

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

ПІДРУЧНИК

2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АКАДЕМІЯ НАУК
(ВІДДІЛЕННЯ «АРХІТЕКТУРИ І БУДІВЕЛЬНИХ НАУК»)

Будівельні матеріали та вироби

Підручник

ЗА РЕДАКЦІЮ АКАДЕМІКА УКРАЇНСЬКОЇ АКАДЕМІЇ НАУК,
Д-РА ТЕХН. НАУК, ПРОФ. О. М. ЛІВІНСЬКОГО

ДНІПРОПЕТРОВСЬК
Акцент ПП
2014

УДК 691(075.8)
ББК 38.3я73
Б 90

Авторський колектив:

О. М. Лівінський, О. М. Пшінько, М. В. Савицький,
І. І. Куліченко, О. І. Курок, В. С. Дорофєєв, Ю. Б. Бендерський,
Н. В. Новіченко, А. Д. Єсипенко, І. Н. Дудар, М. І. Бондаренко,
О. Г. Хоменко, Т. Е. Потапова

Рецензенти:

Р. Ф. Рунова, д-р техн. наук, професор (Київський національний
університет будівництва і архітектури);
В. М. Дерев'яно, д-р техн. наук, професор (ДВНЗ «Придніпро-
вська державна академія будівництва і архітектури»);
В. Р. Сердюк, д-р техн. наук, професор (Вінницький національний
технічний університет).

Рекомендовано до друку вченою радою ДВНЗ «Придніпровська
державна академія будівництва та архітектури»
(протокол № 2 від 23.09.2014 р.)

Будівельні матеріали та вироби [Текст]: підручник / О. М. Лі-
вінський, О. М. Пшінько, М. В. Савицький та ін. – Дніпропетровськ :
Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, Акцент
ПП, 2014. – 658 с.

ISBN 978-617-7109-64-7

У підручнику поряд із загальними питаннями будівельного матеріалознавства де-
тально розглянуто практично всі сучасні ефективні будівельні матеріали, галузі їх за-
стосування, технічні характеристики, що важливо для отримання повної інформації
про матеріали.

Для студентів середніх та вищих навчальних закладів будівельного профілю,
а також проєктувальників, фахівців, менеджерів будівельних організацій.

Іл. 111. Табл. 112. Бібліогр.: 89 назв.

УДК 691(075.8)
ББК 38.3я73

ISBN 978-617-7109-64-7

© Лівінський О. М. та ін., 2014
© Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп.
ім. акад. В. Лазаряна, оригінал-макет,
редагування, 2014

ВСТУП

Протягом багатовікової історії людство використовувало різноманітні матеріали для будівництва житла, а потім і інших споруд – культових, спортивних, громадських, промислових, інженерних тощо. Спочатку це були земля, глина, природний камінь, дерево, кістки тварин (зокрема, мамонта та ін.). З часом удосконалювалися знаряддя праці, з'являлися нові матеріали, що задовольняли зростаючі потреби людини (випалена цегла, метал, в'язучі матеріали тощо). Таким чином, з розвитком цивілізації в усіх напрямках йшла вперед наука, культура, мистецтво й удосконалювалася будівельна справа на основі застосування нових матеріалів, що створювалися людиною.

Житлові будинки, школи, клуби, лікарні, заводи й фабрики, греблі, мости, електростанції й багато інших будівель і споруд зводять з різних будівельних матеріалів і виробів. Тому розвитку промисловості будівельних матеріалів і виробів в Україні приділяється велика увага як безпосередньо в будівництві, так і у вищій школі (їх вивчення й засвоєння набутих знань студентами).

В Україні над проблемою створення й застосування ефективних матеріалів у будівельній практиці працювали і працюють вчені відомих шкіл та Дніпропетровська: Г. Д. Дібров, О. П. Нікіфоров, В. М. Пунагін, В. М. Дерев'янка, М. І. Нетеса, Н. В. Савицький, Л. С. Савін, М. А. Сторожук, О. М. Пшінько, М. В. Шпірько, С. А. Щербак; Києва: В. Д. Глуховський, Р. О. Веселовський, В. І. Гоц, П. В. Кривенко, І. А. Пашков, О. О. Пащенко, К. К. Пушкарьова, Р. Ф. Рунова, Л. О. Шейніч; Харкова: В. І. Бабушкін, О. П. Мchedлов–Петросян, А. Н. Плугін, А. А. Плугін, В. Л. Чернявський, А. В. Ушеров–Маршак; Одеси: В. А. Вознесенський, В. С. Дорофеев, В. Н. Вировой, І. В. Барабаш, С. В. Коваль, Т. В. Ляшенко, А. В. Мішутін; Донецька: М. М. Зайченко, В. Братчун; Львова: Д. Г. Шпи-

нова, М. А. Санницький; Рівного: Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін; Вінниці: В. Р. Сердюк, В. Ш. Файнер; Криму: С. І. Федоркін, М. В. Любомирський та багато інших. Їх досвід, розробки та досягнення, а також опубліковані праці зарубіжних науковців були використані авторами в ході укладання цього видання. Підручник підготовлено з урахуванням вимог чинних нормативних документів, у тому числі ДСТУ, ДБН, ЕН.

Основна мета запропонованого підручника – надати фахівцям повні відомості про сучасні матеріали, а студентам ґрунтовні знання, засвоєння яких допоможе їм правильно оцінювати властивості будівельних матеріалів під час їх вибору для тієї чи іншої конструкції залежно від умов її роботи в споруді та для ефективного використання під час зведення різних об'єктів.

Підручник охоплює більшість сучасних матеріалів, що застосовуються в будівництві. З розвитком будівельного виробництва розширюється номенклатура матеріалів та виробів будівельного призначення, що сприяє подоланню економічної й екологічної кризи за рахунок економії матеріальних ресурсів та є підставою для розробки нових технологій їх отримання.

У підручнику поряд із сучасними будівельними матеріалами й конструкціями висвітлено традиційні, які протягом останніх 50–60 років випускалися промисловістю й були застосовані для спорудження нині експлуатованих будівель і в окремих випадках потребують заміни у зв'язку із зношенням і новими вимогами (енергозбереження, екологічні, санітарно-гігієнічні, естетичні тощо).

Підручник складається із сімнадцяти розділів, поділ на які автори здійснили за технологічною ознакою отримання будівельних матеріалів з урахуванням виду вихідної сировини. У кожному розділі подаються загальні відомості про той чи інший матеріал, а далі докладно описуються його характеристики, властивості та галузь застосування, правила перевезення, складання та зберігання.

Будівельне матеріалознавство – одна з основних інженерних дисциплін, що формує базові знання студента, необхідні для вивчення таких навчальних курсів, як «Будівельні конструкції», «Технології будівельного виробництва», «Економіка і організація будівництва», «Архітектура будівель і споруд» та ін.

Роль і значення матеріалів розглядаються в нерозривному зв'язку з їхньою роботою і поведінкою в конструкціях і спорудах за тривалий період експлуатації в реальних умовах. Розвиток теоретичної бази будівельного матеріалознавства не тільки змінює підходи фахівців до вибору відповідних матеріалів для будівництва різних споруд, але й ефективно

опирає на удосконалення методів, що використовуються під час проектування будівельних конструкцій.

