

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

О. В. КОНДРАЩЕНКО

БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО.
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

2-ге видання, перероблене та доповнене

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2026

УДК 691(075.8)

К64

Автор

Кондращенко Олена Володимирівна, доктор технічних наук, професор Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рецензенти:

Толмачов Сергій Миколайович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів ім. М. І. Волкова Харківського національного автомобільно-дорожнього університету;

Борзяк Ольга Сергіївна, доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту.

Рекомендовано до видання Вченою радою ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, протокол № 7 від 3 березня 2026 р.

Кондращенко О. В.

К64 Будівельне матеріалознавство. Лабораторний практикум : навч. посіб. / О. В. Кондращенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – 2-ге вид, перероб. та доп. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 106 с.

Друге видання посібника «Будівельне матеріалознавство. Лабораторний практикум» є переробленим і доповненим щодо змісту першого видання, яке вийшло у 2021 році (Будівельне матеріалознавство. Лабораторний практикум : навч. посібник / О. В. Кондращенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 100 с.). У навчальному посібнику надано основні методики оцінки якості та спеціальних властивостей будівельних матеріалів, що використовуються під час зведення, ремонту та реконструкції сучасних будівель і споруд. Наведені розрахунки з проектування складів важливіших композиційних будівельних матеріалів. Були додані методики оцінки механічних властивостей та систематизовано за розділами, відповідно до складу будівельних матеріалів.

Навчальний посібник призначено для здобувачів освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія, а також магістрів та аспірантів закладів вищої освіти будівельних спеціальностей.

УДК 691(075.8)

© О. В. Кондращенко, 2026

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ I Фізико-механічні властивості будівельних матеріалів.....	6
Лабораторна робота 1 Визначення основних фізичних властивостей будівельних матеріалів.....	7
Лабораторна робота 2 Визначення механічних властивостей будівельних матеріалів.....	13
Контрольні запитання.....	20
РОЗДІЛ II Природні кам'яні матеріали.....	21
Лабораторна робота 3 Визначення характеристик природних кам'яних будівельних матеріалів.....	21
Контрольні запитання.....	26
РОЗДІЛ III Керамічні матеріали та вироби.....	27
Лабораторна робота 4 Оцінка якості керамічних виробів.....	27
4.1 Оцінка якості керамічної цегли за зовнішніми ознаками.....	27
4.2 Визначення марки керамічної цегли за міцністю.....	29
4.3 Визначення якості керамічної плитки.....	31
Контрольні запитання.....	34
РОЗДІЛ IV Мінеральні в'язучі матеріали.....	35
Лабораторна робота 5 Визначення властивостей повітряних в'язучих.....	35
5.1 Оцінка якості повітряного вапна.....	35
5.2 Визначення властивостей будівельного гіпсу.....	38
Лабораторна робота 6 Визначення властивостей гідравлічних в'язучих.....	44
6.1 Визначення фізико-хімічних властивостей цементу.....	45
6.2 Визначення марки цементу за міцністю.....	48
Контрольні запитання.....	50
РОЗДІЛ V Бетони та будівельні розчини.....	51
Лабораторна робота 7 Оцінка якості дрібного заповнювача.....	55
Лабораторна робота 8 Випробування великого заповнювача.....	59
Лабораторна робота 9 Проектування складу важкого бетону.....	63

Лабораторна робота 10 Проектування складу та заміс ніздрюватого бетону.....	72
Лабораторна робота 11 Проектування складу та заміс складного будівельного розчину.....	78
Контрольні запитання.....	83
РОЗДІЛ VI Будівельні матеріали органічного походження.....	85
Лабораторна робота 12 Оцінка якості деревини.....	85
Контрольні запитання.....	92
Лабораторна робота 13 Випробування нафтового бітуму та покрівельних матеріалів на його основі.....	92
13.1 Визначення марки нафтового бітуму.....	93
13.2 Визначення технічних характеристик рулонних покрівельних матеріалів на основі бітуму.....	95
Контрольні запитання.....	98
Лабораторна робота 14 Лакофарбові будівельні матеріали.....	99
14.1 Оцінка властивостей пігментів.....	99
14.2 Оцінка якості лакофарбового покриття.....	101
Контрольні запитання.....	104
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	105

ВСТУП

Будівельне матеріалознавство – це наука, яка вивчає зв'язок між складом, структурою та властивостями будівельних матеріалів. Будівельні матеріали, незалежно від їхнього складу (неорганічні або органічні), природного або штучного походження, мають різноманітні властивості, які необхідні для їхнього застосування у виробках і конструкціях загально-будівельного та спеціального призначення. Розвиток теоретичних основ будівельного матеріалознавства безпосередньо пов'язаний із вивченням технічних характеристик будівельних матеріалів і оцінкою їхнього поведіння в різних умовах експлуатації, з установленням фізико-хімічних закономірностей отримання матеріалів із заданими властивостями й розкриття механізмів їхнього руйнування.

Отже, вивчення фундаментальних властивостей будівельних матеріалів і їхньої зміни в умовах експлуатації, встановлення взаємозв'язку «склад – структура – властивості – технологія» і прогнозування довговічності будівельних матеріалів різного призначення є найважливішою метою підготовки фахівців будівельного профілю.

Під час контролю якості матеріалів у процесі їхнього виробництва та експлуатації важливе значення має своєчасний та правильний лабораторний контроль властивостей як вихідних матеріалів, так і кінцевої продукції відповідно до нормативних документів.

У цьому навчальному посібнику надано перелік лабораторних робіт відповідно до навчальних програм підготовки фахівців-будівельників у межах спеціальності G 19 – Будівництво і цивільна інженерія. Лабораторний практикум підготовлено на основі методичних рекомендацій до лабораторних робіт минулих років, які були перероблені й доповнені автором.

Навчальний посібник містить методики з оцінки якості найпоширеніших видів будівельних матеріалів і продукції на їхній основі, опис необхідного обладнання та приладів для виконання відповідних досліджень, посилення на нормативну документацію. Також у кожному розділі наведені контрольні запитання для самостійної підготовки студентів до занять і захисту виконаних робіт.

РОЗДІЛ І

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Матеріальна база будівництва розвивається швидкими темпами, практично кожні декілька років з'являються нові види будівельних матеріалів, що пов'язано з все більш жорсткими умовами зведення будівель і споруд та середовищем їхньої експлуатації. Розширюється асортимент продукції для будівництва та архітектури з новими властивостями, щоб задовольняти потреби проектних рішень. До того ж навколишнє середовище стає все більш агресивним, що накладає більшу відповідальність до якості будівельних матеріалів та виробів на їхній основі.

Для того щоб легше було обґрунтовувати вибір матеріалів під кожний проєкт з урахуванням усіх особливостей їхнього використання за місцем призначення існує декілька видів класифікації матеріалів, які базуються на різних підходах. Але найпоширенішою і зручнішою є розширена класифікація, де враховані і походження матеріалів, і способи їхнього одержання, і їхній склад (табл. 1.1)

Таблиця 1.1 – Розширена класифікація будівельних матеріалів та виробів на їхній основі

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ				
ПРИРОДНІ		ШТУЧНІ		
		БЕЗВИПАЛЮВАЛЬНІ	ВИПАЛЮВАЛЬНІ	АВТОКЛАВНІ
неорганічні	органічні	неорганічні; органічні; комплексні	- кераміка; - скло; - розплави; - метали	- бетони; - азбестоцемент; - силікатна цегла

Залежно від групи з походження та області призначення до матеріалів висувають різні вимоги до їхньої якості, що можна оцінити через низку властивостей, що притаманні кожній групі цієї класифікації.

Властивості матеріалів оцінюють числовими показниками, які встановлюють шляхом випробувань за стандартними методиками. Відповідно до можливих впливів на матеріал властивості класифікують на такі:

- *параметри стану матеріалів* або їхні структурні характеристики (істинна,

середня, насипна густина, пористість, порожнистість);

– *фізичні властивості*, які визначають відношення матеріалів до фізичних процесів або впливів (водопоглинання, водостійкість, водопроникність, гігроскопічність, морозостійкість, теплопровідність, теплоємність, вогнестійкість, вогнетривкість тощо);

– *механічні властивості*, що визначають відношення матеріалів до деформаційної та руйнівної дії механічних навантажень (міцність при стиску, вигині, розтягу, твердість, стирання, пружність, опір удару, повзучість тощо);

– *технологічні властивості*, що визначають придатність матеріалів до різних видів обробки (різання, свердлення, стругання, розпилювання тощо);

– *спеціальні властивості*, що визначають відношення матеріалів до різноманітних специфічних впливів (хімічна, корозійна, біологічна стійкість, газопаропроникність, довговічність тощо).

Лабораторна робота 1

Визначення основних фізичних властивостей будівельних матеріалів

Параметри стану будівельних матеріалів

Густиною (ρ) називають масу одиниці об'єму матеріалу. Щоб визначити густину ρ (кг/м³; г/см³), потрібно знайти масу матеріалу m (кг; г) і його об'єм V (м³; см³):

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3. \quad (1.1)$$

Визначення істинної густини

Істинною густиною називають густину тієї речовини, з якої складається матеріал. Об'єм матеріалу визначають в абсолютно щільному стані, тобто без пор і порожнин V_a .

Для наближення матеріалу до абсолютно щільного стану його тонко подрібнюють, щоб можна було зробити припущення, що кожна часточка не має пор. Потім на технічних терезах зважують порцію (m_1) подрібненого матеріалу масою 70 г з похибкою не більше 0,01 г. Для визначення об'єму матеріалу застосовують прилад Ле-Шательє (рис. 1.1).

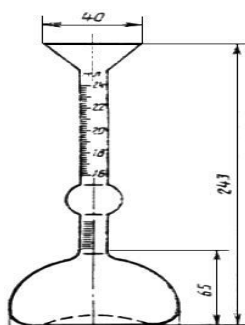


Рисунок 1.1 – Прилад Ле Шательє
(URL: <https://prom.ua/p1062265605-pribor-shatele-dlya.html>)

У прилад Ле Шательє наливають воду (або іншу інертну до матеріалу рідину) до нижньої позначки. Порошок засипають у прилад невеликими порціями так, щоб рівень рідини піднявся до верхньої позначки. Константою приладу є об'єм між верхньою та нижньою позначками, який дорівнює 20 см^3 . У такий спосіб визначають об'єм матеріалу, залишок порошку зважують (m_2).

Істинну густину матеріалу розраховують за формулою:

$$\rho = (m_1 - m_2) / V_a, \quad (1.2)$$

де m_1 – наважка, г; m_2 – маса залишку матеріалу, г; V_a – об'єм матеріалу, який дорівнює константі приладу Ле Шательє, см^3 .

Результати експерименту записують до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати визначення істинної густини

Найменування показників	Позначення	Значення
Назва матеріалу		
Наважка порошку, г	m_1	
Маса залишку порошку, г	m_2	
Маса порошку, який висипали в об'ємомір, г	$m = m_1 - m_2$	
Об'єм порошку за константою приладу, см^3	V_a	
Істинна густина матеріалу, $\text{г}/\text{см}^3$	$\rho = (m_1 - m_2) / V_a$	

Визначення середньої густини

Середньою густиною (ρ_o) матеріалу називають густину матеріалу в природному стані, тобто враховують пори й пустоти.

Метод визначення середньої густини залежить від геометричної форми зразка матеріалу. Зразки матеріалу *правильної герметичної форми* (куб, паралелепіпед, циліндр тощо) вимірюють і розраховують об'єм за відповідною формулою для певної геометричної фігури. Потім зразок матеріалу зважують із похибкою не більше 0,1 г (із масою до 500 г) і не більше 1 г (з масою понад 500 г). Результати дослідів заносять у таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати дослідів

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Назва матеріалу		
Геометричні розміри зразка, см	$a \times b \times h$	
Маса зразка, г	m	
Об'єм зразка, см ³	V	
Середня густина матеріалу, г/см ³	$\rho_o = m/V$	

Для зразків *неправильної геометричної форми* середню густина визначають за допомогою об'ємоміра (рис. 1.2).

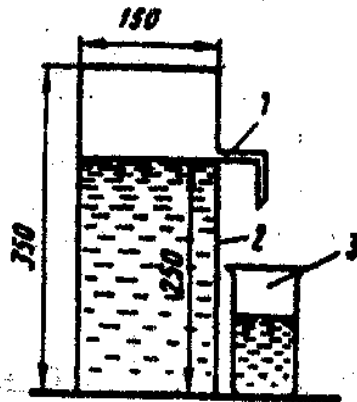


Рисунок 1.2 – Об'ємомір:

1 – зливна трубка; 2 – мірний посуд; 3 – склянка

(URL: <https://studfile.net/preview/5591920/page:2/>)

Об'ємомір використовують під час визначення середньої густини зразків масою понад 500 г. Зразок зважують (m_1), парафінують і знову зважують (m_2). В об'ємомір наливають воду до рівня зливної трубки. Під трубку ставлять зважену попередньо склянку (m_3). Зразок на нитці занурюють в об'ємомір. Склянку з

водою зважують (m_4). Маса води (г), витиснутої зразком ($m_4 - m_3$), дорівнює об'єму (см^3) зразка з парафіном ($V_o + n$), оскільки $\rho_{\text{води}} = 1 \text{ г/см}^3$. Об'єм парафіну визначають за формулою:

$$V_o = (m_2 - m_1) / \rho_n, \quad (1.3)$$

де ρ_n – довідкова густина парафіну дорівнює $0,98 \text{ г/см}^3$.

Середню густина матеріалу розраховують за формулою:

$$\rho_o = m_1 / V_o = m_1 / [(m_4 - m_3) / \rho_{\text{води}} - (m_2 - m_1) / \rho_n]. \quad (1.4)$$

Визначення насипної густини сипких матеріалів

Насипна густина – характеристика сипких матеріалів (цемент, пісок, щебінь), коли для розрахунків приймають увесь об'єм з урахуванням пустот між часточками сипкого матеріалу.

Насипну густина сипких матеріалів визначають за допомогою стандартного конуса (рис. 1.3).

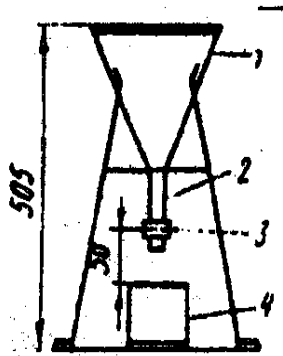


Рисунок 1.3 – Стандартний конус:

1 – корпус, 2 – трубка, 3 – засувка, 4 – мірний циліндр

(URL: <https://studfile.net/preview/5591920/page:3/>)

Стандартний порожній циліндр об'ємом 1 л зважують. Дрібнозернистий матеріал насипають у зважений порожній циліндр зі стандартного конуса, звільнивши отвір від засувки. Циліндр заповнюють із надлишком, який зрізають лінійкою та зважують. Насипну густина знаходять за формулою:

$$\rho_{\text{нас}} = (m_2 - m_1) / V, \quad (1.5)$$

де m_1 – маса порожнього циліндра, г, m_2 – маса циліндра з матеріалом, г; V – об'єм циліндра, см^3 .

