанесення та висихання вони утворюють прозору або напівпрозору міцну захисну плівку, що повністю зберігає природну текстуру та малюнок поверхні. Застосовуються для декоративного захисту та підкреслення природної краси деревини (паркетної підлоги, дерев'яних меблів, столярних виробів), захисту металевих поверхонь від окислення (бітумні та інші спеціальні лаки), а також як основний плівкоутворювач для виготовлення різноманітних емалей.

Ґрунтовки

Ґрунтовки — це спеціальні суспензії пігментів разом з мінеральними наповнювачами у відповідному в'язучому середовищі. Вони наносяться на підготовлену поверхню нижнім (першим) шаром для забезпечення міцного хімічного та механічного зчеплення (адгезії) наступних верхніх шарів лакофарбового покриття з основою (бетоном, штукатуркою, деревиною,

металом), а також для вирівнювання та зменшення поглинаючої здатності пористих поверхонь, що дозволяє знизити витрату фінішних матеріалів.

Шпаклівки

Шпаклівки являють собою спеціальні високонаповнені будівельні матеріали (з дуже великим вмістом дрібнодисперсного мінерального наповнювача, що становить до 70-90% від загальної маси), які випускаються у вигляді готових до застосування пастоподібних сумішей або у формі сухих порошкових композицій, що потребують затворення водою перед використанням. Ці матеріали спеціально призначені для високоякісного вирівнювання найрізноманітніших дрібних дефектів поверхні, усунення нерівностей, заповнення тріщин різної глибини та ширини, закриття пор та інших недосконалостей на стінах, стелях та інших будівельних конструкціях перед нанесенням фінішних декоративних шарів фарбування лакофарбовими матеріалами або оклеювання різноманітними шпалерами.

За своїм хімічним складом та основним в'язучим компонентом розрізняють декілька основних типів шпаклівок: гіпсові шпаклівки, клейові шпаклівки, олійні шпаклівки, сучасні полімерні шпаклівки (на основі акрилових дисперсій, латексних в'язучих або інших синтетичних полімерів, що відрізняються пластичністю та довговічністю).

Інтегрована система ЛФМ: Структура, Призначення, Властивості

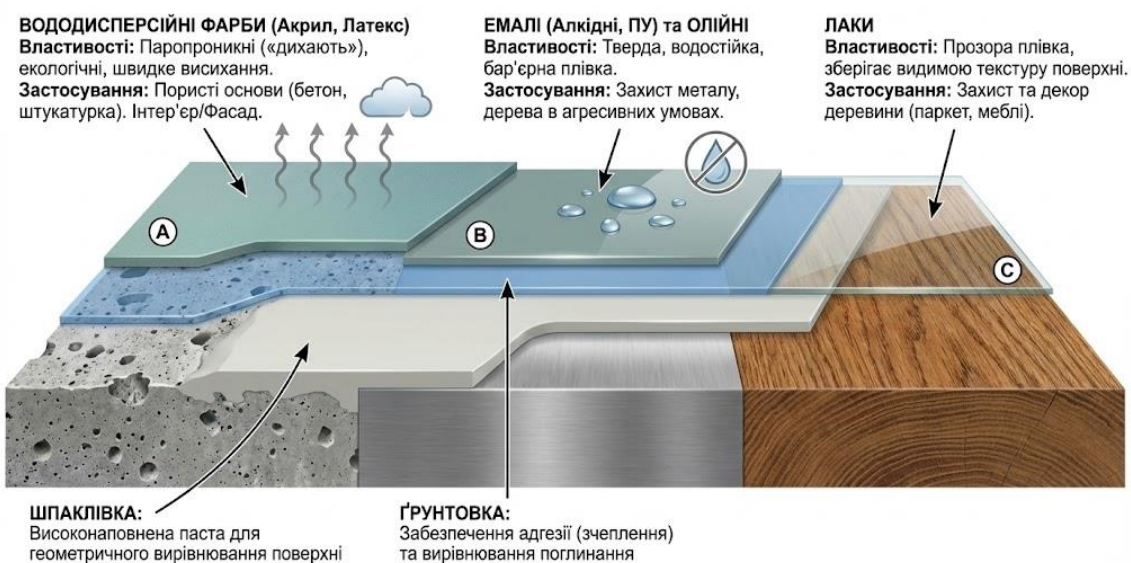


Рисунок 13.5 – Структура, призначення, властивості фарб, лаків, ґрунтовок

Контрольні запитання до розділу 13:

1. Які граничні значення теплопровідності та середньої густини дозволяють віднести матеріал до розряду теплоізоляційних?
2. Який тип пор (відкриті чи замкнуті) та їх розмір забезпечують матеріалу найкращі теплоізоляційні властивості?
3. З якої сировини виготовляють мінеральну (кам'яну) вату?
4. У чому полягають основні відмінності скляної вати від мінеральної за фізичними властивостями?
5. Який матеріал отримують спіканням скляного порошку з газоутворювачами, і які його головні переваги?
6. Чим відрізняється екструдований пінополістирол (XPS) від звичайного спіненого (EPS) за структурою та сферою застосування?
7. Який органічний теплоізоляційний матеріал має найнижчу теплопровідність серед традиційних утеплювачів?
8. З чого виготовляють ековату і які добавки забезпечують її захист від вогню та гниття?
9. Яка особливість будови аерогелів робить їх найефективнішими твердими ізоляторами?
10. Який головний експлуатаційний недолік вакуумних ізоляційних панелей (VIP)?
11. Яку структуру повинні мати матеріали, призначені для звукопоглинання?
12. Для боротьби з яким типом шуму використовують звукоізоляційні прокладкові матеріали з малим модулем пружності?
13. Які чотири основні компоненти входять до складу лакофарбових матеріалів?
14. Чому вододисперсійні фарби вважаються безпечними та екологічними?
15. Які фарби рекомендовано використовувати для зовнішніх фасадних робіт через їхню стійкість до атмосферних впливів?
16. Що є основою (плівкоутворювачем) для виготовлення емалей?
17. Назвіть основні недоліки олійних фарб порівняно із сучасними аналогами.
18. У чому полягає головна візуальна відмінність покриття лаком від покриття емаллю?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Большаков В. І. Будівельне матеріалознавство : підручник / В. І. Большаков, О. О. Вольфсон, В. І. Ватаг ; за ред. В. І. Большакова. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2013. – 360 с.
2. Гоц В. І. Методи випробувань будівельних матеріалів : навч. посібник / В. І. Гоц, Л. О. Шейніч, А. А. Гелевера. – Київ : КНУБА, 2015. – 256 с.
3. Дворкін Л. Й. Будівельне матеріалознавство : інтерактивний комплекс навч.-метод. забезпечення / Л. Й. Дворкін, О. М. Бордюженко. – Рівне : НУВГП, 2006. – 178 с.
4. Дворкін Л. Й. Будівельне матеріалознавство : підручник / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін. – Київ : Ліра-К, 2017. – 448 с.
5. Дворкін Л. Й. Будівельне матеріалознавство. Курс лекцій і практикум : навч. посібник / Л. Й. Дворкін, Ю. В. Гарніцький, В. Л. Шестаков [та ін.] ; за ред. Л. Й. Дворкіна. – Рівне : УДУВГП, 2002. – 367 с.
6. Кондращенко О. В. Будівельне матеріалознавство : навч. посібник / О. В. Кондращенко, Т. Д. Рищенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 277 с.
7. Кондращенко О. В. Композиційні будівельні матеріали : конспект лекцій / О. В. Кондращенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 64 с.
8. Кондращенко О. В. Новітні опоряджувальні матеріали, вироби та конструкції : навч. посібник / О. В. Кондращенко, А. А. Жигло. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 99 с.
9. Кривенко П. В. Будівельне матеріалознавство : підручник / П. В. Кривенко, К. К. Пушкарьова, В. Б. Барановський [та ін.] ; за ред. П. В. Кривенка. – 3-тє вид., переробл. та допов. – Київ : Ліра-К, 2015. – 624 с.
10. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт та самостійної роботи з вивчення курсу «Матеріалознавство» / уклад. : О. В. Кондращенко, А. А. Баранова. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 66 с.
11. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт «Мінеральні в'язучі речовини» з курсу «Будівельне матеріалознавство» / уклад. : О. С. Лапшин, С. В. Шаповал. – Харків : ХНАМГ, 2009. – 24 с.