Завдяки розвитку теоретичних основ будівельного матеріалознавства відбувається поступовий перехід від традиційних підходів, пов'язаних з вивченням технічних характеристик будівельних матеріалів та оцінкою їхньої поведінки в різних умовах експлуатації, до встановлення фізико-хімічних закономірностей утворення матеріалів з наперед заданими властивостями та розкриття механізмів їх руйнування.

Метою видання цього підручника є вивчення:

- властивостей будівельних матеріалів (механічних, фізичних, хімічних, технологічних);
- асортименту та номенклатури будівельних матеріалів та технології їх виробництва;
- закономірностей зміни властивостей будівельних матеріалів в умовах експлуатації за механічних та інших впливів (температурних, атмосферної вологи, сонячної радіації, біологічних, шуму тощо), а також виявлення шляхів ефективного використання багатофункціональних будівельних матеріалів.

Курс «Будівельне матеріалознавство» має дуже важливе значення в підготовці фахівців, адже жодну споруду не можна правильно спроектувати, побудувати й експлуатувати без наявності відповідних будівельних матеріалів і всебічного знання їхніх властивостей. Вартість матеріалів у загальних витратах на будівництво становить не менше 50 %, тому знання функціональних особливостей кожного матеріалу не тільки дозволяє вирішувати питання, пов'язані з економією в будівельному виробництві, але й дає можливість фахівцю:

- зробити і професійно обґрунтувати вибір матеріалу з урахуванням експлуатаційних характеристик;
- правильно застосовувати прийоми його обробки та методи укладання в будівлі (споруди);
- у разі потреби замінити одні матеріали іншими без зниження якісних характеристик споруди;
- організувати правильне транспортування, складування та зберігання матеріалу.

У підручнику визначено основні напрямки розвитку будівельного матеріалознавства, а саме:

- створення нових матеріалів за рахунок використання раціональних рецептур з урахуванням імовірнісних показників якості й надійності;
- розширення вимог до матеріалів з урахуванням конкретних умов експлуатації будівель;

- керування якістю матеріалів за рахунок ускладнення рецептури введенням коригувальних домішок;
- розробка ефективних будівельних матеріалів та виробів за новими енергозберігаючими технологіями.

Знання і уміння, набуті студентами з курсу «Основи будівельного матеріалознавства», будуть корисними під час вивчення циклу дисциплін професійної підготовки, проходження виробничої та технологічної практики, у курсовому проектуванні та науково-дослідній роботі.

Звичайно, готуючи таку велику працю, можливо, дещо авторами було упущене, а окремі матеріали висвітлені не достатньо повно. Тому розраховуємо на конструктивні відгуки, зауваження і пропозиції від спеціалістів і вчених-матеріалознавців, які будуть з вдячністю прийняті та враховані під час підготовки другого видання.

Автори щиро вдячні рецензентам – докторам технічних наук, професорам Віктору Михайловичу Дерев'янку, Раїсі Федорівні Руновій і Василю Романовичу Сердюку за висловлені зауваження й пропозиції. Усі вони враховані в ході доопрацювання й підготовки підручника до видання.

О. М. Лівінський,
доктор технічних наук, професор,
заслужений будівельник України,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки, академік УАН

Загальні відомості про будівельні матеріали

1.1. Будівельні матеріали й вироби: загальна характеристика

Будівельні матеріали – це матеріали (вироби), які застосовуються для спорудження будівель. Вони, як правило, характеризуються сталими за часом властивостями й поділяються на *природні* (пиломатеріали, камінь, пісок, глина) і *штучні* (цемент, вапно, скло, метал), а за умовами роботи й призначенням – на *конструкційні* (природні та штучні кам'яні матеріали, в'язучі речовини, метали, полімери, деревина, композиційні матеріали) і *матеріали спеціального призначення* (теплоізоляційні, акустичні, гідроізоляційні, покрівельні, антикорозійні, опоряджувальні). Основна маса будівельних матеріалів, виробів і напівфабрикатів виготовляється на підприємствах промисловості будівельних матеріалів і підприємствах будівельної індустрії або постачається іншими галузями народного господарства, а певна частина – безпосередньо на будівельному майданчику, приоб'єктних полігонах чи виробничих базах. Заборонено використання будівельних матеріалів і виробів, які не мають товарного знака (заводської марки), а також супровідних документів (паспорт, сертифікат), що підтверджують відповідність їхніх якісних показників вимогам державних стандартів (ДСТУ) або технічних умов (ТУ).

Є ще таке тлумачення цього терміна.

Будівельні матеріали – це предмети праці, які безпосередньо підлягають обробленню в процесі будівельного виробництва та визначають матеріальне наповнення будівельної продукції або її елементів: сировина, матеріали, вироби та конструкції.

Будівельні вироби – це вироби, з яких складаються конструктивні елементи (стіни мурують з окремих цеглин, сходи будують зі східців і косоурів, перекриття улаштовують з окремих плит, балок тощо).

До будівельних матеріалів належать речовини органічного й неорганічного походження (природні або штучні, спеціально синтезовані

людиною), які за своїми властивостями можуть застосовуватися в конструкціях і виробках загальнобудівельного й спеціального призначення.

Найважливішими з таких властивостей є міцність, об'ємна маса, морозотривкість, водотривкість, маса, теплопровідність тощо.

Будівельні матеріали, вироби й конструкції діляться на дві великі групи: місцеві матеріали й промислові матеріали. І ті, й інші повинні виготовлятися відповідно до вимог чинних нормативно-технічних документів (ДСТУ, ТУ та ін.). Тому в ході їх замовлення, приймання, зберігання й використання слід перевіряти супровідні документи, а також наявність товарного знака (заводської марки) на виріб. У супровідних документах обов'язково мають вказуватися основні показники матеріалів (густина, міцність, теплопровідність, водопоглинання, морозотривкість та ін.), що відповідають вимогам нормативних документів, і їх радіаційно-гігієнічна оцінка ($A_{\text{сф}}$, Бк/кг).

За рівнем природних радіонуклідів відповідно до ГОСТ 30108-94 усі будівельні матеріали ділять на три класи: 1-й клас відповідає матеріалам і виробам, у яких вміст природних радіонуклідів не перевищує 370 Бк/кг; 2-й клас – матеріали й вироби з $A_{\text{сф}}$ більше 370, але менше 740 Бк/кг і 3-й клас для матеріалів і виробів з $A_{\text{сф}}$ від 740 до 1 010 Бк/кг.

Перед використанням будівельні матеріали повинні проходити вхідний контроль, який виконується в будівельних лабораторіях шляхом контрольних випробувань. Лише у виняткових випадках допускається здійснювати прийом будівельних матеріалів за паспортами (сертифікатами).