Результати експерименту заносять до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Результати експерименту

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Назва матеріалу		
Об'єм циліндра, см ³	V	
Маса циліндра без матеріалу, г	m_1	
Маса циліндра з матеріалом, г	m_2	
Маса матеріалу, г	$m = m_1 - m_2$	
Середня насипна густина матеріалу, г/см ³	$\rho_{нас} = (m_1 - m_2)/V$	

Визначення пористості

Пористість – ступінь заповнення об'єму матеріалу порами.

Для розрахунку величини пористості результати попередніх експериментів заносять до таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Дані для визначення пористості

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Назва матеріалу		
Істинна густина матеріалу, г/см ³	ρ	
Середня густина матеріалу, г/см ³	ρ_o	
Пористість, %	Π	

Визначення пористості проводять за формулою:

$$\Pi = (\rho - \rho_o)/\rho. \quad (1.6)$$

Визначення порожнистості сипкого матеріалу

Порожнистість – частина об'єму, що знаходиться між зернами сипкого матеріалу.

Вихідні дані для визначення порожнистості беруть з таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Дані для визначення порожнистості

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Назва матеріалу		
Істинна густина матеріалу, г/см ³	ρ	
Середня насипна густина сипкого матеріалу, г/см ³	ρ_o	
Порожнистість, %	P_c	

Порожнистість визначають за формулою:

$$P = [(\rho - \rho_n)/\rho] \cdot 100 \% \quad (1.7)$$

Визначення водопоглинання будівельних матеріалів

Водопоглинання – здатність матеріалу поглинати воду й утримувати її у своїх порах у разі безпосереднього контакту з водою.

Водопоглинання за масою (*вологість матеріалу*), що характеризується кількістю всмоктаної матеріалом води відносно маси сухого зразка визначають за формулою:

$$W_m = [(m_{нас} - m_{сух})/m_{сух}] \cdot 100 \%, \quad (1.8)$$

де $m_{нас}, m_{сух}$ – маса матеріалу відповідно у насиченому водою та сухому стані, г.

Водопоглинання за об'ємом показує кількість всмоктаної матеріалом води відносно його об'єму, що характеризує *відкриту пористість матеріалу*. Визначають цю властивість за формулою:

$$W_v^n = [(m_{нас} - m_{сух}) / V \cdot \rho_{води}] 100, \quad (1.9)$$

де $m_{нас}, m_{сух}$ – маса матеріалу відповідно у насиченому водою та сухому стані, г; V – об'єм матеріалу у сухому стані, см³; $\rho_{води}$ – густина води, г/см³.

Випробування проводять на двох або трьох зразках. Зразки висушують до постійної маси та записують масу сухого зразка. Потім їх занурюють у воду так, щоб над ними був шар води не менше 2 см і не більше 10 см, і витримують деякий час, рекомендований стандартами. Після насичення зразки виймають із води, витирають і зважують. Результати експериментів заносять до таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Результати експерименту для визначення водопоглинання

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Назва матеріалу		
Об'єм зразка, см ³	V	
Маса сухого зразка, г	m_1	
Маса зразка насиченого водою, г	m_2	
Вологість, %	W	
Водопоглинання за масою, %	W_m	
Водопоглинання за об'ємом, %	W_v	

Дані таблиці 1.6 аналізують і роблять висновки.

Лабораторна робота 2

Визначення механічних властивостей будівельних матеріалів

Група механічних властивостей будівельних матеріалів характеризують їхню здатність опиратися впливу зовнішніх механічних сил і показують їхню міцність.

Одною з механічних властивостей, яка дає можливість зробити загальний прогноз міцнісних показників матеріалів, є твердість. Цей показник визначають шляхом втискання у зразок іншого більш твердого матеріалу. Отже, твердість характеризує здатність матеріалу пручатися пластичній деформації на поверхні зразка без його руйнування.

Випробування на твердість виконуються швидко і не вимагають складних зразків, тому подібні випробування широко застосовуються на практиці.

На сьогодні є безліч традиційних методів для перевірки твердості матеріалу. Вони містять тести, наприклад, на подряпини (це частіше для природних кам'яних матеріалів) або тестування поверхонь матеріалів алмазами (частіше для металів). Але в епоху глобальної індустріалізації і цифровізації застосовують більш ефективні і досконалі методи і пристрої для випробування матеріалів.

Один з найпростіших і надійних методів визначення твердості матеріалів є метод вдавнення індентора певної геометрії і властивостей на випробовуваний матеріал протягом певного часу. Вимірювання проводять або за глибиною проникнення, або за розмірами отриманого відбитка під час вдавнення (методи Брінеля, Вікерса або Роквела).

Наприклад, твердомір за Брінелем становить пристрій для випробування матеріалів, у якому використовується дуже високе постійне навантаження, яке складає від 500 кгс до 3000 кгс. Натиснення на поверхню матеріалу за допомогою полірованої загартованої сталеві кульки (діаметром 5 або 10 мм) триває протягом 10–30 секунд (рис. 2.1).

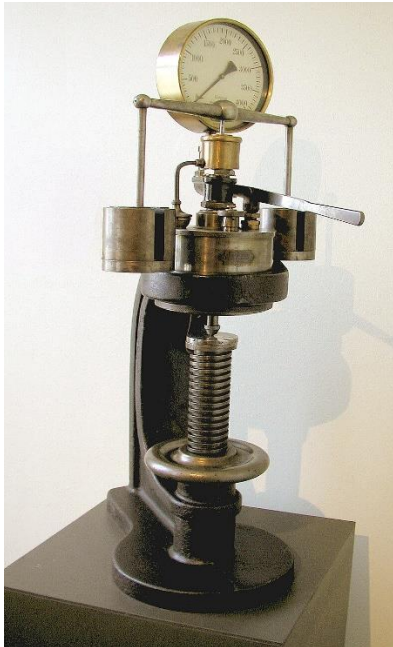


Рисунок 2.1 – Схема випробування твердості методом Брінелля
(URL:https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Brinell_machine.jpg)

Після зняття навантаження вимірюють діаметр утвореного відбитка, а потім обчислюють число твердості як відношення прикладеного навантаження до площі поверхні відбитка за формулою:

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.1)$$

де P – навантаження, що діє на кульку, D – діаметр кульки, d – діаметр відбитка.

Одержаний результат, наприклад, 250 НВ 5/750/25 – вказує, що твердість 250 отримана за допомогою кульки діаметром 5 мм під навантаженням 750 кгс протягом 25 секунд.

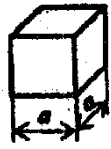
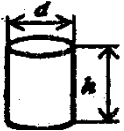
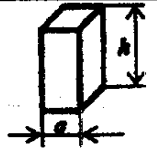
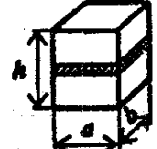

При визначенні твердості за методом Брінелля, на відміну від методу Роквелла, вимірювання проводять до пружного відновлення матеріалу. Індентор

вдавлюють у поверхню випробовуваного зразка (завтовшки не менше 4 мм) з регламентованим зусиллям.

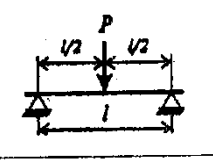
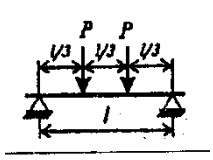
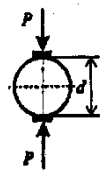
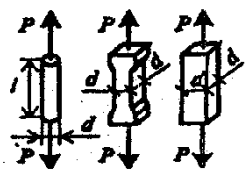
Міцність матеріалів характеризується межею міцності.

Межа міцності – максимальне напруження, що виникає в матеріалі й передує його руйнуванню. Межа міцності визначається дослідами на зразках встановлених розмірів і форми (табл. 2.1, 2.2). Межу міцності матеріалу визначають на серіях зразків, не менше трьох. Остаточним результатом вважають середнє арифметичне тільки тих показників, що відрізняються один від одного не більше ніж на 15 %.

Таблиця 2.1 – Схеми стандартних методів визначення міцності під час стискання

Зразок	Ескіз	Розрахункова формула	Матеріал	Розмір зразка, см
Куб		$R = \frac{P}{S}$	Бетон, розчин, природний камінь	10 × 10 × 10 15 × 15 × 15 20 × 20 × 20 7,07 × 7,07 × 7,07 5 × 5 × 5
Циліндр		$R = \frac{P}{S}$	Бетон, природний камінь	d = 15; h = 30; d = h = 5; 7; 10; 15
Призма		$R = \frac{P}{S}$	Бетон, деревина	a = 10; 15; 20 h = 40; 60; 80 a = 2; h = 3
Складений зразок		$R = \frac{P}{S}$	Цегла	a = 12 b = 12,5; h = 14
Половинки призми		$R = \frac{P}{S}$	Цемент	a = 4 S = 25 см ²

Таблиця 2.2 – Схеми стандартних методів визначення міцності у разі вигинання й розтягу

Різнovid зразка	Ескіз	Розрахункова формула	Матеріал	Розмір стандартного зразка, см
Випробування на вигин				
Призма, цегла		$R_{виг} = \frac{3Pl}{2bh^2}$	Цемент	$4 \times 4 \times 16$
			Цегла	$12 \times 6,5 \times 25$
Призма		$R_{виг} = \frac{Pl}{bh^2}$	Бетон	$15 \times 15 \times 15$
			Деревина	$2 \times 2 \times 30$
Випробування на розтягування				
Циліндр		$R_p = \frac{2P}{\pi d \ell}$	Бетон	$d = 15$
Стрижень, вісімка, призма		$R_p = \frac{4P}{\pi d^2}$ $R_p = \frac{P}{a^2}$	Бетон	$5 \times 5 \times 50$ $10 \times 10 \times 80$
			Сталь	$d = l$ $l = 5; l > 10d$

Визначення межі міцності під час стискання

Під час випробувань використовують гідравлічні преси з максимальним зусиллям 10 т; 100 т. Граничне навантаження знімають за показаннями фіксувальної стрілки манометра. Руйнівне зусилля визначають за тарувальними таблицями, що додаються до преса. Межу міцності під час стискання розраховують за формулою:

$$R = \frac{P}{S}, \quad (2.2)$$

де P – руйнівне зусилля, кг; S – площа зразка, см².

Результати експерименту заносять до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати експерименту для визначення межі міцності під час стискання

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Розміри зразка, см: – довжина – ширина – діаметр – висота	l	
	b	
	d	
	h	
Площа перерізу, см ²	S	
Руйнівна сила, Н (кг)	P	
Межа міцності під час стискання, кг/см ² ; МПа	$R = \frac{P}{S}$	

Визначення межі міцності під час вигинання

Під час випробувань на вигинання використовують преси малої потужності зі спеціальними пристроями для встановлення зразків і передавання навантаження або автоматичну машину МВВ–100. Під час використання машини МВВ–100 значення межі міцності встановлюють за лічильником без додаткових розрахунків. Результат випробування фіксують у одиницях виміру напруження – кгс/см² (1 кгс/см² = 0,1 МПа). Розрахунок межі міцності при вигині виконують за формулою:

$$R_{\text{виг}} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (2.3)$$

де P – руйнівне зусилля, кг; l – відстань між опорами, см; b, h – ширина й товщина зразка, см.

Результати експерименту заносять у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати визначення межі міцності під час вигину

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Назва матеріалу		
Розміри зразка, см: – ширина – висота	b	
	h	
Відстань між опорами, см	l	
Руйнівна сила, Н (кг)	P	
Межа міцності під час вигинання, МПа	$R_{\text{виг}}$	

Визначення величини опору удару

Опір удару – властивість матеріалу опиратися руйнуванню під дією одно- або багатократно миттєво прикладених механічних зусиль. Міцність матеріалу характеризується роботою удару, що руйнує матеріал, або питомою роботою вантажу $A_{уд}$, що припадає на одиницю об'єму, і визначається за формулою:

$$A_{уд} = \frac{m(1 + 2 + 3... + n)}{V} \cdot 10^3 \text{ (Дж/м}^3\text{)}, \quad (2.4)$$

де m – маса вантажу копра, кг; n – кількість ударів до руйнування; V – об'єм зразка, см^3 .

На удар випробують зразки-циліндри діаметром і висотою 25 мм. Випробування проводять на копрі. Маса вантажу копра становить 2 кг. Удари наносять у центр верхньої площини зразка: перший – з висоти 1 см, другий – 2 см, третій – 3 см і далі до руйнування зразка. Показником опору є порядковий номер удару, що передує руйнуванню. Результати експерименту заносять до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати експерименту для визначення опору удару

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Назва матеріалу		
Розміри зразка, см:	– діаметр	d
	– висота	h
Об'єм зразка, см^3	V	
Кількість ударів	n	
Робота, Дж/м^3	A	

Визначення величини опору стиранню

Стирання показує стійкість матеріалу до абразивного зношування та оцінюється втратами маси матеріалу, віднесеними до одиниці його площі, або зменшенням товщини зразка.

Кам'яні матеріали (бетон, розчини, природний камінь, керамічну плитку) випробують на колах стирання з використанням абразивних порошків (наприклад, пісок або корундова крихта). Для випробувань підготовляють два зразки-куби з довжиною ребра 70 мм. Їх зважують із похибкою не більше 0,1 г і визначають

площу, яка буде піддана стиранню. Цикл випробування становить 560 обертів. Величину стирання матеріалу за масою знаходять за формулою:

$$Cm_m = (m - m_1)/S, \quad (2.5)$$

де m – маса зразка до стирання, г; m_1 – маса зразка після стирання, г; S – площа стирання, см².

Стирання за об'ємом визначають за формулою:

$$Cm_o = (m - m_1)/S \cdot \rho_o, \quad (2.6)$$

де m – маса зразка до стирання, г; m_1 – маса зразка після стирання, г; S – площа стирання, см²; ρ_o – густина матеріалу, г/см³.

Результати експерименту заносять до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати експерименту для визначення стирання

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Назва матеріалу		
Площа зразка, см ²	S	
Маса зразка до стирання, г	m	
Маса зразка після стирання, г	m_1	
Стирання за масою, г/см ²	Cm_m	
Стирання за об'ємом, см	Cm_o	

Під час вибору матеріалів для виготовлення виробів або конструкцій залежно до проекту, показники міцності є особливо важливими. Тому з наведених методик потрібно виділити блоки властивостей для оцінки марочної міцності. Це границя міцності під час стиску у кореляції з границею міцності під час вигину і також поєднання опірності таких достатньо специфічних навантажень, як стирання та удар. Останні можуть бути задіяні у комплексі з марочною міцністю матеріалу.