12. Пащенко Т. М. Будівельне матеріалознавство : навч. посібник / Т. М. Пащенко, З. І. Світла. – Київ : Аграрна освіта, 2009. – 434 с.
13. Пługін А. М. Основи фізико-хімічної механіки та довговічності будівельних матеріалів : навч. посібник / А. М. Пługін, А. А. Пługін, О. А. Калінін. – Харків : Овід, 2012. – 268 с.
14. Рищенко Т. Д. Архітектурне матеріалознавство : підручник / Т. Д. Рищенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 305 с.
15. Рунова Р. Ф. Матеріалознавство : підручник / Р. Ф. Рунова, Л. О. Шейніч, В. І. Гоц [та ін.] ; за ред. Р. Ф. Рунової. – Київ : КНУБА, 2018. – 392 с.
16. Шаповал С. В. Сучасні будівельні матеріали і технології : конспект лекцій / С. В. Шаповал, А. А. Баранова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 97 с.
17. Бабаєв В. М. Матеріалознавство : підручник / В. М. Бабаєв, Л. І. Обозний, С. В. Шаповал [та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – 199 с.
18. Дворкін Л. Й. Матеріалознавство і технологія металів : навч. посібник / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін. – Київ : Алерта, 2015. – 274 с.
19. Карапузов Є. К. Сухі будівельні суміші : довідник / Є. К. Карапузов, Г. В. Соха, В. Г. Соха. – Київ : Техніка, 2013. – 226 с.
20. Кривенко П. В. Спеціальні бетони : підручник / П. В. Кривенко, Р. Ф. Рунова, В. І. Гоц [та ін.]. – Київ : Логос, 2017. – 363 с.
21. Пługін А. А. Колоїдна хімія в технології будівельних матеріалів : навч. посібник / А. А. Пługін, О. С. Герасименко, Л. В. Бондаренко. – Харків : ХНУБА, 2014. – 326 с.
22. Пушкарьова К. К. Будівельна кераміка. Технологія та властивості : підручник / К. К. Пушкарьова. – Київ : Ліра-К, 2012. – 336 с.
23. Саницький М. А. Будівельне матеріалознавство : навч. посібник / М. А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Марущак. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2017. – 472 с.
24. Старчевська Є. О. Корозія та захист будівельних конструкцій : конспект лекцій / Є. О. Старчевська. – Дніпро : ПДАБА, 2018. – 56 с.

25. Толмачов С. М. Технологія будівельних матеріалів, виробів та конструкцій : навч. посібник / С. М. Толмачов, О. П. Беліков. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 268 с.
26. Якименко О. В. Ландшафтне матеріалознавство : навч. посібник / О. В. Якименко. – Київ : Ліра-К, 2018. – 248 с.
27. Кривенко П. В. Заповнювачі для бетону : навч. посібник / П. В. Кривенко, К. К. Пушкарьова, М. О. Кочевих. – Київ : ФАДА, ЛТД, 2001. – 399 с.
28. Жван В. Д. Технологія будівельного виробництва в житлово-комунальному господарстві : навч. посібник / В. Д. Жван. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 316 с.
29. Жван В. Д. Зведення і монтаж будівель і споруд : навч. посібник / В. Д. Жван, М. Д. Помазан, О. В. Жван. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 395 с.
30. Клименко Є. В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд : навч. посібник / Є. В. Клименко. – Київ : Центр навчальної літератури, 2004. – 304 с.
31. Технологія будівельного виробництва : підручник / М. Г. Ярошенко, Є. Г. Романушко ; за ред. М. Г. Ярошенка. – 2-ге вид. – Київ : Вища школа, 2005. – 342 с.
32. Фокін Г. С. Довідник будівельника. Сучасні будівельні матеріали / Г. С. Фокін, О. В. Кондращенко. – Харків : АЛЕФ ІнфоТрейд, 2008. – 425 с.
33. Братчун В. І. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов. – Макіївка-Харків : ТОВ «Норд Комп'ютер», 2006. – 302 с.
34. Ушеров-Маршак О. В. Бетони та сухі будівельні суміші. Тлумачний словник : навч. посібник / О. В. Ушеров-Маршак, К. В. Латорець. – Харків : Колорит, 2010. – 102 с.
35. Пащенко О. О. В'язучі матеріали / О. О. Пащенко, В. П. Сербін, О. О. Старчевська. – Київ : Вища школа, 1995. – 416 с.
36. Дворкін Л. Й. Опоряджувальні матеріали і вироби : довідник / Л. Й. Дворкін. – Київ : Вища школа, 1993. – 325 с.

БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

УКЛАДАЧІ:

ДАРІЄНКО Віктор Вікторович

кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельні дорожні машини і будівництво Центральноукраїнського національного технічного університету

НАСТОЯЩИЙ Владислав Анатолійович

кандидат технічних наук, професор кафедри будівельні дорожні машини і будівництво Центральноукраїнського національного технічного університету

СКРИННІК Іван Олександрович

кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельні дорожні машини і будівництво Центральноукраїнського національного технічного університету

ПОРТНОВ Геннадій Давидович

кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельні дорожні машини і будівництво Центральноукраїнського національного технічного університету

Електронне видання

Центральноукраїнський національний технічний університет.
© В.В. Дарієнко, В.А. Настоящий, І.О. Скриннік, Г.Д. Портнов