Під час замовлення, приймання, транспортування, збереження й використання будівельних матеріалів потрібно керуватися основними їх характеристиками, що наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Основні характеристики будівельних матеріалів і виробів

Матеріал	Середня густина, кг/м ³	Межа міцності при стиску, МПа	Теплопровідність, Вт/м · К
Азбестовий картон	1 000	—	0,156
Азбестоцементні вироби	2 000...2 400	5,0...50,0	0,290...0,348
Асфальтобетон	2 200...2 300	до 30,0	0,720...1,040

Матеріал	Середня густина, кг/м ³	Межа міцності при стиску, МПа	Теплопровід- ність, Вт/м · К
Бетон:			
з гравієм чи кам'яним щебенем	2 200...2 400	10,0...60,0	1,100...1,600
з керамзитом	500...1 800	2,0...30,0	0,350...0,900
зі шлаком	1 400...1 700	10,0...15,0	0,690...0,810
Бутовий камінь:			
із твердих порід	2 000...3 000	20,0...150,0	до 3,480
вапняк і туф	1 300...2 600	2,5...30,0	до 1,160
Гіпсові в'язучі	1 100...1 200	до 25,0	0,350...0,460
Гіпсові плити	1 100	до 2,5	0,290...0,350
Гіпсокартонові листи	800	—	0,130
Суха гіпсова штукатурка	1 000	до 2,0	0,230...0,250
Граніт	2 500...2 700	150,0...250,0	2,900...3,300
Деревина сосни	500...600	30,0...60,0	0,150...0,200
Плити:			
деревноволокнисті	250...100	0,5...30,0	0,007...1,300
деревностружкові	350...1 000	0,8...50,0	0,093...1,500
Земля суха (рослинна)	1 200...1 400	до 0,5	0,410
Вапно:			
пушонка	450...550	—	—
комкове	900...1 100	—	—
тістове (густе)	1 300...1 400	—	—

Продовження табл. 1.1

Матеріал	Середня густина, кг/м ³	Межа міцності при стиску, МПа	Теплопровідність, Вт/м · К
Вапно:			
щільне	1 800...2 200	50,0...150,0	0,800...1,000
черепашник	900...1 400	0,5...5,0	0,300...0,600
Камені шлакобетонні пустотілі	1 300...1 500	1,0...5,0	0,460...0,800
Цегла:			
керамічна	1 300...1 900	7,5...30,0	0,450...0,800
силікатна	1 600...1 900		0,600...0,800
діатомова теплоізоляційна	700...800	до 5,0	0,180...0,270
Ліс круглий хвойний:			
сирий	750...800	—	—
напівсухий	650...700	—	—
Ліс пиляний:			
хвойних пород	600	до 60,0	0,200
листяних пород	до 850	до 80,0	до 0,250
Лінолеум	800...1 100	—	—
Крейда мелена	1 000...1 200	—	до 0,150
Сміття будівельне	1 200...1 400	—	—
Мінеральна вата в плитах	150...400	до 0,5	0,047...0,195
Тирса дерев'яна	200...250		0,081...0,093
Пінобетон:			
автоклавний	300...1 000	до 10,0	0,093...0,260

Продовження табл. 1.1

Матеріал	Середня густина, кг/м ³	Межа міцності при стиску, МПа	Теплопровідність, Вт/м · К
Пінобетон:			
простий	400...1 200	до 10,0	0,100...0,350
Піносілікат	400...1 000	до 7,5	0,110...0,260
Пісок:			
гірський	1 500...1 600	—	—
річковий	1 300...1 700	—	—
Пластмаси щільні	до 1 200	до 200,0	0,230...0,800
Розчин будівельний	1 800...2 000	0,4...30,0	1,040...1,160
Сталь марки Ст.3	7 800...7 900	380,0...450,0 (при розтягуванні)	58,000
Скло віконне	2 500	до 700,0	0,400...0,820
Рубероїд у рулонах до 20 м	20...30	—	0,174
Фанера будівельна	600...700	60,0...80,0 (при розтягуванні)	
Фіброліт	300...550	0,4...1,2 (при згинанні)	0,139
Цемент:			
у мішках	до 1 700	марка	—
розсипом	1 000...1 400	300,0...600,0	—
Шлаки:			
котельний	750...1 000	до 3,0	0,210...0,290
гранульований доменний	400...700	до 4,5	0,120...0,170

Матеріал	Середня густина, кг/м ³	Межа міцності при стиску, МПа	Теплопровідність, Вт/м · К
Щебінь:			
із щільних порід	1 600...1 800	до 160,0	—
вапняковий	130...1 500	до 100,0	—
цегляний	1 200...1 350	до 5,0	—

Орієнтовна маса основних будівельних матеріалів і виробів, кг:

Азбестовий картон товщиною 3 мм, 1 м ²	3
Азбестові плити товщиною 4 мм, 1 м ²	12...18
Асфальтобетон, 1 м ³	2 200...2 300
Асфальт у плитах, 1 м ³	1 100
Бетон з гравієм чи кам'яним щебенем, 1 м ³	2 200...2 400
Бетон з цегляним щебенем, 1 м ³	1 800...2 000
Бетон зі шлаком, 1 м ³	1 400...1 700
Бетон з керамзитом, 1 м ³	1 000...1 400
Брукве каміння, 1 м ³	1 800
Гіпс будівельний та кам'яний (сирець) у шматках, 1 м ³	1 000
Глина тугоплавка й вогнестійка грудкова, 1 м ³	1 600...1 700
Глина цегляна в розсипчастому стані, 1 м ³	1 500
Гонт, 1 000 шт.	360
Гравій розсипом, 1 м ³	1 700...1 800
Гравій у масиві, 1 м ³	2 700
Гіпсокартонні листи, 1 м ³	800
Деревноволокнисті плити, 1 м ³	до 400
Діатоміт мелений, 1 м ³	600
Вапно негашене грудкове, 1 м ³	800...1 250
Вапно пушонка, 1 м ³	450...550
Вапно мелене негашене, 1 м ³	700...800
Вапняки звичайні, 1 м ³	2 400
Вапняки щільні, 1 м ³	2 600
Вапнякове тісто, 1 м ³	1 450
Камінь бутовий, 1 м ³	1 600
Розчини вапняні й змішані, 1 м ³	1 900
Розчини цементні, 1 м ³	1 200

Руберойд, рулон	20...30
Скло віконне товщиною 3 мм, 1 м ²	8
Фанера, 1 м ³	600...700
Цемент розсипом, 1 м ³	1 700
Цемент у мішках, 1 м ³	1 100...1 300
Щебінь з природного каменю твердих порід, 1 м ³	1 700...1 800
Щебінь з природного каменю середньої щільності, 1 м ³	1 600
Щебінь з природного каменю м'яких порід, 1 м ³	1 450
Щебінь з природного каменю цегляний, 1 м ³	1 200...1 350

У сучасному будівництві використовуються матеріали як вітчизняного, так і закордонного виробництва (табл. 1.2), виготовлені на основі останніх досягнень будівельних технологій.

Таблиця 1.2

Штрих-коди основних країн, що постачають на вітчизняний ринок будівельні матеріали й вироби

Країна-виробник	Штрих-код	Країна-виробник	Штрих-код
США	00-09	Норвегія	70
Франція	30-97	Ізраїль	729
Німеччина	400-440	Швеція	73
Болгарія	380	Іспанія	84
Польща	590	Фінляндія	64
Румунія	594	Італія	80-83
Великобританія	50	Латвія	475
Бразилія	789	Литва	477
Швейцарія	76	Україна	482
Мексика	750	Греція	520

В Україні всі підприємства, що виготовляють будівельні матеріали, вироби й конструкції, належать до промисловості будівельних матеріалів.

Промисловість будівельних матеріалів – це промисловість, яка охоплює галузі, що виготовляють будівельні матеріали для всіх видів будівництва.