Контрольні запитання

1. У чому полягає відмінність істинної та середньої густини?
2. На які властивості впливає пористість?
3. Що визначає твердість матеріалів і як цей показник характеризує інші механічні властивості?
4. Від чого залежить міцність матеріалів і як її визначають?
5. Як оцінити марку будівельного матеріалу за міцністю?
6. Що показує механічний знос матеріалів і як цей показник використовують?
7. Як визначають марку матеріалів за міцністю?
8. Наведіть методику визначення насипної густини. Де цей показник використовують?
9. Як розраховують вологість будівельних матеріалів?
10. Навіщо потрібно знати твердість будівельних матеріалів?

РОЗДІЛ II ПРИРОДНІ КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ

Лабораторна робота 3

Визначення характеристик природних кам'яних будівельних матеріалів

У будівництві до природних кам'яних матеріалів належать матеріали й вироби, які одержують механічною обробкою (подрібненням, розколюванням, розпиленням тощо) гірських порід, не змінюючи їхньої природної структури та властивостей.

Гірською породою називають мінеральну масу, яка складається з одного або декількох мінералів.

Мінерал – речовина, утворена внаслідок фізико-хімічних процесів у земній корі; характеризується певним хімічним складом, однорідною будовою та фізичними властивостями.

Для вивчення гірських порід їх розподіляють на окремі групи. Найпоширенішою є класифікація гірських порід за походженням, або генетична, відповідно до якої вони поділяються на магматичні, осадові та метаморфічні (рис. 3.1).

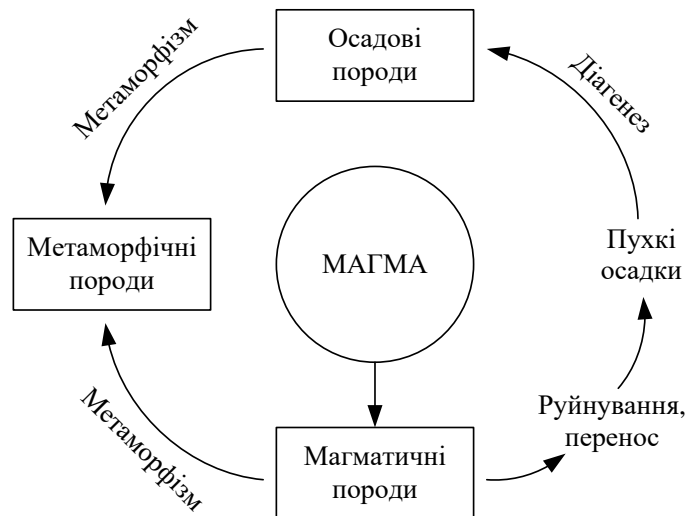


Рисунок 3. 1 – Генетична класифікація гірських порід

(URL: <https://vue.gov.ua/%D0%93%D1%96%D1%80%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8#:~:text=>)

Зі свого боку, магматичні розрізняють на глибинні (інтрузивні) та вилівні (ефузивні). Осадові породи бувають механічного, хімічного та органогенного

походження. Метаморфічні породи утворилися шляхом структурного змінення або магматичних або осадових порід під дією природних факторів, таких як тиск, сонячна радіація, температура тощо.

Мета роботи – ознайомитися з колекцією гірських порід, описати фізико-технічні характеристики та вказати можливі сфери використання їх в архітектурі й будівництві.

Для виконання роботи необхідно самостійно або за допомогою викладача вибрати три зразки гірських порід, бажано різного генетичного походження, і зробити опис їхніх зовнішніх ознак та властивостей, які можна знайти у підручниках або довідниках та у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика головних гірських порід

Гірська порода	Середня густина, кг/м ³	Границя міцності під час стиску, МПа	Структура, текстура	Колір	Застосування
1	2	3	4	5	6
Вивержені породи					
Граніт	2 600...2 800	100...250	Дрібно-, середньо-, великозерниста, порфірова	Сірувато-білий, темно-сірий, червонуватий, сіро-зелений, синьо-зелений	Зовнішнє і внутрішнє облицювання, мостовий камінь, тротуарні плити, щебінь, сходи
Сієніт	2 600...2 800	150...220	Зазвичай середньозерниста, рідше дрібнозерниста	Сірий, сіро-зеленуватий, червонуватий, червоний	Зовнішнє облицювання, мостовий камінь
Діорит	2 800...3 000	150...300	Середньозерниста, дрібнозерниста, рідше – великозерниста	Темно-сірий з зеленим відтінком	Облицювальний камінь, дорожнє будівництво
Габро	2 900...3 200	200...400	Середньозерниста, дрібнозерниста, рідше – великозерниста	Темно-сірий до чорного	Зовнішнє облицювання, дорожні покриття, гідротехнічні споруди
Лабрадорит	2 900...3 100	130...250	Великозерниста	Чорний з переливами синього	Зовнішнє і внутрішнє облицювання, сходи і площадки, підлоги
Андезит	2 200...2 700	60...240	Щільна, пориста з украленнями	Сірий, бурий, чорний	Кислототривкі виробни, щебінь
Діабаз	2 700...2 900	200...400	Приховано кристалічна, дрібнокристалічна	Сірий, зеленувато-сірий, зелений	Гідротехнічні споруди, кислото-тривкі та жаростійкі облицювання і кладка, дорожнє будівництво

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Базальт	2 800...3 300	100...500	Приховано кристалічна, дрібнокристалічна, склоподібна	Темно-сірий до чорного	Зовнішнє облицювання, зовнішні сходи і площадки, дорожні покриття, гідротехнічні споруди, кислото-тривкі та жаростійкі облицювання і кладка, плавлені вироби
Вулканічний туф	700...1 400	5...15	Склоподібна	Сірий, рожевий до фіолетового, коричневий, чорний	Укладання стін, зовнішнє і внутрішнє облицювання, заповнювач для легких бетонів, активна мінеральна добавка
Перліт	920...2 400	25...100	Склоподібна	Сірий, сірувато-блакитний	Виготовлення пористих заповнювачів
Осадіві породи					
Пісковик	1 900...2 800	100...250	Дрібно- й тонкозерниста	Білий, жовтий, сірий, буруватий	Укладання фундаментів, стін, зовнішнє облицювання, виготовлення буту, щебеню, дорожні покриття, гідротехнічні споруди, кислотривкі вироби
Доломіт	2 500...2 900	100...150	Приховано кристалічна	Жовтувато-білий, буруватий	Виробництво в'язучих речовин, вогнетривів, теплоізоляційних виробів, скла, буту, щебеню
Магнезит	2 900...3 000	120...200	Приховано кристалічна	Світло-сірий	Виготовлення каустичного магнезиту, вогнетривких виробів
Вапняк-черепашник	800...1 800	0,4...15,0	Пориста	Білий, сірий, жовтуватий	Внутрішнє облицювання, укладання стін, заповнювач для легкого бетону, виготовлення вапна, портландцементу

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Вапняк щільний	1 800...2 600	10...150	Щільна безладно зерниста	Білий, сірий до чорного, жовтуватий, бурий	Виготовлення портландцементу, вапна, щебеню, внутрішнє облицювання
Гіпс	2 000...2 200	20...30	Зернисто-кристалічна	Білий, жовтий, сірий	Виготовлення в'язучих речовин, внутрішнє облицювання, скульптурні роботи
Ангідрит	2 800...2 900	60...80	Зернисто-кристалічна	Блакитно-білий, сірий	Виготовлення в'язучих речовин, внутрішнє облицювання
Діатоміт	400...1 200	2...5	Аморфна	Білий, жовтуватий	Активна мінеральна добавка, виготовлення теплоізоляційних виробів, легкої цегли
Трепел	350...800	2...3	Аморфна	Білий, сірий	Активна мінеральна добавка, виготовлення теплоізоляційних виробів, легкої цегли
Метаморфічні породи					
Гнейс	2 400...2 700	60...250	Сланцювата	Сірий до червонуватого	Укладання фундаментів, бутова кладка, мостіння доріг
Глинистий сланець	2 600...2 700	50...240	Тонко-сланцювата	Сірий до чорного	Влаштування покрівлі, виготовлення пористих заповнювачів для бетону
Мармур	2 600...2 800	50...300	Дрібно-, середньо-, великозерниста, щільна	Білий, сірий, жовтуватий, блідо-рожевий, червоний, бурий, зеленуватий, чорний	Внутрішнє облицювання, виготовлення монументів, декоративно-художніх виробів, заповнювач для декоративних бетонів
Кварцит	2 650...3 000	100...500	Дрібнозерниста, щільна	Білий, жовтий, сірий, від рожевого до темно-вишневого	Зовнішнє облицювання, під фермове каміння, виготовлення вогнетривких виробів, бутовий камінь, щебінь

Сфери застосування гірських порід у будівництві та архітектурі наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Сфери застосування гірських порід

Сфери застосування	Різновид матеріалів та виробів	Гірські породи, які рекомендуються
Укладання стін	Каміння та блоки	Пористі вапняки, опоки, вулканічні туфи, у яких середня густина не більше 2 100 кг/м ³ ; коефіцієнт розм'якшення не менше 0,6
Зовнішнє облицювання	Каміння та плити, архітектурно-будівельні вироби	Граніти, сієніти, габро, щільні вапняки
Внутрішнє облицювання	Каміння та плити, архітектурно-будівельні вироби	Мармури, пористі вапняки (травертин, черепашник), вулканічні туфи
Покриття підлоги	Поліровані або шліфовані плити	Граніт, сієніт, лабрадорит, мармур
Дорожнє будівництво	Бордюрний камінь, камінь для брукування (брущатка, шашка), тротуарні плити	Граніт, діорит, габро, базальт
Гідротехнічні споруди	Каміння колоте й пиляне, щебінь, гравій	Граніти, сієніти, діабази
Футерування апаратів та установок, які зазнають дії кислот, лугів, солей, агресивних газів	Тесані плити, цегла, бруски, фасонні вироби потрібної форми, щебінь	Для захисту від дії кислот: граніт, сієніт, базальт, андезит, кварцит, а від дії лугів: щільні вапняки, доломіти, магнезити, мармури. Для жаростійких облицювань: базальт, діабаз, вулканічні туфи
Заповнювачі для важких бетонів та розчинів	Щебінь, гравій, пісок	Граніт, сієніт, діорит, базальт, кварцит, щільні вапняки, кварц
Заповнювачі для легких бетонів	Щебінь, пісок	Пористі вапняки, опоки, вулканічні туфи, пемза
Сировина для виробництва виробів і матеріалів	Скло, кераміка, мінеральні в'язучі	Глинисті породи, діатоміти, трепел, пісок, вапняки, гіпс, магнезит, доломіт

Усі дані про гірську породу потрібно занести до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Опис зовнішніх ознак і властивостей гірських порід

Найменування показника	Назва гірської породи		
	2	3	4
1			
Класифікація за генетичним принципом			
Мінералогічний або хімічний склад			
Колір (світлі або темні)			

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
Структура (кристалічна, порфірова, скловидна, зерниста тощо)			
Блиск (скляний, перламутровий, жирний, матовий тощо)			
Твердість (за шкалою Мооса)			
Текстура (щільна, сланцева, шарувата, волокниста, пориста, ніздрювата, тощо)			
Середня густина, кг/м ³			
Пористість, %			
Межа міцності, МПа			
Сфери застосування в архітектурі або будівництві			

Завершення опису повинне мати рекомендацію про застосування цих гірських порід у будівництві та архітектурі. Або вказати, сировиною до виготовлення яких штучних матеріалів ці породи можуть бути використані.

Контрольні запитання

1. Що називають гірською породою, а що мінералом? Навести приклади.
2. Наведіть генетичну класифікацію гірських порід.
3. Навести класифікацію та приклади магматичних гірських порід?
4. Навести сфери застосування інтрузивних та ефузивних гірських порід?
5. Навести класифікацію осадових порід та сфери їхнього застосування?
6. Навести основні властивості гірських порід?
7. У який спосіб захищають вироби й деталі з гірських порід від руйнування?

РОЗДІЛ ІІІ КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

Лабораторна робота 4 Оцінка якості керамічних виробів

Керамічними матеріалами називають такі, які одержують із глиняних мас шляхом формування, сушіння та випалювання.

Істинна густина керамічних матеріалів дорівнює 2,5–2,7 г/см³; середня густина – 2 000–2 300 кг/м³; теплопровідність абсолютно щільного черепка становить 1,16 Вт/м · °С. Межа міцності під час стиску керамічних виробів коливається в інтервалі від 0,05 МПа до 1 000 МПа. Водопоглинання залежно від пористості змінюється від 0 % до 70 %. Керамічні матеріали мають марки з морозостійкості 10; 25; 35; 50; 75 й 100.

За призначенням вироби з кераміки поділяють на такі:

- стінові вироби (цегла керамічна звичайна, цегла пустотіла, пористо-пустотіла, легка, великорозмірні блоки та панелі із цегли й керамічних каменів);
- оздоблювальні вироби (для зовнішнього й внутрішнього облицювання конструкцій будинків і споруд, а також підвищення їхньої довговічності);
- керамічні вироби для покрівлі (черепиця) й перекриттів;
- сантехнічні вироби;
- теплоізоляційні матеріали (керамзит, аглопорит тощо);
- вогнетриви;
- кислотостійка кераміка;
- труби.

4.1 Оцінка якості керамічної цегли за зовнішніми ознаками

Мета роботи – визначити відповідність звичайної глиняної цегли за зовнішнім виглядом вимогам стандартів і встановити марку цегли за міцністю.

Для проведення випробувань керамічної цегли та керамічних каменів зразки відбирають методом випадкового відбору з різних місць партії у кількості:

- для партії 10 000–35 000 шт. – 80;
- для партії більше 35 000 шт. – 125.

Для проведення певних випробувань кількість зразків, які потрібно вибрати з проби, становить, шт.:

- розміри та правильність форми – 24;

- присутність вапняних включень – 5;
- маса, густина, водопоглинання – 3;
- морозостійкість – 5 (за втратою маси);
 - 20 (за втратою міцності);
- межа міцності під час стиску – 10;
 - під час вигинання – 5.

Визначення якості цегли за зовнішніми ознаками

Розміри виробів, геометричні параметри пустот і розміри дефектів визначають із похибкою 1 мм за допомогою металічної лінійки. Номінальні розміри цегли та назви її граней показані на рисунку 4.1.