1.2. Класифікація будівельних матеріалів

Кількість матеріалів, які використовують у будівництві, постійно зростає. На сьогодні єдиної класифікації будівельних матеріалів ще не розроблено, але існує дуже багато класифікаційних ознак і складні структури зв'язків між окремими групами матеріалів.

Будівельні матеріали поділяють за фізичними, хімічними, фізико-хімічними, механічними, структурними, технологічними та функціональними ознаками.

За винятком природного каміння та деревини, будівельні матеріали – це штучні продукти, в основі одержання яких лежать хіміко-технологічні процеси. Найважливішою і найбільш вживаною в будівельній практиці є класифікація будівельних матеріалів за призначенням.

Виходячи з умов роботи в будівельних конструкціях матеріали за своїм призначенням поділяються на дві групи.

До першої входять *матеріали універсального типу*, придатні для тримальних конструкцій:

- природні кам'яні матеріали;
- штучні кам'яні матеріали: а) на основі в'язучих без відпалу (розчини, бетони тощо); б) одержані відпалюванням мінеральної сировини (керамічні матеріали та вироби, скло, ситали);
- метали (сталь, чавун, алюміній, мідь і їх сплави);
- конструкційні пластмаси (склопластик та ін.);
- лісові матеріали.

Матеріали для конструкцій, що повинні витримувати навантаження, підбирають з урахуванням особливостей конструктивних елементів і техніко-економічних обґрунтувань. З цією метою широко використовуються сталевий і алюмінієвий прокат, бетон і сталебетон, цегла, клеєна деревина тощо.

Матеріали для виготовлення огорожувальних конструкцій є самотримальними й не зазнають впливу великих навантажень. Зовнішні огорожувальні конструкції можуть сприймати снігове й вітрове навантаження, а також піддаватися агресивній дії довкілля. Матеріали, що займають конструктивний простір між тримальними елементами, повинні бути легкими й мати низьку теплопровідність.

До другої групи належать будівельні *матеріали спеціального призначення*, необхідні для захисту конструкцій від шкідливих впливів середовища, а також для підвищення експлуатаційних властивостей будівель і створення необхідного рівня комфорту:

- теплоізоляційні;
- акустичні;
- гідроізоляційні (антифільтраційні, антикорозійні, герметизувальні);
- оздоблювальні;
- вогнетривкі;
- покрівельні.

Функціональне призначення *теплоізоляційних матеріалів* полягає в зменшенні втрат теплоти під час експлуатації будівель і споруд, а також теплових агрегатів і трубопроводів. Теплоізоляційно-конструктивні матеріали (ніздрюваті бетони, арболіт, фіброліт тощо) використовують для самотримальних конструкцій будівель і малоповерхових тримальних конструкцій.

За структурою до теплоізоляційних матеріалів близькі *акустичні матеріали*, призначені для зниження енергії звукових коливань (рівня шумів). Їх поділяють на *звукопоглинальні й звукоізоляційні*.

Для захисту будівельних конструкцій споруд і будівель від шкідливої дії води й водних розчинів агресивних сполук застосовують *гідроізоляційні матеріали*. За призначенням їх поділяють на *антифільтраційні, антикорозійні й герметизувальні*.

Верхнім водозахисним шаром у конструкції покрівель є покрівельне покриття. Деякі матеріали (рулонні мастики) можна використовувати як для покрівель, так і для гідроізоляції, а інші (азбестоцементні листи, черепиця, покрівельна сталь) лише для покрівель.

Матеріали для опорядження надають поверхням конструкцій будівель і споруд захисних і декоративних властивостей. Розрізняють *опоряджувальні й опоряджувально-монтажні матеріали*. Перші використовують для влаштування захисно-декоративних покриттів на поверхні конструкцій (штукатурка, лаки, фарби, шпалери), другі поєднують у собі як оздоблювальну, так і конструктивну функції під час влаштування покриттів (склоблоки, профільне скло, гіпсокартонні листи й плити, деревно-стружкові та деревноволокнисті плити, азбестоцементні й алюмінієві вироби).

До будівельних матеріалів належать також *санітарно-технічні вироби* – ванни, раковини, мийки, прилади для опалення кухонь, устаткування санвузлів з кераміки, полімерів і металів.

Серед будівельних матеріалів спеціального призначення виділяють *дорожні, жаростійкі, кислотостійкі, електротехнічні, біозахисні, трубопровідні та ін.*

Будівельні матеріали належать здебільшого до композиційних матеріалів (композитів). *Композиційними* називають природні або штучні

гетерогенні матеріали, спільною ознакою яких є існування межі поділу між компонентами (фазами), що їх утворюють. У композиційному будівельному матеріалі (КБМ) розрізняють першу фазу, або матрицю, – безперервний зв’язувальний компонент, що перебуває у твердому кристалічному або аморфному стані, і другу його фазу – одну або кілька речовин, диспергованих у матриці, які можуть перебувати в будь-якому агрегатному стані.

За призначенням КБМ поділяють на силові, несилкові й спеціальні. Силові КБМ (склопластики, азбестоцемент, бетон тощо) повинні мати високі механічні властивості – міцність, жаростійкість, довговічність. Несилкові КБМ сприймають незначні механічні навантаження. Серед таких КБМ – теплоізоляційні матеріали на основі різних волокон (фіброліт, мінераловатні плити тощо), піно- й газобетони, піноскло, пінопластики. КБМ спеціального призначення можуть працювати в умовах високих температур (жаростійкі, вогнетривкі), хімічної агресії (луго- та кислотостійкі), електричної напруги (електроізоляційні, електропровідні). До них належать також звуко- й теплоізоляційні, декоративні, безусадкові, розширювальні та інші КБМ.

За матеріалом матриці КБМ поділяють на цементні, гіпсові, керамічні, металеві тощо.

Наповнювачі КБМ досить різноманітні. За механічними властивостями КБМ перспективні різні волокнисті й шаруваті наповнювачі з металів, скла, дерева, азбесту, базальту тощо. Армування КБМ волокнами може бути як орієнтоване (залізобетон, склоцемент, склопластики), так і дисперсне (фібробетон).

Особливо поширені КБМ із зернистими наповнювачами (бетони, розчини, мастики). За малого вмісту наповнювача (заповнювача) властивості КБМ визначаються в основному властивостями матриці, а в міру зростання вмісту наповнювача їхні властивості можуть суттєво змінюватися, набуваючи специфічних ознак, притаманних лише даному виду КБМ. Наприклад, для цементних бетонів збільшення вмісту наповнювача до певної межі сприяє зростанню міцності на 20...30 %, асфальтових – на 50...80 %.

Різновидом композиційних матеріалів є *штучні будівельні конгломерати* (ШБК). За І. О. Риб’євим це матеріали, у яких заповнювач зцементований в’язучими речовинами або первинними зв’язками (хімічними, електричними, металевими тощо) у моноліт. До природних конгломератів належить низка гірських порід, до штучних – насамперед різноманітні бетони й розчини. У класифікації ШБК запропоновано виділити два типи таких матеріалів: безвипалювальні, що утворюються внаслідок низькотемпературних фізико-хімічних процесів твердіння в’язучих речовин, і випалю-

кальні, що утворюються внаслідок охолодження з розплавів або під час контактного спікання.