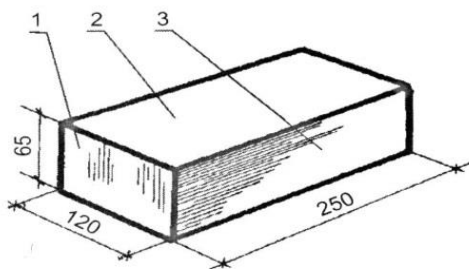


Рисунок 4.1 – Номінальні розміри та грані керамічної цегли:

1 – поперечник; 2 – постіль; 3 – довжик
(URL: <https://studfile.net/preview/2552499/>)

Граничні відхилення від номінальних розмірів (мм) не повинні перевищувати:

- за довжиною – ± 5 ;
- за шириною – ± 4 ;
- за товщиною: для цегли – ± 3 ; для каменів – ± 4 .

На виробках не повинно бути дефектів зовнішнього вигляду, розміри й кількість яких перевищують вказані у ДСТУ Б В.2.7–61:2008.

Результати вимірів заносять до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Показники зовнішнього вигляду цегли

Найменування показників	Вимоги за ДСТУ	Результати вимірювання
1	2	3
Відхили від розмірів, мм:		
– за довжиною	5	
– за шириною	4	
– за товщиною	3	

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
Відбитість кутів завглибшки 10–15 мм	2 шт.	
Ступінь випалу	норма	
Кривизна ребер цегли, мм, не більше: – по постілі – по ложку	3 4	
Відбитість і затупленість ребер завширшки більше 5 мм, завдовжки по ребру 10–15 мм	2 шт.	
Наскрізні тріщини, завдовжки до 30 мм	1 шт.	
Вапнякові включення	немає	

4.2 Визначення марки керамічної цегли за міцністю

Марку цегли й каменів за міцністю встановлюють за результатами їхніх випробувань на міцність під час стиску й вигинання (ДСТУ Б В.2.7-248:2011).

Межу міцності при стиску цегли визначають на зразках із двох цілих цеглин або з двох половинок. Цеглу розпилюють на половинки, які кладуть одна на одну поверхнями розтину в протилежні сторони, скріплюють цементним розчином, а їх опірні поверхні вирівнюють розчином такого складу: цемент марки не нижче 400 – 1 мас. ч.; пісок крупністю не більше 1,25 мм – 1 мас. ч.; В/Ц – 0,40. Зразки вимірюють із похибкою до 1 мм для розрахунку їхньої площі перерізу.

Для проведення випробувань використовують прес із максимальним зусиллям 1 000 кН (100 т). Схему випробування наведено на рисунку 4.2.

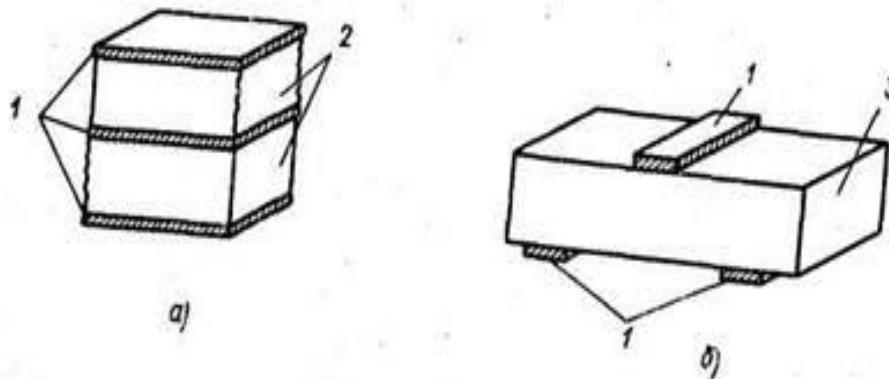


Рисунок 4.2 – Схема випробування керамічної цегли на міцність:
а – випробування під час стиску; б – випробування під час вигинання

(URL: <https://studfile.net/preview/5353001/page:8/>)

Межу міцності під час стиску R (МПа) зразка знаходять за формулою:

$$R = \frac{P}{S}, \quad (4.1)$$

де P – максимальне навантаження, кг; S – площа перерізу зразка, см^2 .

Дані випробувань заносять до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати випробувань цегли під час стискання

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Розміри зразка, см: – довжина – ширина	l	
	b	
Площа перерізу, см^2	S	
Руйнівна сила, Н (кг)	P	
Межа міцності під час стиску, $\text{кг}/\text{см}^2$ (МПа)	R	

Межу міцності під час вигинання визначають за схемою балки, що вільно лежить на двох опорах і до якої в середині прольоту прикладається навантаження. Відстань між опорами прийнята за 20 см. Згідно з цим на грані цегли наносять із цементного розчину три смужки завширшки 2–3 см кожна: одну – посередині верхньої грані, дві – по краях протилежної грані на відстані 20 см.

Перед випробуванням вимірюють ширину й товщину цегли в середині прольоту. Випробування проводять на 5-тонному гідравлічному пресі.

Межу міцності під час вигинання розраховують за формулою:

$$R_{\text{виг}} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad [\text{кг}/\text{см}^2; \text{МПа}], \quad (4.2)$$

де P – руйнівне навантаження, кг; l – довжина прольоту між опорами, см; b – ширина цегли, см; h – висота (товщина) цегли, см.

Результати випробувань заносять до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати випробувань цегли під час вигинання

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Розміри зразка, см: – ширина – висота	b	
	h	
Відстань між опорами, см;	l	
Руйнівна сила, кг	P	
Межа міцності під час вигинання, $\text{кг}/\text{см}^2$ (МПа)	$R_{\text{виг}}$	

Марку встановлюють за середнім значенням показників міцності з урахуванням мінімального значення.

4.3 Визначення якості керамічної плитки

Керамічні плитки, які випускаються промисловістю для внутрішнього оздоблення приміщень, класифікують за такими ознаками.

За призначенням: плитка для облицювання стін; плитка для підлоги.

За характером лицьової поверхні: гладкі; рельєфні.

За способом декорування: одноколірні; багатобарвні; з малюнком, що повторюється; з малюнком, що не повторюється.

За характером глазури: блискучі; матові; прозорі; заглушені.

За формою: квадратна; прямокутна; фігурна; фасонні деталі (куточки, карнизні плитки, плінтусні плитки).

Плитки повинні виготовлятися відповідно до вимог ДСТУ EN 14411:2019 і за технологічним регламентом підприємства-виготовлювача.

Зовнішній вигляд виробу та стан його поверхні визначають із відстані від 1 м до 2 м. На лицьовій поверхні плиток не допускаються видимі з відстані 1 м щербини, пліщини, мушки, пухирці, плями, а з відстані 2 м – хвилястість поверхні, нерівномірність забарвлення поливою, нечіткість контуру малюнка, розрив декору, зміщення декору, недопал фарби.

Глазур або полива може бути блискучою або матовою, прозорою або заглушеною. Колір, відтінок кольору, малюнок і рельєф лицьової поверхні плиток повинні відповідати зразкам-еталонам, які затверджуються в обов'язковому порядку. Для плиток із неповторним малюнком (мармуроподібні тощо) затверджується тільки еталон кольору, малюнок не еталонується.

Монтажна поверхня плитки повинна бути рифленою з висотою рельєфу не менше 0,3 мм для надійного зчеплення плиток з розчином.

На лицьовій поверхні плиток тріщини не допускаються. Для плиток першого та другого сортів на лицьовій поверхні допустимі деякі види дефектів (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Допустимі дефекти керамічної плитки

Вид дефекту	Норма для плиток розмірами, мм		
	50	Вище 50 до 200 включно	Вище 200
Відбитість кутів не більше: – загальна площа, мм; – кількість, шт.	4	10	15
	1	2	2
Відбитість ребер, мм, не більше: – ширина; – загальна довжина	1	2	3
	3	15	20
Посічка загальною довжиною, мм, не більше	2	25	30

Наочно види дефектів керамічної плитки подано на рисунку 4.4.

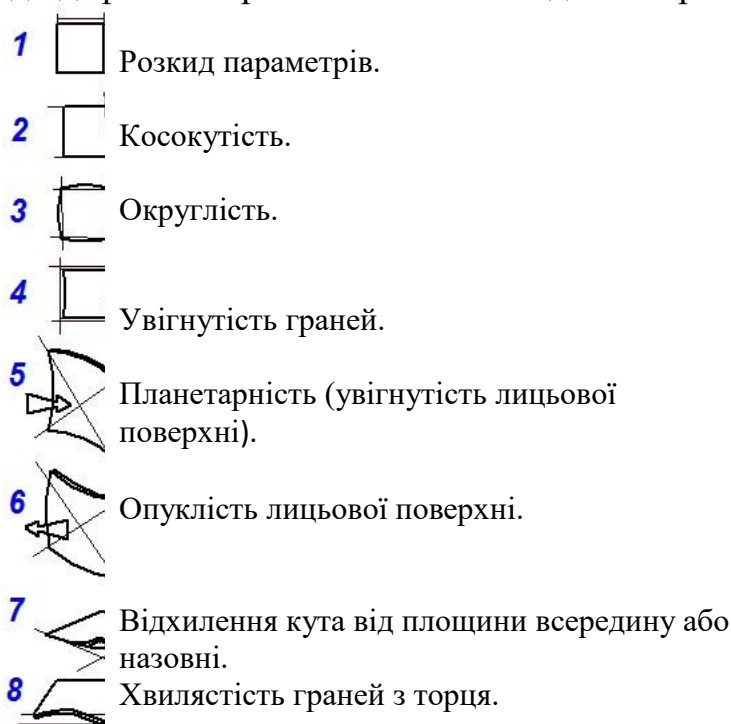


Рисунок 4.4 – Наявність дефектів керамічних плиток

(URL: <https://house-mix.com.ua/shho-potribno-znati-pri-ukladanni-plitki-2/>)

Фізико-механічні показники якості керамічних плиток повинні відповідати вимогам, зазначеним у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Фізико-механічні показники якості керамічних плиток

Найменування показників	Значення для плиток	
	стінових	цокольних
Водопоглинання, %:		
– не менше	2	2
– не більше	9	5
Морозостійкість, цикли, не менше	40	50
Границя міцності під час вигинання, МПа (кгс/см ²), не менше	16 (160)	8 (180)
Твердість глазури за шкалою Мооса, не менше	5	5

Різниця між найбільшим й найменшим розмірами плиток однієї партії за довжиною та шириною не повинна перевищувати 1,5 мм. Також допускаються деякі відхилення від форми плиток, які не повинні перевищувати таких значень.

Кривизна лицьової поверхні: для плиток 1 сорту – не більше 0,8 мм; для плиток 2 сорту – не більше 1,1 мм.

Косокутність: для плиток завдовжки до 150 мм – не більше 0,5 мм; для плиток завдовжки від 150 мм – не більше 1,0 мм.

До маркування, пакування та якості керамічної плитки висувають високі вимоги, від показників яких залежить умови зберігання, транспортування товару. На упаковці з керамічною плиткою, крім відомостей про колір, формат, виробника, вказують ще деякі відомості.

Якість оздоблювальних матеріалів регламентується певними технічними нормативами. Міжнародний стандарт для керамічної плитки – UNI EN. Відповідно до нього всю продукцію цього типу поділяють на 8 груп залежно від двох критеріїв – методу формування та ступеня водопоглинання (пористості). Остання характеристика дуже важлива, оскільки впливає на інші якості плитки – міцність, волого- й морозостійкість. Метод формування позначається буквами А (екструзія) або В (пресування). Ступенів водопоглинання існує 4: I (менше 3 %), Іа (від 3 % до 6 %), Іб (від 6 % до 10 %) і ІІ (понад 10 %). Отже, якщо на упаковці стоїть маркування, наприклад ІІІ, можна зробити висновок, що це високопориста пресована плитка, яка призначена тільки для внутрішнього облицювання стін.

Для плитки для підлоги дуже важлива зносостійкість. За зносостійкістю плитки поділяють на класи від 0 до V. Ця інформація теж є на упаковці. Отже, якщо обрана плитка має клас за зносостійкістю PEI I, це означає, що її можна використовувати тільки в приміщеннях із дуже низьким експлуатаційним навантаженням, наприклад у ванній кімнаті. А виріб із маркуванням PEI IV цілком

підійде для приміщень з великою прохідністю. Плитку класу PEI 0 потрібно використовувати як настінне покриття (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Керамічні плитки різного призначення:
а – для стін; б – для підлоги

(URL: <https://ceramica.ua/plitka-dlya-kuxni/interkerama/textile-131378>)

Ще один важливий показник для плитки для підлоги – поверхнева твердість, тобто стійкість до появи подряпин, особливо цим відрізняється керамограніт. Твердість позначається в цифрах від 1 до 10 за шкалою Мооса.

Контрольні запитання

1. Наведіть класифікацію будівельної кераміки за конструкційною ознакою.
2. Навести головні властивості керамічної цегли.
3. Як встановлюють марку керамічної цегли за міцністю? Навести марки цегли.
4. Які вимоги висувають до якості керамічної плитки?
5. Наведіть вимоги стандартів до якості цегли за зовнішніми ознаками?
6. На які групи поділяють цеглу за теплотехнічними властивостями?

РОЗДІЛ IV МІНЕРАЛЬНІ В'ЯЖУЧІ МАТЕРІАЛИ

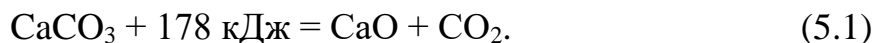
Лабораторна робота 5 Визначення властивостей повітряних в'язучих

Неорганічні в'язучі матеріали під час змішування з водою або іншою рідиною (наприклад розчинами солей, лугів і кислот) утворюють пластичне тісто, здатне внаслідок фізико-хімічних процесів тверднути й переходити в каменеподібний стан. Неорганічні в'язучі матеріали залежно від умов твердіння поділяють на повітряні та гідравлічні.

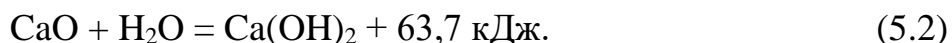
Повітряні в'язучі матеріали можуть тверднути й набирати міцність у повітряно-сухих умовах. До них належать гіпсоангідритові в'язучі речовини, повітряне вапно та його різновиди, магнезіальні в'язучі речовини та розчинне скло.

5.1 Оцінка якості повітряного вапна

Повітряне будівельне вапно (ДСТУ EN 459-1:2023 та ДСТУ Б В.2.7-90:2011) – продукт випалювання за температур до 1 000...1 200 °С кальцієво-магнієвих гірських порід (вапняку, крейди, вапняку-черепашнику), що містять не більше 6 % глинистих домішок. Головним технологічним процесом під час отримання повітряного вапна є випалювання, до того ж утворюється продукт (грудкове негашене вапно) у вигляді поритих кусків, що активно взаємодіють з водою:



Гашене вапно утворюється за реакцією



Теоретично для гасіння вапна потрібно 32,13 % води від маси CaO. Залежно від кількості води отримують три різних продукти: вапно-пушонку, або гідратне вапно, яке збільшується в об'ємі в 2...3,5 рази порівняно з грудковим вапном. Якщо кількість води досягає 200...250 % від маси вапна, то утворюється пластичне тісто. У разі витрати ще більшої кількості води утворюється вапняне молоко.