Сировинними компонентами будівельних матеріалів є тверді, рідкі й газоподібні речовини. Більша частина твердої сировини – це гірські породи, деревина та промислові відходи (шлаки, золи, відсів тощо). Рідкими речовинами є нафтопродукти, рідкі відходи хімічних підприємств, вода та водні розчини. Переробляючи нафту й кам'яне вугілля, дістають газоподібні продукти, які можна використовувати для виробництва полімерних матеріалів.

Серед неорганічних сировинних матеріалів найпоширеніші силікати, яким належить значне місце (66,5 %) у складі земної кори. До мінеральної сировини багатопільового призначення з великими обсягами споживання належить глина, карбонатні породи, піски. У будівництві широко використовують продукти силікатної технології – цементи, керамічні матеріали, скло, автоклавні бетони та інші матеріали.

Побічні продукти й відходи виробництва, які застосовують як сировину для виготовлення будівельних матеріалів, доцільно класифікувати залежно від галузі промисловості, де вони утворюються:

1. Побічні продукти металургії: доменні, феросплавні й сталеплавильні шлаки; шлаки, що утворюються в результаті плавлення руди кольорових металів; продукти збагачення руди, нефелінові та інші шлаки.

2. Побічні продукти теплової енергетики й паливної промисловості: золи, паливні шлаки, шахтні породи, відходи вуглезбагачення та ін.

3. Побічні продукти хімічної промисловості: залізисті й гіпсовісні відходи, соле- й гідроксидовмісні шлаки й содопродукти, фосфорні шлаки, вторинні полімерні продукти.

4. Побічні продукти гірничодобувної промисловості.

5. Побічні продукти переробки деревини та іншої сировини рослинного походження: кора, стружка, лігнін, тирса, обрізки, костриця льону й коноплі та інші.

6. Побічні продукти виробництва будівельних матеріалів: відходи цементного, азбестоцементного, керамічного, полімерного і скляного виробництва, нерудної промисловості.

7. Відходи міського господарства: макулатура, використані полімерні матеріали, автопокришки, тверді залишки стічних вод, склобій та інші.

1.3. Основні властивості будівельних матеріалів

Для виконання функціонального призначення в спорудах матеріали повинні мати необхідні властивості. Під властивостями розуміють здатність матеріалів певним чином реагувати на вплив окремих або сукупних зовнішніх чи внутрішніх факторів (механічних, фізичних, хімічних, біологічних та інших). Тому, обираючи певний матеріал з урахуванням умов експлуатації і призначення об'єкта, треба правильно визначити його властивості та всебічно їх оцінити.

Для оцінки властивостей будівельних матеріалів їх піддають різним випробуванням у лабораторіях, використовуючи для цього спеціальні прилади, механізми та вимірювальну апаратуру. Порівнюючи одержані показники з відповідними величинами, встановленими нормативними документами (стандарти, технічні умови, будівельні норми), роблять висновки про технічну можливість, а враховуючи економічні показники, і економічну доцільність використання цього будівельного матеріалу в конкретних умовах.

Вибір матеріалів відповідної якості та вартості для будівництва кожного об'єкта є одним з основних елементів будівельного проектування.

Визначення числових показників властивостей пов'язане з вимірюваннями, тобто з порівнянням з іншою однорідною величиною, що береться за одиницю виміру. Сукупність одиниць виміру, створена за певним принципом, називається системою одиниць. В Україні прийнято Міжнародну систему одиниць (SI), застосування якої є обов'язковим при різних вимірюваннях, у тому числі при вимірюванні властивостей будівельних матеріалів.

За сукупністю ознак властивості будівельних матеріалів поділяють на *механічні, фізичні, хімічні й технологічні*.

1.3.1. Механічні властивості будівельних матеріалів

Найважливішими для будівельних матеріалів є механічні властивості (табл. 1.3), що характеризують їх реакцію на зовнішні силові впливи. Вони вказують на здатність матеріалу чинити опір руйнуванню або деформаціям (зміна форм і розмірів) під дією зовнішніх навантажень. До механічних властивостей належать:

– деформативні характеристики (пружність, еластичність, релаксація, пластичність, плинність, повзучість, усадка, розтяжність, крихкість);

Механічні властивості деяких матеріалів

Матеріал	Межа міцності, МПа		Твердість, МПа	Стирання, г/см ²	Ударна в'язкість, кДж/м ³	Модуль пруж- ності, ×10 ³ , МПа
	при стиску	при розтягу				
Граніт, сієніт, діорит	100...250	5,0...6,5	—	0,05...0,1	—	30...60
Вапняк	3,5...200	6,7...7,5	—	2...5	—	10...60
Бетон важкий	5...80	1,1...3,5	220...1 800	0,6...1,5	2,0...4,5	19...40
Чавун сірий	800...1 000	—	2 000	—	10...20	80...160
Цегла клінкерна	40...100	—	—	0,2...0,4	—	—
Сосна (вздовж волокон, во- логістю 12 %)	36,2...48	70...130	21...26	—	42	12
Скло віконне	600...700	30...35	4 000...6 000	—	2,0	48...83
Шлакоситали	500...650	—	8 100...8 400	0,015	4,5...6	—
Склотекстоліт	—	110...300	200...220	—	50...116	11...21

— міцність (твердість, стираність, ударна міцність, опір зношуванню, в'язкість).

Будівельні матеріали в спорудах зазнають дії різних зовнішніх сил та інших факторів, які можуть призвести до появи тріщин, зміни початкової форми без зміни структури, зниження міцності та інших явищ, пов'язаних з фізико-механічними властивостями. Механічні властивості безпосередньо пов'язані зі структурою матеріалів, силами зчеплення між частинками, а також особливостями їх теплового руху. Механічні властивості структурованих дисперсних систем, до яких належить більшість будівельних матеріалів, називають реологічними.

Деформативні властивості будівельних матеріалів. Силовий вплив на матеріал спричинює зближення, вилучення або зсув атомів. Здатність матеріалу відновлювати втрачені форму й об'єм (тверді матеріали) або тільки об'єм (рідкі та газоподібні матеріали) після припинення дії зовнішніх сил називають *пружністю*.

Початкова форма матеріалу може відновлюватися постійно або частково (коли навантаження великі). Пружну деформацію, яка повністю зникає із зняттям зовнішніх сил, називають оборотною. Якщо форма тіла відновлюється частково, то наявні залишкові (необоротні) деформації. Для деяких вискоеластичних матеріалів (еластомери), наприклад каучуку, пружна деформація може перевищувати 100 % внаслідок розриву зв'язків випрямлених молекул, тобто об'єм матеріалу після зняття навантаження може бути більшим за початковий.

Для кристалічних матеріалів пружність викликається силами притягання між частинками, що утворюють просторові ґрати. Розсунуті під впливом механічних зусиль елементи ґрат після розвантаження намагаються повернутись у вихідне положення.

Властивість матеріалів набувати значних пружних деформацій під дією порівняно невеликих навантажень і відновлювати розміри й форму після розвантаження називається *еластичністю*.

Вискоеластичні матеріали (гума, поролон тощо) після зняття навантаження практично миттєво відновлюють форму й розміри. Еластичні деформації мають яскраво виражений анізотропний характер. При перевищенні деякого граничного значення напруження, яке називається межею пружності, спостерігається необоротна (пластична) деформація.

Межа пружності — це те найбільше напруження, за якого залишкові деформації мають найменше (допустиме за нормами) значення, тобто матеріал практично зазнає оборотних пружних деформацій.