Технічні характеристики будівельного вапна оцінюють визначенням тонкості помелу, швидкості гашення, активності, водопотреби, строків тужавіння, міцності під час стиску.

Повітряне вапно використовують для приготування мурувальних розчинів, а також для виготовлення штучних бетонних виробів, силікатної цегли та інших вапняно-піщаних виробів автоклавного твердіння.

Визначення швидкості гашення вапна

Для визначення швидкості гашення вапна використовують прилад, що складається з термостата ємністю 500 мл і термометра зі шкалою до 100 °С, який встановлено у кришку термостата (рис. 5.1).

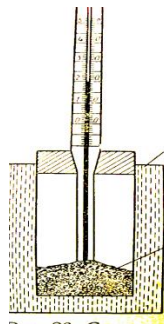


Рисунок 5.1 – Термостат

(URL: <https://studfile.net/preview/7688174/page:11/>)

Наважку тонко меленого вапна масою 10 г висипають у термосну колбу, додають 20 мл води та швидко перемішують скляною паличкою. Потім термостат закривають кришкою з термометром і залишають у спокої. Далі стежать за підвищенням температури суміші. Визначення температури ведуть із моменту, коли воду додають до вапна, і до початку періоду, коли підвищення температури уповільнюється до 0,25 °С на хвилину.

За результатами дослідів складають графік, де на осі абсцис відкладають час від початку дослідів у хвиликах, а по осі ординат – температуру у градусах за Цельсієм (°С), як наведено на рисунку 5.2.

За максимум на графіку встановлюють швидкість гасіння вапна. За швидкістю гасіння вапно поділяють на таке:

- швидкогашене (гасіння відбувається до 8 хв);
- середньогашене (гасіння відбувається від 8 хв до 25 хв);
- повільногашене (гасіння відбувається більше 25 хв).

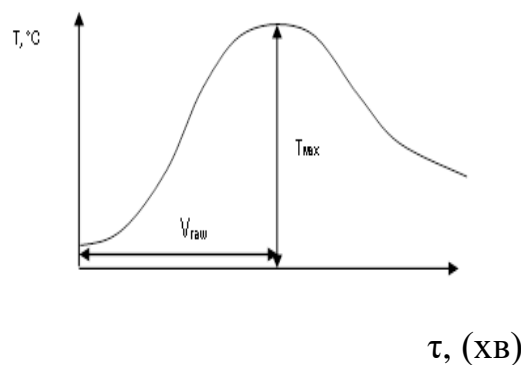


Рисунок 5.2 – Графік для оцінки швидкості гасіння повітряного вапна
(URL: <https://tehlib.com/stroitel-ny-e-materialy/ispytanie-stroitelnoj-vozdushnoj-izvesti/>)

Визначення вмісту непогашених зерен у вапні після гасіння

Непогашені зерна є домішками кварцового піску, недопаленого CaCO_3 або перепаленого CaO . Щоб визначити їхній вміст, у металевий посуд ємністю 10 л наливають 3,5–4 л води з $T = 85\text{--}90\text{ }^\circ\text{C}$ і висипають 1 кг вапна, безперервно перемішуючи. Утворене тісто закривають кришкою та витримують 2 год, потім розводять холодною водою та промивають під слабким струменем на ситі № 063, розтираючи м'які шматочки скляною паличкою з гумовим кінцем. Залишок на ситі висушують за $T = 140\text{--}150\text{ }^\circ\text{C}$ до постійної маси. Склад непогашених зерен (%) розраховують за формулою:

$$Н.З. = \frac{m \cdot 100}{1000}, \quad (5.3)$$

де m – залишок на ситі після сушіння, г.

Результати дослідів заносять до зошита.

Встановлення сорту вапна

Після випробувань будівельного вапна необхідно встановити його якість відповідно до технічних вимог, що наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічні вимоги до якості будівельного вапна

Показник	Значення показника для різних сортів вапна								
	кальцієве вапно			магнезіальне вапно			доломітове вапно		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вміст активних $\text{CaO} + \text{MgO}$, %	90	80	70	85	75	65	85	75	65

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість непогашених зерен, % не більше	7	11	14	10	15	20	10	15	20
Тонкість помелу, %:									
– на ситах № 002;	1	1	1	1	1	1	1	1	1
– на ситах № 008	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Швидкість гасіння, хв:									
– швидкогашене, менше;	8	8	8	8	8	8	8	8	8
– середньогашене, не більше;	25	25	25	25	25	25	25	25	25
– повільно гашене, більше	25	25	25	25	25	25	25	25	25

5.2 Визначення властивостей будівельного гіпсу

Гіпсові в'язучі речовини (ДСТУ Б В.2.7-82:2010) є типовим прикладом повітряних в'язучих речовин. Вони складаються переважно з напівводного гіпсу $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ або ангідриту CaSO_4 і отримуються внаслідок теплової обробки вихідної сировини та її розмелювання. Твердіння гіпсових в'язучих речовин відбувається внаслідок розчинення напівводного сульфату кальцію (напівгідрату) й появи насиченого розчину, у якому відбуваються реакції гідратації з утворенням двоводного сульфату кальцію:



Визначення тонкості помелу гіпсу

Тонкість помелу гіпсу визначають шляхом просіювання наважки гіпсу (50 г) крізь сито № 02 ($918 \text{ отв}/\text{см}^2$) протягом 5–7 хв (рис. 5.3).

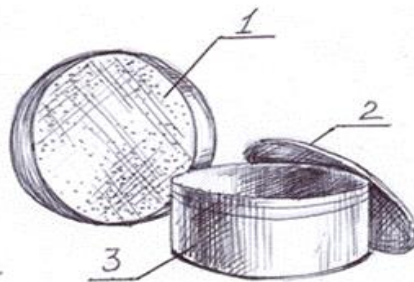


Рисунок 5.3 – Сито для визначення тонкості помелу гіпсу

(URL: <https://studfile.net/preview/5307665/page:12/>)

Залишок після просіювання зважують і записують у відсотках із похибкою не більше 0,1 %.

Для гіпсу грубого помелу вона становить не більше 23 %, середнього – 14 % і тонкого – 2 % (позначається відповідно I, II, III). Збільшення тонкості помелу зумовлює підвищення пластичності гіпсового тіста, міцності гіпсових виливків, але збільшує водопотребу.

Визначення водопотреби гіпсового тіста

Водопотреба визначається кількістю води, потрібною для приготування тіста стандартної консистенції (діаметр розпливу 180 ± 5 мм), і залежить від різновиду та співвідношення модифікацій сульфату кальцію. Для отримання тіста нормальної густоти з β -CaSO₄·0,5H₂O потрібно 50...70 % води, а з модифікації α -CaSO₄·0,5H₂O – 30...40 %. Теоретично для реакції гідратації потрібно 18,6 % води. Висока водопотреба гіпсових в'язучих призводить до того, що вироби з них відрізняються підвищеною пористістю (40...60 %) і невисокою міцністю. Випробування проводять на приладі Сутарда (рис. 5.4).

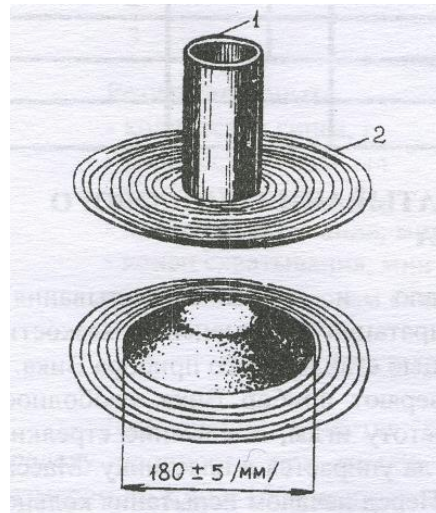


Рисунок 5.4 – Прилад Сутарда

(URL: <https://studfile.net/preview/7688174/page:13/>)

Прилад Сутарда – це металевий циліндр діаметром 50 мм і висотою 100 мм, встановлений на скло. Під склом розміщується трафарет із нанесеними концентричними кільцями діаметром від 150 мм до 220 мм. Відстань між кільцями з діаметром від 170 мм до 190 мм дорівнює 5 мм, решта – 10 мм. До випробування циліндр і скло трохи змочують і протирають ганчіркою.

Наважку гіпсу (300 г) перемішують із водою (150 мл) протягом 30 с, починаючи з моменту контакту гіпсу з водою. Далі гіпсове тісто заливають у

циліндр Сутарда, вирівнюють поверхню гіпсового тіста, залишки знімають металевою пластиною та піднімають циліндр вертикально над склом. Рідке гіпсове тісто розтікається й утворює пликкачик (рис. 5.4).

Діаметр розпливу вимірюють за трафаретом або лінійкою у двох взаємоперпендикулярних напрямках із похибкою не більше 5 мм. Результатом є середнє арифметичне значення. Нормальна густина (стандартна консистенція) відповідає діаметру розпливу гіпсового тіста 180 ± 5 мм.

Нормальна густина, або водопотреба гіпсового тіста записується у водогіпсовому відношенні (у відсотках). Отримані дані заносять до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати дослідження водопотреби гіпсового тіста

Показники	Результати дослідів		
	1	2	3
Наважка гіпсу, г			
Кількість води, мл			
Кількість води, %			
Діаметр розпливу гіпсового тіста			
Нормальна густина, %			

Визначення строків тужавіння гіпсового тіста

Гіпсові в'язучі за строками тужавіння поділяють на такі різновиди: швидкотверднучі (А) – з початком тужавлення не раніше 2 хв і кінцем не пізніше 15 хв, нормальнотверднучі (Б) – з початком тужавлення не раніше 6 хв і кінцем не пізніше 30 хв і повільнотверднучі (В) – з початком тужавлення не раніше 20 хв.

За зниженням температури до 10 °С строки тужавіння подовжуються. За підвищенням температури до 40...50 °С відмічається скорочення строків тужавіння. За подальшим підвищенням температури строки тужавіння подовжуються, а за $T = 90...100$ °С гіпс не тужавіє взагалі.

Випробування проводять на приладі Віка (рис. 5.5) за зміною в'язкості гіпсового тіста.

До початку досліду перевіряють прилад Віка: вільне падіння металевого стрижня, чистоту голки, положення стрілки, яка повинна показувати нуль, коли голка досягла пластини. Маса стрижня з голкою дорівнює 300 г. До випробування кільце та пластину змащують мастилом. Потім готують тісто нормальної густоти ρ заливають його в кільце приладу Віка. Щоб видалити бульбашки повітря з тіста, його потрібно струхнути 4–5 разів.



Рисунок 5.5 – Прилад Віка

(URL: <https://prom.ua/p1062265555-pribor-vika-ogts.html>)

Експеримент проводять у такій послідовності. Голку приладу доводять до поверхні тіста, а потім надають їй можливість занурюватись в нього. Спробу проводять кожні 30 с, змінюючи місце дотику голки з тістом, до того ж кожного разу голку протирають.

Глибину занурення голки в гіпсове тісто фіксують за показаннями стрілки, розташованої на рухомому стрижні. Показання заносять до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати дослідження строків тужавіння гіпсового тіста

Номер досліду	Час опускання голки	Показання приладу
1		
2		
3		

Початком тужавіння вважають період часу від моменту додавання гіпсу до води до моменту, коли голка не дійде до пластини на 0,5 мм. Закінченням тужавіння вважають відрізок часу від моменту замішування гіпсового тіста до моменту занурювання голки в тісто не більше як на 1 мм.

Результати досліду:

– початок тужавіння, хв;

- закінчення тужавіння, хв;
- вид гіпсу за швидкістю тужавіння.

Визначення межі міцності гіпсу під час вигинання та стиску

Міцність гіпсових в'язучих визначають випробуванням зразків-балочок розмірами 40 мм × 40 мм × 160 мм з гіпсового тіста стандартної консистенції через 2 год після їхнього виготовлення. Висушування гіпсових зразків до сталої маси збільшує їхню міцність майже у два рази.

Передбачено 12 марок гіпсових в'язучих – від Г-2 до Г-25, де цифра означає нормовану межу міцності під час стиску в МПа. Межа міцності під час вигинання змінюється відповідно від 1,2 МПа до 8 МПа.

Для виготовлення трьох зразків-балочок зважують 1 кг гіпсу й додають до води в кількості, що відповідає нормальній густоті гіпсового тіста. Тісто перемішують 60 с до однорідної консистенції та заливають у форму. Для усунення бульбашок повітря форму струшують 5 разів. Після початку тужавіння залишки гіпсового тіста зрізають лінійкою. Через 15 хв після закінчення тужавіння зразки виймають із форми й оглядають. Грані зразків-балочок повинні бути паралельні й мати відхилення не більше 0,5 мм.

Через дві години після виготовлення зразки-балочки випробують на вигинання на машині МВВ-100. Межу міцності під час вигинання зразків підраховують як середнє арифметичне двох найбільших результатів випробувань трьох зразків. Показник лічильника відповідає межі міцності під час вигинання (у кг/см²). Прилад-автомат МВВ-100 наведено на рисунку 5.6.



Рисунок 5.6 – Прилад-автомат МВВ-100 для випробування зразків на вигин
(URL: <https://rcf.khadi.kharkov.ua/laboratoriji/laboratorija-neorganichnikh-vjazhuchikh-ta-cementobetoniv/>)

Межу міцності під час стиску визначають шляхом випробування шести половинок балочок, отриманих під час випробування на вигинання, на пресі ПЛГ–10. Щоб передати навантаження на половинки балочок, використовують сталеві шліфовані пластини розміром 4,0 см × 6,25 см, площа яких дорівнює 25 см² (рис. 5.7).

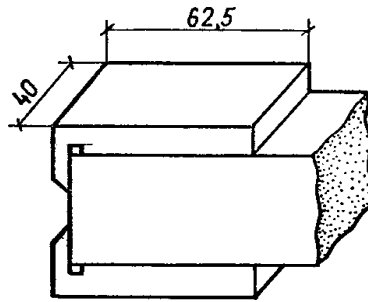


Рисунок 5.7 – Підготовка зразка для випробування на стиск
(URL: <https://studfile.net/preview/7808435/page:8/>)

Кожну половинку балочки розташовують між двома пластинами так, щоб бокові грані, які під час виготовлення торкалися форми, співпадали з робочими поверхнями, а упор пластинок щільно торкався торцевої стінки зразка. Межу міцності під час стиску розраховують за формулою:

$$R = \frac{P}{S}, \quad (5.5)$$

де P – руйнівне зусилля, кг (Н); S – площа зразка, см² (м²).

Результати експерименту порівнюють із даними таблиці 5.4 і роблять висновок, до якої марки за міцністю належить випробуваний гіпс.

Таблиця 5.4 – Вимоги до міцності будівельного гіпсу

Марка гіпсу	Межа міцності, МПа, не менше	
	під час стиску	під час вигинання
1	2	3
Г–2	2	1,2
Г–3	3	1,8
Г–4	4	2,0
Г–5	5	2,5
Г–6	6	3,0

Продовження таблиці 5.4

1	2	3
Г–7	7	3,5
Г–10	10	4,5
Г–13	13	5,5
Г–16	16	6,0
Г–19	19	6,5
Г–22	22	7,0
Г–25	25	8,0

Висновки повинні мати рекомендації по сферах застосування гіпсу:

- виготовлення гіпсокартону;
- оздоблювальні деталі;
- для виготовлення стінових блоків;
- виготовлення акустичних плит;
- вогнезахисні покриття тощо.

Лабораторна робота 6 Визначення властивостей гідравлічних в'язучих

Гідравлічні в'язучі матеріали тверднуть і зберігають міцність як у повітряно-сухих умовах, так і у воді. До них належать гідравлічне вапно, романцемент; портландцемент та його різновиди.

В'язучі матеріали автоклавного твердіння здатні тверднути й утворювати міцний камінь в умовах підвищених температур, тиску та вологості. До таких в'язучих речовин належать вапняно-кремнеземисті, вапняно-шлакові й вапняно-зольні.

Портландцемент – гідравлічна в'язуча речовина, яку виготовляють спільним тонким подрібненням цементного клінкеру з 3–5 % гіпсу. Клінкер є продуктом випалу до спікання (при $T = 1\ 450\ ^\circ\text{C}$) тонко подрібненої суміші, що складається з 75 % вапняку й 25 % глини.

Цементи відрізняються один від одного хімічним і мінеральним складом, міцністю, строками тужавіння та класифікуються за такими ознаками:

- а) за міцністю:
 - високоміцні – марки 500–600 і вище;
 - підвищеної міцності – марка 500;

- рядові – марки 300–400;
- низькомарочні – нижче марки 300;
- б) за швидкістю тужавіння:
 - швидкотужавіючі з початком тужавіння до 45 хв;
 - середньотужавіючі з початком тужавіння не більше 90 хв;
 - повільнотужавіючі з початком тужавіння більше 90 хв;
- в) за строками твердіння:
 - звичайні з нормуванням міцності у віці 28 діб;
 - швидкотверднучі з нормуванням міцності у віці 3, 7 і 28 діб;
 - особливо швидкотверднучі з нормуванням міцності у віці 1 доби й менше.

Відповідно до стандартів властивості найрозповсюдженіших цементів повинні відповідати вимогам, наведеним у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Марки цементів за міцністю

Види цементів	Марка цементу	Межа міцності під час стискання у віці не менше, МПа (кг/см ²)		Межа міцності під час вигину у віці не менше, МПа (кг/см ²)	
		3 доби	28 діб	3 доби	28 діб
Портландцемент	300	–	29,4(300)	–	4,4(45)
Портландцемент з АМД	400, 500	–	39,2(400) 49(500)	–	5,4(55) 5,9(60)
Шлакопортландцемент	550, 600	–	53,9(550) 58,8(600)	–	6,1(62) 6,4(65)
Швидкотверднучий портландцемент	400, 500	24,5(250) 27,5(280)	39,2(400) 49,0(500)	3,9(40) 4,4(45)	5,4(55) 5,9(60)
Швидкотверднучий шлакопортландцемент	400	19,6(200)	39,2(400)	3,4(35)	5,4(55)

6.1 Визначення фізико-хімічних властивостей цементу

Визначення тонкості помелу цементу

Тонкість помелу цементу визначають шляхом ручного просіювання цементу крізь сито № 008 або використання ситового аналізатора (рис. 6.1).

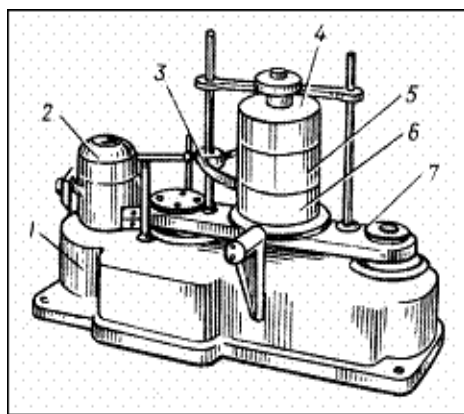


Рисунок 6.1 – Ситовий аналізатор для оцінки тонкості помелу
(URL: <https://studfile.net/preview/1979572/page:21/>)

Для проведення експерименту беруть наважку цементу у кількості 50 г, висушують у сушильній шафі за температури 105–110 °С протягом 2 год, після чого охолоджують в ексикаторі й висипають на сито. Просіювання вважається закінченим, коли за 1 хв крізь сито проходить не більше 0,05 г цементу.

Тонкість помелу цементу визначають як залишок на ситі з сіткою № 008 у відсотках щодо початкової маси наважки. Крізь сито повинно проходити не менше 85 %. Результати визначення записують такій послідовності:

- вихідна наважка цементу – 50 г;
- залишок цементу на ситі, г;
- залишок на ситі, %

Висновок – порівняння з вимогами ДСТУ Б EN 196-6:2015.

Визначення водопотреби цементу (нормальна густота)

Визначають на приладі Віка зі стрижнем Тетмайера (діаметр якого 10 мм, вага – 300 г) (рис. 6.2).

Для досліду наважку цементу масою 400 г перемішують з водою у металевій чаші протягом 30 с, а потім розтирають 5 хв. Воду дозують шляхом підбору її кількості, відповідно діапазону 25–30 %. Готовим цементним тістом заповнюють кільце приладу Віка та струшують, а залишок тіста зрізають ножом. Стрижень доводять до поверхні тіста й за допомогою гвинта надають йому можливість довільно занурюватися у тісто під дією своєї ваги протягом 30 с.

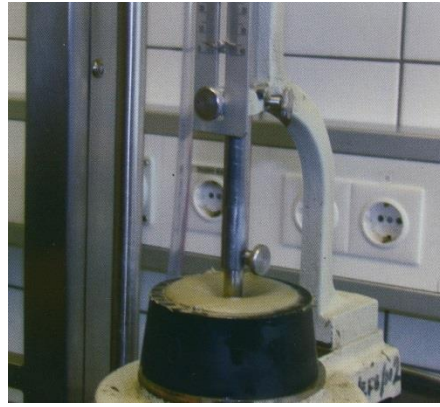


Рисунок 6.2 – Визначення водопотреби цементного тіста
(URL: <https://prom.ua/p1041366026-pribor-vika-ogts.html>)

За водопотребу приймають стандартну консистенцію цементного тіста такого стану, коли стрижень приладу Віка не досягне піддона кільця на 5–7 мм. Водопотреба характеризує вміст води у цементному тісті. Спробу роблять декілька разів, поки не досягнуть потрібного результату. Результати дослідів доцільно подавати у вигляді таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати дослідів визначення водопотреби цементу

Найменування показників	Номер дослідів			
	1	2	3	4
Кількість цементу, г				
Кількість води, мл				
Кількість води, %				
Водотреба				

Визначення строків тужавлення

Строки тужавлення – це час, протягом якого цементне тісто втрачає свою пластичність. Розрізняють умовний початок тужавлення (початок втрати пластичності) і кінець тужавлення (повна втрата пластичності). Строки тужавлення згідно зі стандартом визначають за зануренням голки приладу Віка у цементне тісто нормальної густини. Початок тужавлення – це час від початку замішування цементу з водою до моменту, коли голка не доходить до дна на 1–2 мм. Голку занурюють кожні 5 хвилин.

Після початку тужавлення голку занурюють кожні 15 хвилин до кінця тужавління, яке визначається у момент, коли голка занурюється в тісто не глибше ніж на 1–2 мм.

Строки тужавіння цементного тіста потрібно знати при виборі технологічних режимів приготування розчинів або бетонів.

Результати дослідів записують у такій послідовності:

Кількість цементу, г.....400 г

Кількість води, мл.....

Час змішування цементу з водою.....

Час, коли голка приладу не дійшла на 1–2 мм до пластини.....

Час, коли голка занурилася в цементне тісто не глибше 1 мм.....

Початок тужавлення, хв.....

Кінець тужавлення, хв.....

Висновок: вказують вид цементу за строками тужавлення.

6.2 Визначення марки цементу за міцністю

Активність і марка цементу характеризують його механічну міцність, яку встановлюють за межею міцності під час стискання, половинок зразків-балочок розміром 40 мм × 40 мм × 160 мм. Зразки попередньо випробують на вигин. Їх виготовляють з цементно-піщаної розчинної суміші складу 1 : 3 (за масою) при В/Ц = 0,4 на нормальному однофракційному природному кварцовому піску.

Визначення нормальної консистенції цементного розчину

Нормальна консистенція цементного розчину характеризується водоцементним співвідношенням (В/Ц). При оцінці консистенції цементного розчину використовують струшувальний столик (рис. 6.3).



Рисунок 6.3 – Струшувальний столик

(URL: <https://ceeindustrial.com/public/data/companyCatalogue1226074590.pdf>)

Для досліду потрібно взяти 500 г цементу й 1 500 г піску. Сухі компоненти суміші перемішують у металевій напівсфері, потім додають 200 г води (В/Ц перевищує або дорівнює 0,4) і знову перемішують 1 хв вручну й 2,5 хв у лабораторному змішувачі зі швидкістю обертання 8 об./хв. Перемішаним розчином заповнюють конус струшувального столика. Нижній шар ущільнюють пестиком 15 разів, а верхній – 10 разів. Поверхню розчину розрівнюють, а конус знімають у вертикальному напрямку. Розчин струшують 30 разів протягом 30 с і замірюють діаметр розпливу конуса.

Консистенція цементного розчину відповідає ДСТУ EN 196-1:2019, коли розплив знаходиться в межах 106–115 мм. Визначення нормальної консистенції проводять методом підбору, кожен раз змінюючи кількість води. Результати заносять до таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Результати випробувань консистенції цементного розчину

Найменування показників	Номер досліду			
	1	2	3	4
Кількість цементу, г				
Кількість води, мл				
Кількість води, %				
Діаметр розпливу, мм				
Нормальна консистенція, В/Ц, %				

Виготовлення цементних зразків-балочок

Для випробувань цементу на міцність, відповідно до ДСТУ EN 196-1:2019, виготовляють три стандартні балочки з розчину нормальної консистенції. Підготовлені форми заповнюють розчином і вібрують протягом трьох хвилин для кращого ущільнення. Зразки у формі зберігають 24 ± 2 год на повітрі, а потім виймають з форми та витримують у ванні з водою ще 27 діб. Воду замінюють через 14 діб, температура води повинна дорівнювати 20 ± 2 °С. Перед випробуванням зразки виймають з води та підсушують.

Визначення марки цементу за міцністю

Марка цементу характеризується його активністю (межа міцності під час стискання) з урахуванням межі міцності при вигині стандартних зразків у віці 28 діб.

Для випробувань використовують машину МВВ–100 і гідравлічний прес ПЛГ–10. Після випробування на вигин на машині МВВ–100 отримані шість

половинок балочок випробують на стискання. Кожну половинку балочки розміщують між двома металевими пластинами, площа яких дорівнює 25 см^2 .

Результати випробувань записують у таблицю 6.4.

Таблиця 6.4 – Результати випробувань цементу на марку за міцністю

Ч. ч.	Розміри зразка		Випробування на вигин		Випробування на стиск		
	Ширина, см	Висота, см	Відстань між опорами, см	Межа міцності, кг/см^2 (МПа)	Площа перерізу, см^2	Руйнівна сила, кг	Межа міцності, кг/см^2 (МПа)
1							
2							

Контрольні запитання

1. Які в'язучі називають повітряними? Наведіть приклади.
2. Які в'язучі називають гідравлічними? Наведіть приклади.
3. Навіщо визначають строки тужавлення?
4. Назвіть різновиди будівельного вапна.
5. Наведіть класифікацію повітряного вапна за швидкістю гашення.
6. Наведіть властивості будівельного гіпсу.
7. За якою методикою визначають нормальну густоту гіпсового тіста?
8. Як визначити марку гіпсу за міцністю й де він застосовується?
9. Чим показник марки відрізняється від активності цементу?

РОЗДІЛ V

БЕТОНИ ТА БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ

Серед сучасних будівельних матеріалів група композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин займає особливе місце. Найголовнішими серед таких матеріалів є бетони та будівельні розчини.

Бетон – композиційний матеріал, який отримують шляхом формування та твердіння раціонально підбраної суміші, що складається з в'язучої речовини, дрібного й великого заповнювачів і спеціальних добавок (рис. V.1).



Рисунок V.1 – Склад бетону

(URL: <https://distar.ua/ru/article/zapovnyuvachi-betoniv>)

Бетони в сучасному будівництві мають найвищий попит і займають найповажніше місце серед інших будівельних матеріалів, оскільки мають такі переваги:

- широка й різноманітна сировинна база для їхнього виготовлення;
- широкі архітектурні можливості, що дають змогу виготовляти вироби різноманітні за формою, розмірами, кольором, фактурою та структурою;
- великий діапазон властивостей (міцність, морозостійкість, теплопровідність, густина тощо), які надають можливість їхнього широкого застосування.

Метою цієї теми є вивчення студентами загальних властивостей бетонів та будівельних розчинів, підходу до вибору їхніх основних компонентів і знайомство

з методиками проектування складів розчинів та бетонів різної структури та призначення.

Бетони класифікують за різними показниками.

За густиною бетони поділяють на такі:

- особливо важкі ($\rho_0 \geq 2\,500$ кг/м³);
- важкі ($2\,200 < \rho_0 < 2\,500$ кг/м³);
- полегшені ($1\,800 < \rho_0 < 2\,200$ кг/м³);
- легкі ($1\,200 < \rho_0 < 1\,800$ кг/м³);
- особливо легкі ($500 < \rho_0 < 1\,200$ кг/м³).

За видом в'язучої речовини бетони бувають: цементні; силікатні (вапняно-кремнеземисті), гіпсові, мішані (цементно-вапняні, вапняно-шлакові тощо); спеціальні (жаростійкі, хімічностійкі тощо).