У пружній області деформація матеріалу пропорційна діючому напруженню (закон Гука). Відповідно до цього закону

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1.1)$$

де σ – нормальне напруження;
 E – модуль пружності при розтягу;
 ε – відносне подовження.

Модуль пружності визначає міцність міжатомних зв'язків і пов'язаний з іншими механічними й фізичними властивостями (табл. 1.4). Слід зазначити, що крихкі матеріали руйнуються, не досягаючи межі пружності.

Модуль пружності E , МПа, характеризує *жорсткість* матеріалу, тобто здатність його деформуватися під дією зовнішніх сил. Чим вища енергія міжатомних зв'язків у матеріалі, тим менше схильний він до деформації і тим вищий його модуль пружності. Наприклад, для заліза $E = 211 \cdot 10^{-4}$, алюмінію – $7 \cdot 10^{-4}$, свинцю – $1,5 \cdot 10^{-4}$, полістиролу – $0,3 \cdot 10^{-4}$, каучуку – $0,007 \cdot 10^{-4}$ МПа.

Матеріали, що перебувають під дією зовнішніх сил, здатні до самочинного зменшення внутрішніх напружень без зміни лінійних розмірів. Це явище пояснюється релаксацією – поступовим розсіюванням пружної енергії деформованого під навантаженням матеріалу й переходом її в теплоту. Релаксацією пояснюється принципова різниця в механічних властивостях і поведінці під навантаженням твердих та рідких тіл. Для твердих тіл період релаксації, протягом якого пружне напруження спадає до певного значення, дуже великий, а для рідин – навпаки.

Пластичність – це властивість матеріалу змінювати без руйнування форму та розміри під впливом навантаження або внутрішніх напружень, стійко зберігаючи утворену форму й розміри після припинення цього впливу.

Пластичність – найважливіша властивість, що визначає технологічність процесу формування матеріалів. Характерним прикладом пластичних матеріалів є висококонцентровані суспензії вапна, цементу, гіпсу, глини та інших мінеральних речовин у воді. Ці матеріали широко застосовують для виготовлення будівельних виробів. Пластичність суспензій багатьох мінеральних сполук тісно пов'язана з властивостями, які проявляють тонкі шари води на поверхні частинок дисперсної фази.

Пластичні деформації кристалічних матеріалів спричинені зсувом всередині кристалів, коли одна частина кристалу переміщується відносно іншої. Форма кристалів при цьому змінюється, видовжуючись у певному

напрямку. Пластичні зсуви кристалів зумовлені переміщенням дислокацій.

Пластичність деяких будівельних матеріалів змінюється під дією температури: при нагріванні – підвищується, при охолодженні – знижується. До таких матеріалів належать бітуми, деякі сорти сталі й низка полімерних матеріалів. Пластичність зростає також зі зменшенням швидкості деформування, з переходом від ковалентного до металевого зв'язку. У міру навантаження для пластичних матеріалів настає період, коли пластичні деформації продовжують розвиватися, незважаючи на незмінне напруження. Найменші напруження, за яких матеріал деформується без помітного зростання навантажень, називають межею плинності. *Плинність* – важлива особливість структурованих дисперсних систем (цементного тіста, бетонної суміші, бітумів тощо).

Для твердих матеріалів важливою механічною властивістю є повзучість – повільне зростання з часом пластичних деформацій матеріалів при силових навантаженнях (рис. 1.1).

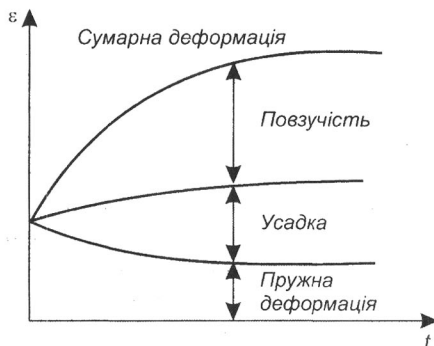


Рис. 1.1. Види деформацій ϵ матеріалу, що залежать від часу t при постійному навантаженні

Повзучість – це властивість матеріалів повільно та безперервно пластично деформуватися під впливом постійного навантаження. Для деяких матеріалів (бетон, гіпсові, азбестоцементні вироби) ця здатність спостерігається при звичайних температурах, для металів – при підвищених.

Швидкість повзучості різко зменшується зі зниженням температури та зменшенням напружень. Деформація повзучості матеріалів у багатьох випадках небажана, оскільки вона може призвести, наприклад, до виникнення збільшених прогинів. Проектуючи конструкцію, це треба враховувати.

Усадка – зменшення лінійних розмірів та об'єму матеріалів, спричинене зменшенням, головним чином, їх вологовмісту, а також пористості. При порівняно невеликому градієнті вологовмісту ω всередині матеріалу зміну його лінійних розмірів l описують лінійною залежністю

$$l = l_0 (1 + \beta_t \cdot \omega), \quad (1.2)$$

де l_0 – розмір абсолютно сухого матеріалу;

β_t – коефіцієнт, що характеризує інтенсивність усадки, %.

При нерівномірному розподілі вологовмісту й температури в матеріалі розвивається об'ємно напружений стан, тому можуть з'явитися тріщини й навіть відбутися повне його руйнування.

Усадка часто супроводжується коробленням матеріалу, коли разом з деформаціями об'єму відбуваються й деформації форми. Коробленню підлягають більш сухі поверхні, тому, аби зменшити його, потрібно забезпечити відпоповідну швидкість виведення вологи з усіх поверхонь.

Щоб зменшити усадку та запобігти тріщиноутворенню, підбирають склад матеріалів (наприклад, додають до глини пісок та інші домішки), застосовують вологий режим тверднення, а також спеціальні покриття, які сповільнюють швидке висихання.

Крихкість – це властивість твердих матеріалів руйнуватися під впливом механічних напружень, які в них виникають, без помітної пластичної деформації. Ця властивість протилежна пластичності. Для крихких матеріалів характерні слабкий опір ударним навантаженням, а також великий розкид показників межі міцності при стиску $R_{ст}$ та розтягу $R_{розт}$. Наприклад, для щільних та міцних кам'яних (природних) матеріалів $R_{розт} = (1/40 \dots 1/60) R_{ст}$. До крихких матеріалів належать також скло, чавун, бетон і деякі полімерні матеріали.

Крихкість і пластичність будівельних матеріалів можуть змінюватися не лише під дією температури, а й зі зміною вологості та швидкості наروضування навантаження, що діє на них. Наприклад, глина в сухому стані крихка, а у зволоженому (глиняне тісто) – пластична.

Важливі показники деформативних властивостей матеріалів (меж пружності та плинності, модуль пружності, відносне видовження і зруження після розриву, питома робота деформації до руйнування тощо) визначаються при випробуванні на розтяг (в окремих випадках на стиск і згин), побудовою діаграм напруження–деформації. Навантаження створюють на випробувальних машинах з механічним або гідравлічним приводом.

1.3.2. Міцність будівельних матеріалів

Завершальною стадією силового впливу на матеріал є його руйнування. Міцність – це здатність матеріалу чинити опір руйнуванню від внутрішніх напружень, що виникають під дією різних зовнішніх навантажень. У процесі експлуатації будівель і споруд будівельні матеріали найчастіше зазнають напружень стиску, згину, розтягу, зрізу та удару.

Будівельні матеріали неоднаково сприймають різні навантаження. Це залежить від їх хімічного та мінералогічного складу, структури й будови. Так, природні кам'яні матеріали, цегла та бетон добре працюють на стиск, але погано на розтяг і згин. На розтяг вони витримують навантаження в 10...15 разів менші, ніж на стиск. Тому такі матеріали застосовують переважно в конструкціях, які працюють на стиск (колони, стіни). Матеріали з волокнистими наповнювачами (наприклад, азбестоцементні покрівельні вироби) мають підвищену міцність на згин, показник якої порівняно з міцністю на стиск нижчий усього лише в 1,5...3 рази. Низка будівельних матеріалів, наприклад деревина, сталь, деякі полімерні матеріали (склопластики), мають високі показники міцності на стиск і згин, а тому їх застосовують у таких тримальних конструкціях, як балки, ферми, труби.

Розрахунки на міцність елементів конструкцій, що перебувають у складному напруженому стані, ґрунтуються на певному критерії. Основні класичні механічні теорії міцності: теорія максимальних нормальних напружень (Галілея), відповідно до якої небезпечний стан визначається найбільшим нормальним напруженням в конструкції; теорія найбільших лінійних деформацій, згідно з якою критерієм міцності вважають найбільшу за абсолютним значенням лінійну деформацію; теорія максимальних дотичних напружень (Кулона); теорія Губера–Мізеса–Генкі, за якою небезпечний стан конструкції настає в момент, коли в матеріалі досягається певний рівень пружної енергії, яка витрачається на зміну форми. Перші дві теорії використовують для розрахунків на міцність конструкцій із крихких матеріалів, а третю й четверту – для пластичних.

Міцність будівельних матеріалів характеризується критичним напруженням, коли порушується суцільність матеріалу, що є межею міцності при стиску, згині тощо. Вона чисельно дорівнює напруженню в матеріалі, яке відповідає навантаженню, що призвело до руйнування зразка, і вимірюється у мегапаскалях (МПа).

Межу міцності при стиску $R_{\text{ст}}$ визначають зазвичай на зразках у формі кубів, циліндрів, призм (рис. 1.2), а також на натурних зразках (керамічні порожнисті камені). Її визначають, як правило, дією на матеріал статичного навантаження, що зростає з певною швидкістю протягом

кількох хвилин. Зміна швидкості зростання навантаження й характеру його прикладання (наприклад, повторнозмінне або динамічне навантаження) приводить до зміни міцності – залежно від виду напруженого стану (розтяг, стиск, згин, кручення тощо). Під час випробування зразків матеріалу у формі кубів на показник міцності в багатьох випадках впливає їхній розмір (міцність малих кубиків вища, ніж великих).

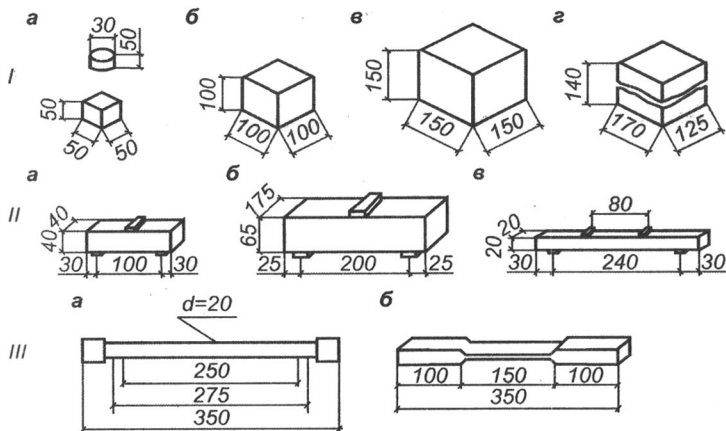


Рис. 1.2. Стандартні зразки для випробування матеріалів:

- I – на стиск: а – щільний природний камінь; б – пористий природний камінь;
 « – бетон; г – цегла (куб склеєний з двох половинок); II – на згин: а – цементний розчин; б – цегла; в – деревина; III – на розтяг: а – сталь; б – деревина

З усіх способів механічних випробувань найпоширеніші розтяг і стиск, їх виконують за допомогою спеціальних розривних машин та пресів.

Оскільки будівельні матеріали неоднорідні, то межа міцності визначається як середній результат випробування серії зразків (не менше трьох). Зразки будівельних матеріалів випробовують, як правило, на спеціальних пресах до руйнування, а межу міцності при стиску, МПа, обчислюють за формулою:

$$R_{\text{ст}} = P/F, \quad (1.3)$$

де P – руйнівне навантаження (сила), МН;

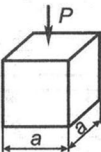
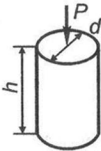
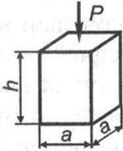
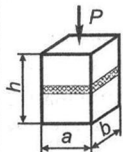
F – площа поперечного перерізу зразка до випробування, м^2 .

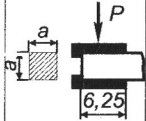
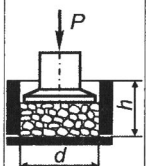
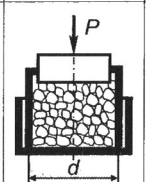
У табл. 1.4 систематизовані характерні зразки, які використовують для визначення міцності при стиску будівельних матеріалів. Крім традиційних руйнівних методів, для визначення міцності будівельних матеріалів можна застосовувати також і неруйнівні методи, наприклад ультразвуковий.

Межа міцності при стиску для різних будівельних матеріалів може набувати значень від 0,5 до 1 000 МПа. Числове значення межі міцності при стиску для багатьох матеріалів є підставою для встановлення їхньої марки або класу – найважливіших показників якості матеріалу.

Таблиця 1.4

Схеми стандартних методів визначення міцності при стиску

Матеріал	Зразок	Розміри стандартного зразка, см	Схема випробування	Розрахункова формула
Бетон Будівельний розчин Природний камінь	Куб	15×15×15 7,07×7,07×7,07 5×5×5, 10×10×10, 20×20×20		$R = \frac{P}{a^2}$
Бетон Природний камінь	Циліндр	$d = 15, h = 30$ $d = h = 5; 7; 10; 15$		$R = \frac{P}{\pi d^2}$
Бетон Деревина	Призма	$a = 10; 15; 20,$ $h = 40; 60; 80$ $a = 2, h = 3$		$R_{\text{пр}} = \frac{P}{a^2}$
Цегла	Складений зразок	$a = 12, b = 12,5,$ $h = 14$		$R = \frac{P}{F}$

Матеріал	Зразок	Розміри стандартного зразка, см	Схема випробуван- ня	Розрахункова формула
Цемент	Половина зразка-призми, виготовленого з цементно-піщаного розчину	$F = 25 \text{ см}^2$		$R = \frac{P}{F}$
Щільний крупний заповнювач для бетону	Проба щебеню (гравію) у циліндрі	$d' = h = 15$		$D_F = \frac{m - m_1}{m_1} 100\%$
Пористий крупний заповнювач для бетону	Проба щебеню (гравію) у циліндрі	$d = 15,$ $F = 177 \text{ см}^2$		$R = \frac{P}{F}$

Межу міцності при згині $R_{зг}$ визначають на зразках-балочках квадратного чи прямокутного перерізу, розміри яких встановлені відповідними стандартами, а також на натурних зразках (цегла, черепиця, азбестоцементні листи).