За видом заповнювача бетони розрізняють:

- щільні (щебінь, гравій з щільних порід);
- пористі (керамзит, аглопорит, спучений перліт та вермикуліт, жужільна пемза тощо);
- спеціальні (андезит, рудні матеріали тощо).

За призначенням бетони бувають для звичайних бетонних або залізобетонних конструкцій, гідротехнічних споруд, стін будівель, що опалюються, для підлог тощо.

Щоб отримати бетон, який відповідає всім необхідним вимогам за місцем його призначення, потрібно правильно підібрати вихідні компоненти, точно розрахувати склад бетонної суміші, вибрати раціональний спосіб його укладання, забезпечити належний догляд під час твердіння. Кожен компонент, який входить до складу бетону, впливає на його якість і довговічність, тому розроблені жорсткі вимоги до кожного з компонентів бетону.

Заповнювачі для бетонів – природні або штучні матеріали певного зернового складу, які в раціонально складеній суміші з в'язучою речовиною та водою утворюють бетон. Заповнювачі становлять 80 % об'єму бетону, їхня вартість досягає 30–50 % вартості бетонних і залізобетонних конструкцій. Тому вивчення властивостей заповнювачів, їхній правильний вибір, раціональне виробництво й застосування мають велике значення.

Заповнювачі дають змогу різко скоротити витрату цементу або інших в'язучих, що є найдорожчим і найбільш дефіцитним компонентом бетону. Основними ознаками стандартизованої класифікації різноманітних заповнювачів

для бетону відповідно є їхнє походження, крупність зерен, характер форми зерен, густина, наявність домішок тощо (табл. V.1).

Таблиця V.1 – Класифікація заповнювачів для бетонів та розчинів

Походження	Вид, крупність, форма зерен	Спосіб виробництва (опрацювання)
<i>Щільні (істинна густина > 2 000 кг/м³)</i>		
Природні	Щебінь	Роздрібнення і сортування гірських скельних порід
	Гравій	Сортування гравійно-піщаної суміші
	Щебінь з гравію	Те ж, і роздрібнення
	Пісок:	Гідромеханізований або екскаваторний видобуток
	збагачений фракціонований	Гідрокласифікація, класифікація, промивання, зневоднювання
	з відсівів роздрібнення Декоративні щебінь і пісок	класифікація, промивання, зневоднювання Роздрібнення, сортування, промивання та зневоднювання
Відходи збагачення	Щебінь і пісок	Роздрібнення й сортування
З відходів промисловості	Щебінь з доменного шлаку	Те ж саме
<i>Пористі (густина зерен < 2 000 кг/м³)</i>		
Природні	Щебінь і пісок із пористих гірських порід	Роздрібнення й сортування
З відходів промисловості	Щебінь і пісок із пористих шлаків, із цегельного бою Золошлакові суміші, грубодисперсні золиносу Керамзитовий гравій, пісок і його різноманітності: глинозольний керамзит; шунгізит – гравій, пісок; зольний гравій; спучені аргіліт і трепел Азурит	Те ж Неопрацьовані Випалювання із спучуванням підготовлених гранул (зерен) із природної сировини, відходів промисловості або їхньої суміші Підготування шихти плавленням, швидким охолодженням і помелом Випал без спучування Спінання при випалюванні підготовлених гранул піщано-глинистих порід, присків ТЕС, відходів вугілля збагачення Гідратаційне твердіння гранул із підготовленої суміші піску та в'язучого Поризація розплаву шлаків і охолодження Спучування при випалюванні підготовлених зерен із вулканічних порід
Штучні (спеціально приготвлені)	Термоліт (щебінь, гравій) Аглопорит (щебінь, гравій і пісок) Безвипальний зольний гравій (БЗГ) Жужільна пемза – щебінь (гравій), пісок Спучений перліт, щебінь (гравій), пісок	

Цементний камінь при твердінні зазнає об'ємних деформацій, через що виникають внутрішні напруження та тріщини. Усадка його досягає 0,02 мм/м. Заповнювач створює в бетоні жорсткий скелет, сприймає усадкові напруження й зменшує усадку звичайного бетону приблизно в 10 разів порівняно з усадкою цементного каменю. Розрізняють дрібний та великий заповнювачі. До дрібного належать уламкові осадові гірські породи або штучні продукти подрібнення гірських порід розмірами зерен 0,14–5 мм. Такий заповнювач називають піском (рис. V.2).



Рисунок V.2 – Різновиди дрібного заповнювача

(URL: <https://stroyfibra.com.ua/zapovnuvachi-dlya-betoniv-i-rozchiniv-vidi-i-klasifikaciya/>)

До крупного заповнювача відносять гравій (сипкий матеріал – продукт природного руйнування гірських порід) або щебінь (продукт подрібнення гірських порід) з розмірами зерен 70–5 мм. Для великих об'ємних конструкцій максимальна крупність може досягати 150 мм (рис. V.3).



Рисунок V.3 – Різновиди великого заповнювача

(URL: <https://www.bosstechnology.com.ua/ua/shhebin-i-gravij-shho-krashhe-i-chim-vidriznyayutsya/>)

Жорсткий каркас із високоміцного заповнювача збільшує міцність і модуль пружності бетону (тобто зменшує деформації конструкцій під навантаженням), зменшує повзучість (тобто пластичні необоротні деформації бетону при тривалій дії навантаження). Легкі пористі заповнювачі зменшують густину бетону та його теплопровідність. Спеціальні особливо важкі й гідратні заповнювачі надають бетону надійний захист від проникаючої радіації (наприклад, на атомних електростанціях, для влаштування сховищ радіаційних відходів). Цей неповний перелік визначає призначення заповнювачів, що є дуже важливим складником бетонів, впливає на їхні властивості й техніко-економічну ефективність.

Лабораторна робота 7

Оцінка якості дрібного заповнювача

Пісок для бетонів повинен відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-232:2010. Найчастіше для одержання звичайних важких бетонів використовують кварцові піски. Для пісків обов'язково визначають їхню насипну густину.

Визначення насипної густини піску

За методикою пісок насипають у металевий циліндр ємкістю 1 л, який попередньо зважують. Циліндр заповнюють матеріалом зі стандартного конуса (рис. 7.1) з надлишком, який зрізають лінійкою та повторно зважують.

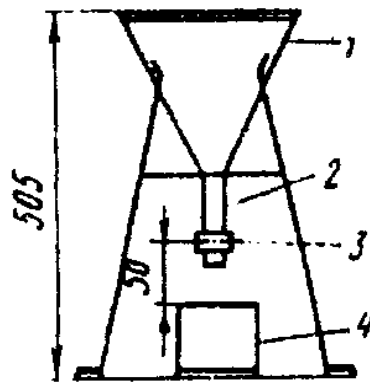


Рисунок 7.1 – Стандартний конус

(URL: <https://studfile.net/preview/5591920/page/3/>)

Насипну густину піску визначають за формулою:

$$\rho_{0H} = (m_2 - m_1)/V, \quad (7.1)$$

де m_1 – маса циліндра, г; m_2 – маса циліндра з матеріалом, г; V – об’єм циліндра, см³.

Щоб забезпечити кращу адгезію з в’язучою речовиною, перевагу віддають піскам з гострими крайцями, тобто гірським або яровим піскам. Для пісків, які використовують для звичайного бетону, висувають такі вимоги:

– вміст зерен, які проходять крізь сито 0,16 мм, повинен становити менше 10 % (за масою);

– вміст глинистих і мулистих домішок не повинен перевищувати 3 % за масою;

– вміст органічних домішок теж обмежується й контролюється за кольором забарвлення розчину NaOH, у якому замочують пісок.

Зерновий склад піску є важливим показником, який впливає на щільність структури бетону та на його властивості.

Визначення зернового (гранулометричного) складу піску

Для визначення зернового складу використовують стандартний набір сит за номерами 5; 2,5 1,25; 0,63; 0,315; 0,16, знизу ставлять піддон. За нумерацією сита розташовують зверху до низу від більшого до меншого.

Відібрану середню пробу піску вагою 1 000 г просіюють через набір сит. Просіювання можна вважати закінченим, якщо при інтенсивному струшуванні кожного сита над аркушем паперу практично не спостерігається падіння зерен піску.

Залишки піску на кожному ситі, які мають назву часткових залишків (a_i), зважують і визначають їхню масу з точністю 0,1 % за формулою:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100 \%, \quad (7.2)$$

де m_i – залишок на ситі, г; m – маса проби, г; i – порядковий номер сита.

Потім визначають повні залишки (A_i) на кожному ситі, які є сумою часткового залишку сита та всіх часткових залишків верхніх над ним, за формулою

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (7.3)$$

де $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, ... a_i – часткові залишки на ситах, %.

Результати випробування заносять до таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Зерновий склад піску

Номер сита	Часткові залишки (a_i)		Повні залишки (A_i), %
	г	%	
2,5		$a_{2,5}$	$A_{2,5}$
1,25		$a_{1,25}$	$A_{1,25}$
0,63		$a_{0,63}$	$A_{0,63}$
0,315		$a_{0,315}$	$A_{0,315}$
0,14		$a_{0,14}$	$A_{0,14}$
менше 0,14		$a_{<0,14}$	$A_{<0,14}$

Основним показником крупності піску є модуль крупності, який розраховують за формулою

$$M_{\kappa} = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100} . \quad (7.4)$$

Модуль крупності піску повинен знаходитися в межах 2–2,5, до того ж для бетонів із межею міцності 20 МПа і вище модуль крупності піску має бути не менше 2, а для бетонів із межею міцності 35 МПа і вище – не менше 2,5. У таблиці 7.2 наведені групи піску за крупністю зерен.

Таблиця 7.2 – Групи піску за крупністю зерен

Вид піску	Модуль крупності	Повний залишок на ситі (з отворами 0,63 мм), %
Підвищеної крупності	3...3,5	65...75
Значний	2,5...3	45...65
Середній	2...2,5	30...45
Дрібний	1,5...2	10...30
Дуже дрібний	1...1,5	До 10

Для оцінки зернового складу піску за результатами просіювання будують графік розсіву, який порівнюють з граничними кривими графіка зернового складу дрібного заповнювача (рис. 7.2).

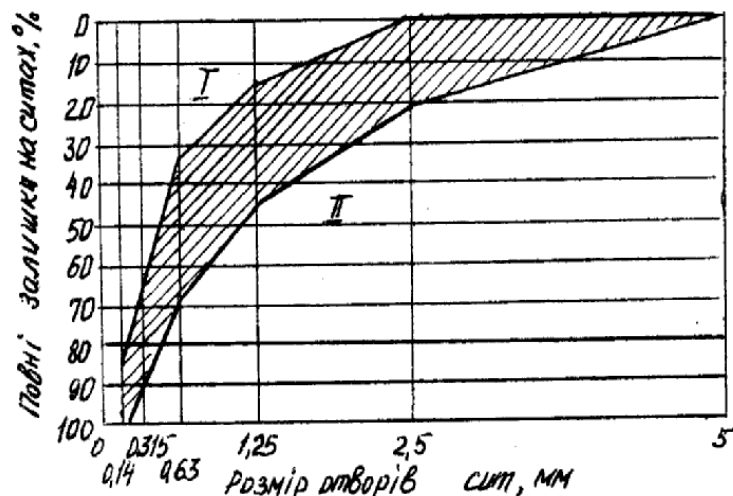


Рисунок 7.2 – Графік зернового складу піску:
 I – область дрібних пісків; II – область крупних пісків
 (URL: <https://studfile.net/preview/5726414/page:4/>)

Після нанесення лінії за отриманими даними на графіку, роблять висновок про крупність піску.

Визначення вмісту органічних домішок

Вміст органічних домішок визначають колориметричною пробою. Аналізують пісок природної вологості. Циліндр об'ємом 250 мл наповнюють піском до риски 130 мл і заливають 3 %-м розчином їдкого натру (NaOH) до позначки 200 мл. Після енергійного перемішування пробу залишають у спокої на 24 години. Потім порівнюють колір рідини над піском з кольором еталону. Результати визначення записують за такою формою:

Реактив _____

Колір рідини над піском _____

Колір еталону _____

Результат порівняння з еталоном _____

Визначення вмісту пилуватих, глинистих і мулистих частинок у піску

Ступінь забруднення піску вказаними домішками визначають методом відмулювання або методом мокрого просіювання.

За методом відмулювання вміст пилуватих і глинистих частинок визначають за зменшенням маси піску після відмулювання частинок крупністю до 0,05 мм. Для цього частину піску висушують до постійної маси та просіюють через сито з отворами розміром 5 мм. Пробу вагою 1 000 г висипають у посуд об'ємом 2–2,5 л, заливають водою так, щоб висота стовбура води над піском була 20 см, і енергійно

перемішують. Мутну воду зливають. Промивання піску повторюють, доки вода не стане прозорою. Пісок висушують до постійної маси.

Розраховують вміст у піску пилюватих, глинистих й мулистих домішок з точністю до 0,1 % за формулою:

$$O_{тм} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%, \quad (7.5)$$

де m_1 – проба піску, г; m_2 – маса промитого сухого піску, г.

За методом мокрого просіювання вміст пилюватих і глинистих частинок визначають мокрим просіюванням піску та визначенням різниці за масою до і після випробування. Використовують наважку піску масою 1 000 г і сито № 0315.

Визначення вологості піску

Наважку піску масою 1 000 г насипають на деко, потім висушують до постійної маси й знову зважують.

Вологість визначають порівнянням маси піску природної вологості й після висушування за формулою:

$$W = \frac{m_{вл} - m_{суу}}{m_{сух}} \cdot 100\%, \quad (7.6)$$

де $m_{вол}$ – маса вологого піску, г; $m_{сух}$ – маса сухого піску, г.

Вологість заповнювачів може значно вплинути на міцність бетону, тому що зайва вода, яка не була перерахована, створить додаткові пори і порожнини у структурі.

Лабораторна робота 8

Випробування великого заповнювача

Випробування характеристик великого заповнювача щебня (або гравію) повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 1097-4:2021.

Визначення зернового складу

Для визначення зернового складу крупного заповнювача використовують стандартний набір сит з круглими отворами діаметром 5; 10; 20; 40; 70 мм. Найбільшу перевагу мають малоокаті щебеневі зерна з шорсткою поверхнею.

Масу проби заповнювача беруть залежно від розміру зерен щебню (гравію). При величині зерен до 10, 20, 40, 70 мм і більше маса проби відповідно становить 5, 10, 20, 30 і 50 кг. Після просіювання залишки на кожному ситі зважують, це часткові залишки (a_i) у грамах. Після цього визначають повні залишки (A_i) на кожному ситі за формулами, які застосовувались при просіюванні дрібного заповнювача. Дані експерименту заносять до таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Ситовий аналіз щебню

Номер сита	Часткові залишки, a_i		Повні залишки, A_i , %
	г	%	
70			
20			
10			
5			

За даними ситового аналізу криву просіювання наносять на стандартний графік (рис. 8.1).