Випробування на згин виконують за схемою балки, встановленої на двох опорах при зосередженому навантаженні, прикладеному симетрично осі балки, до її руйнування:

$$R_{зг} = \frac{3Pl}{2bh^2}. \quad (1.5)$$

Межу міцності при згині, МПа, якщо два зосереджених навантаження прикладені симетрично, визначають за формулою:

$$R_{зг} = \frac{3P(l-a)}{2bh^2}, \quad (1.6)$$

де P – руйнівне навантаження, МН;

l – відстань між опорами, м;

a – відстань між точками прикладання двох навантажень, м;

b, h – відповідно ширина й висота поперечного перерізу зразка, м.

Якщо випробовується балка на двох опорах, то у верхній частині вона зазнає стиску, а в нижній – розтягу. Оскільки межа міцності при розтягу, як правило, менша за межу міцності при стиску, то саме в нижній зоні з'являються тріщини й починається руйнування матеріалу при згині.

Межу міцності при розтягу R_p визначають за допомогою спеціальних приладів та машин, застосовуючи виготовлені з випробовуваного матеріалу зразки встановленої форми й розмірів (призми, круглі стрижні, стрижні прямокутного перерізу, вісімки, смуги), залежно від виду будівельного матеріалу. Зразки закріплюють у затискачах приладів і піддають розтягу до моменту розриву.

Для кам'яних матеріалів, металів, деревини та інших матеріалів межа міцності при розтягу, МПа,

$$R_p = P/F, \quad (1.7)$$

де P – руйнівне навантаження, МН;

F – площа перерізу зразка в найтоншому місці до випробування, м².

Для рулонних матеріалів міцність при розтягу оцінюють руйнівною силою, для бітумів визначають розтяжність у сантиметрах в момент розриву. Показники міцності деяких будівельних матеріалів наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Міцність деяких будівельних матеріалів

Матеріал	Межа міцності, МПа		
	при стиску	при згині	при розтягу
Бетон важкий	15,0...80,0	0,5...10,0	1,0...4,0
Вапняк щільної структури	10,0...150,0	7,0	0,5...4,0
Граніт	100,0...250,0	14,0	8,0
Плити деревноволокнисті	—	0,4...20,0	—
Склопластики	250,0...400,0	240,0...550,0	220,0...350,0

Матеріал	Межа міцності, МПа		
	при стиску	при згині	при розтягу
Основа вздовж волокон	30,0...65,0	60,0...120,0	70,0...130,0
Стекло	—	—	380,0...450,0
Цегла керамічна	7,5...30,0	1,5...5,0	0,8...3,0
Шлакоститали	500,0...600,0	90,0...120,0	25,0...35,0

Процеси руйнування матеріалів головним чином зводяться до поступового зростання деформацій, утворення тріщин і накопичення локальних дефектів.

Розрізняють крихке й пластичне руйнування матеріалів. Особливістю крихкого руйнування, що характерне для бетону, кераміки, скла, природних каменів та інших будівельних матеріалів, є те, що не відбувається помітної пластичної деформації. Механічні напруження, які при цьому виникають, не встигають релаксувати, тому тріщини, що утворюються в площині, перпендикулярній до дії напружень, швидко розвиваються. Міцність поділяють на короточасну, втомну і тривалу. До крихкого руйнування призводять циклічні навантаження (вібраційні, ударні тощо), за яких спостерігається втома матеріалів, пов'язана з накопиченням пошкоджень, виникненням мікро-, а потім і макротріщин. Крихкість матеріалів також підвищується в результаті зниження температури, збільшення швидкості деформування, наявності поверхнево-активного середовища.

Швидкість механічного руйнування навантаженого твердого тіла залежить від напружень, спричинених навантаженням і температурою.

Для багатьох матеріалів (металів, полімерних матеріалів, скла тощо) характерна така залежність міцності від часу:

$$t = A_0 \exp(-\alpha\sigma), \quad (1.8)$$

де t — час від моменту прикладання сталого механічного навантаження до руйнування зразка;

A_0, α — сталі коефіцієнти, що визначаються відповідно властивостями матеріалу й температурою;

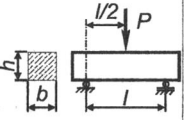
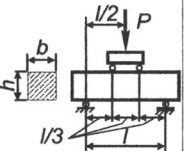
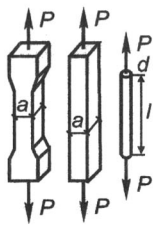
σ — напруження.

Поряд із загальною пористістю на міцність впливає і розмір пор. Крупніші пори більш різко знижують міцність, ніж дрібні. Численні дослідні дані підтверджують, що міцність дрібнозернистих матеріалів однакової пористості вища, ніж крупнозернистих.

У табл. 1.6 наведені схеми стандартних методів визначення межі міцності будівельних матеріалів при згині й розтягу.

Таблиця 1.6

Схеми стандартних методів визначення міцності на згин і розтяг

Матеріал	Зразок	Розміри стандартного зразка, см	Схема випробування	Розрахункова формула
Випробування на згин				
Цемент	Призма	$4 \times 4 \times 16$		$R_{зг} = \frac{3Pl}{2bh^2}$
Деревина		$2 \times 2 \times 30, l = 24$		
Цегла	Цегла в натуральному вигляді	$12 \times 6,5 \times 25, l = 20$		
Бетон	Призма	$15 \times 15 \times 60, l = 45$		$R_{зг} = \frac{Pl}{bh^2}$
Деревина		$2 \times 2 \times 30, l = 25$		
Випробування на розтяг				
Бетон	«Вісімка»	$10 \times 10 \times 80$		$R_p = \frac{P}{a^2}$
	Призма	$5 \times 5 \times 50$		$R_p = \frac{4P}{\pi d^2}$
Сталь	Стрижень	$d = 1, l = 5, l \geq 10d$		

Навчальне видання

*Лівінський Олександр Михайлович, Пшінько Олександр Миколайович,
Савицький Микола Васильович, Куліченко Іван Іванович,
Курок Олександр Іванович, Дорофєєв Віталій Степанович, Бендерський
Юхим Борисович, Новіченко Надія Володимирівна, Єсипенко Алла
Дмитрівна, Дудар Ігор Никифорович, Бондаренко Микола Іванович,
Хоменко Олександр Григорович, Потапова Тетяна Едуардівна.*

Будівельні матеріали та вироби

Підручник

Редактор О. О. Котова
Комп'ютерна верстка і дизайн О. М. Гончаренко

Формат 60 × 84 $\frac{1}{16}$ Ум. друк. арк. 38,25. Обл.-вид. арк. 39,02.

Тираж 500 пр. Зам. №6382.

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.
49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2
Свідцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003 р.

Видавництво ТОВ «Акцент ПП»
вул. Ларіонова, 145, м. Дніпропетровськ, 49052
тел. (056) 794-61-04(05)

*Свідцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4766 від 04.09.2014.*

Віддруковано в ТОВ «Акцент ПП»
вул. Ларіонова, 145, м. Дніпропетровськ, 49052
тел. (056) 794-61-04(05)

*Свідцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4766 від 04.09.2014.*