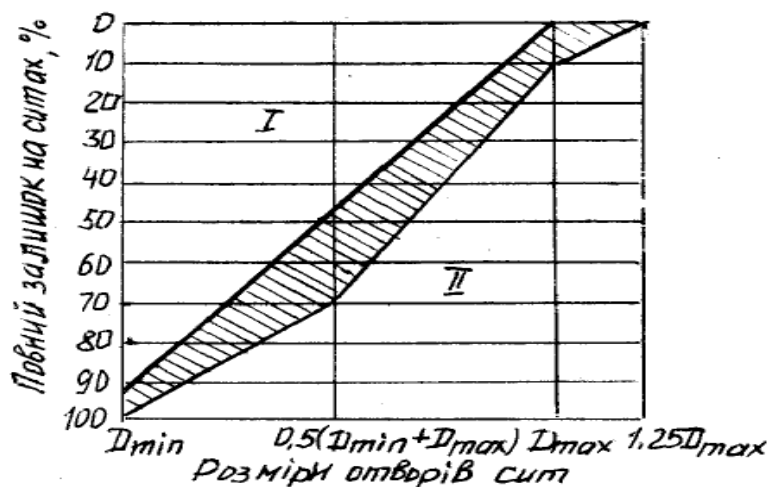


Рисунок 8.1 – Графік зернового складу щебню (гравію):

I – область дрібного щебню (гравію); II – область крупного щебню (гравію)

(URL: <https://studfile.net/preview/3997798/page:16/>)

На осі абсцис графіка відкладають номери сит, що відповідають розмірам отворів сит у міліметрах, на осі ординат – величини повних залишків у відсотках. Якість зернового складу щебню (гравію) оцінюють за значеннями повних

залишків у відсотках на ситах із контрольними отворами D_{min} , $0,5(D_{max} + D_{min})$, $1,25D_{max}$.

Найбільша D_{max} і найменша D_{min} крупність щебню (гравію) характеризується розмірами отворів сит, повні залишки на яких становить відповідно 95 (D_{min}) і 5 (D_{max}) %. На підставі отриманих результатів роблять висновок про крупність крупного заповнювача.

Максимальну крупність зерна заповнювача визначають залежно від розміру бетонної конструкції (не більше $\frac{1}{4}$ мінімального розміру перерізу конструкції).

Визначення насипної густини щебню (гравію)

Середню насипну густину ($\rho_{он}$) визначають зважуванням встановленого об'єму висушеного до постійної маси щебню (гравію) в мірному циліндрі. Для розрахунків ($\rho_{он}$) використовують формулу:

$$\rho_{он} = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (8.1)$$

де m_1 – вага циліндру із заповнювачем, кг; m_2 – вага циліндру, кг; V – об'єм циліндру, м³.

Визначення істинної густини гранітного крупного заповнювача

Для визначення істинної густини польовим методом зважують 100 г гранітного щебню. У мірний стакан наливають воду до визначеної відмітки й висипають щебінь. За законом Архімеда, стовбур води підійметься й позначка на мірному стакані покаже об'єм, на який збільшився об'єм води. Різницю показників об'ємів до та після занурення щебню можна прирівняти до об'єму щебню. Пористість граніту дуже мала (становить менше 1 %), тому нею можна нехтувати й отриманий результат зарахувати як істинну густину гранітного щебню. Розрахунки ведуть за формулою:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (8.2)$$

де m – маса граніту в абсолютно щільному стані (без пор), г; V – об'єм, см³.

Визначення порожнистості крупного заповнювача

Міжзерною порожнистістю заповнювача називають виражене у відсотках відношення об'єму міжзернових пустот до всього об'єму, який займає заповнювач у пухкому стані при вільному засипанні (без ущільнення). Порожнистість – дуже важлива характеристика заповнювача. У щільному конструкційному бетоні всі пустоти повинні бути заповнені цементним тістом. Тому чим менша

порожнистість заповнювача, тим менша витрата цементу при приготуванні бетону. У крупнопористому бетоні, навпаки, бажана підвищена порожнистість заповнювача.

Порожнистість залежить від форми зерен заповнювача й зернового (гранулометричного) складу. Порожнистість визначають за формулою:

$$P = (1 - \rho_{\text{он}} / \rho) \cdot 100 \% \quad (8.3)$$

Визначення вмісту у щебені пластинчастих і голчастих частинок

У чинних стандартах прийнято оцінювати форму зерен заповнювачів співвідношенням їхніх розмірів. Відповідно до ДСТУ Б В.2.7–75–98 визначають вміст у пробі щебеню або гравію пластинчастих (лещадних) і голчастих зерен, товщина або ширина яких менше довжини в три рази й більше.

У таблиці 8.2 наведені результати розрахунків порожнистості для різноманітних правильних багатогранників.

Таблиця 8.2 – Порожнистість сипкого матеріалу залежно від форми зерен

Форма зерен	Порожнистість		
	найбільш щільна	середня	найменш щільна
Куби	0	43,55	87,1
Октаедри	12,1	48,05	83,9
Додекаедри	14,1	37,4	60,7

Також можна досягти оптимальної щільності бетону залежно від варіанта укладання зерен щебеню. Найменша щільність буде, якщо укласти заповнювач рядами так, щоб лінії, які з'єднують їхні центри, утворили куби (рис. 8.2, а), а найбільша щільність відповідає такому взаємному розташуванню, коли лінії, що з'єднують їхні центри, утворять тетраедри (рис. 8.2, б).



Рисунок 8.2 – Варіанти укладки заповнювача (у проєкціях):

а – найменша щільність; б – найбільша щільність

(URL: <https://studfile.net/preview/7297002/page:30/>)

Під час виконання експерименту достатньо розглянути найбільшу фракцію щебню, отриману попереднім просіюванням (рис. 8.3).

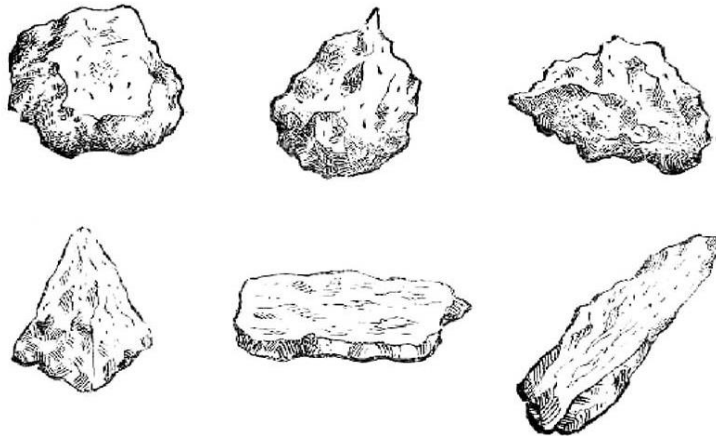


Рисунок 8.3 – Форма зерен великого заповнювача
(URL: <https://www.bosstechnology.com.ua/chem-otlichayutsya-gravijnyj-i-granitnyj-shheben/>)

Результати дослідів записують у такій формі:

1. Маса проби m , г _____
2. Маса зерен пластинчастої та голчастої форми m_1 , г _____

Визначення вмісту зерен пластинчастої та голчастої форми розраховують за формулою

$$Q_{nz} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot 100 \% . \quad (8.4)$$

Вміст пластинчастих і голчастих зерен, %: _____

У висновку порівнюють отримані показники якості піску й щебню з вимогами стандартів і дають рекомендації щодо їхнього використання.

Лабораторна робота 9 **Проектування складу важкого бетону**

Для того щоб бетон мав всі необхідні властивості, потрібно ретельно підібрати вихідні компоненти та їхні співвідношення.

Під час проектування бетонних і залізобетонних конструкцій призначають необхідні характеристики бетону, такі як клас за міцністю, марку за морозостійкістю й водонепроникністю. За проектну *марку бетону* за міцністю при

стиску приймають величину, що відповідає опору стиску (МПа) зразків-кубів з ребром 15 см, віком 28 діб.

Клас бетону – це числова характеристика будь-якої його властивості, що приймається з гарантованою забезпеченістю 0,95.

За міцністю бетони поділяють на такі класи: С 8/10, С 10/12,5, С 12/15, С 16/20, С 18/22,5, С 20/25, С 25/30, С 28/35, С 32/40, С 35/45, С 40/50, С 45/55. За морозостійкістю важкі бетони поділяють на такі марки: F 50, F 75, F 100, F 150, F 200, F 300, F 400, F 500, F 600, F 800, F 1000 (проектну марку призначають за умовами експлуатації). Для конструкцій, від яких вимагають непроникності, встановлені марки за водонепроникністю: W 2, W 4, W 6, W 8, W 10, W 12.

Клас бетону – це гарантована міцність, де можлива похибка вже врахована. Його ввели для уточнення характеристик цементного каменю, оскільки розкид показників в межах однієї марки виявився занадто істотним. Цифровий запис класу після літери «В» визначає навантаження, яке дійсно здатне витримувати моноліт. Воно вимірюється в МПа, що дорівнює приблизно $10,2 \text{ кгс/см}^2$. Потрібно враховувати, що крок вимірювань для показників марки (М) і класу (В) трохи відрізняється. Для В 1,5–В 5 він становить півтора класу, далі – 2,5, а починаючи з В 30 розрив уже дійде до 5 МПа. Коефіцієнт варіації в кожному випадку навіть для нормативних цифр буде відрізнятися, але за необхідності його приймають рівним 13,5 % – саме таким є середній розкид цих параметрів. Якщо раніше клас бетону позначався як В 20, то тепер цей самий клас бетону, відповідно до Європейських стандартів, позначається як С 15/20. Справа в тому, що в деяких європейських країнах, таких як Великобританія, для перевірки міцності бетону на стиск використовують зразки у вигляді циліндра, у якого висота в два рази більше його діаметра. В інших країнах для перевірки міцності використовують бетонні кубики. Тому для цих зразків показники будуть різними. Середню міцність бетону кожного класу визначають при нормативному коефіцієнті варіації, який дорівнює $v = 13,5 \%$ для конструктивних бетонів і $v = 18 \%$ для теплоізоляційних бетонів за формулою:

$$R = \frac{B}{0,098\ 066\ 5(1-1,64 \cdot v)}, \quad (9.1)$$

де B – значення класу бетону, МПа; 0,098 066 5 – перехідний коефіцієнт від МПа до кг/см^2 .

Щоб не плутатися при виборі характеристик бетону, потрібно використовувати таблицю відповідності класів і марок бетону, а також їх порівняння з фактичними показниками міцності (табл. 9.1).

Таблиця 9.1 – Таблиця відповідності класів і марок бетону

Клас бетону за міцністю (С)	Клас бетону за міцністю (В)	Середня міцність бетону такого класу, R		Найближня марка бетону за міцністю (М), кгс/см ²	Відхилення найближньої марки бетону від середньої міцності класу $R-M/R \cdot 100 \%$
		МПа	кгс/см ²		
–	В 0,35	0,49	5,01	М 5	+0,2
–	В 0,75	1,06	10,85	М 10	+7,8
–	В 1	1,42	14,47	М 15	-0,2
–	В 1,5	2,05	20,85	М 25	-1,9
–	В 2	2,84	28,94	М 25	+13,6
–	В 2,5	3,21	32,74	М 35	-6,9
–	В 3,5	4,50	45,84	М 50	-9,1
–	В 5	6,42	65,48	М 75	-14,5
–	В 7,5	9,64	98,23	М 100	-1,8
С 8/10	В 10	12,85	130,97	М 150	-14,5
С 10/12,5	В 12,5	16,10	163,71	М 150	+8,4
С 12/15	В 15	19,27	196,45	М 200	-1,8
С 16/20	В 20	25,70	261,93	М 250	+4,5
С 18/22,5	В 22,5	28,90	294,5	М 300	+1,9
С 20/25	В 25	32,40	327,42	М 350	-6,9
С 25/30	В 30	38,54	392,90	М 400	-1,8
С 28/35	В 35	44,96	458,39	М 450	+1,8
С 32/40	В 40	51,39	523,87	М 550	-5,1
С 35/45	В 45	57,82	589,4	М 600	+1,8
С 40/50	В 50	64,24	654,8	М 700	+6,9
С 45/55	В 55	70,66	720,3	М 700	-2,8

Приклад. Бетон класу С 12/15 показує, що мінімальна міцність циліндра під час стискання дорівнює 12 МПа; мінімальна міцність кубика під час стискання – 15 МПа, тобто 15 МПа це і є клас В 15, яким користуються в Україні.

До моменту затвердіння бетону його називають бетонною сумішшю. Ці суміші належать до структурованих систем, оскільки до їхнього складу входить цементне тісто. Для виконання бетонних робіт необхідно, щоб бетонна суміш мала необхідну консистенцію, відповідну умовам її укладання. Мірою консистенції є так звана легкоукладальність – здатність бетонної суміші заповнювати форму чи опалубку з найменшими затратами зовнішньої енергії. Зазвичай консистенцію бетонної суміші оцінюють показником рухливості (см), або жорсткості бетонної суміші (с). Мірою рухливості є величина осадки суміші, яку визначають за допомогою стандартного конуса (рис. 9.1).

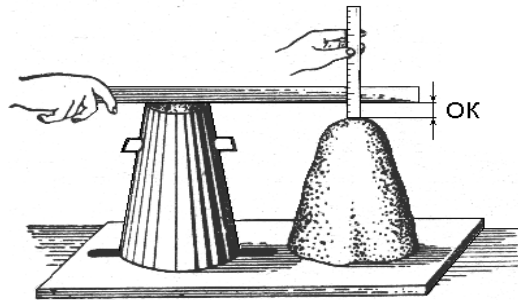


Рисунок 9.1 – Стандартний конус для визначення рухливості бетонної суміші
(URL: https://studref.com/608198/stroitelstvo/betonnaya_smes)

Якщо суміш після зняття конуса не осідає, тобто $OK = 0$ см, то використовують прилад для визначення жорсткості. За легкоукладальністю суміші розрізняють класи П 1–П 5. За жорсткістю передбачено 4 класи – Ж 1–Ж 4.

У початковий період бетон характеризується низькою міцністю й за нормальних умов набуває 60–80 % від марочної міцності тільки через 7–14 діб. Характеристики міцності бетону безпосередньо залежать від фізико-хімічних процесів, що перебігають у разі взаємодії цементу та води. Швидкість набору міцності сильно залежить від температури й вологості. При швидкому висиханні або замерзанні бетону процеси припиняються, що може негативно позначитися на якості виробу або конструкції. Щоб бетон набув міцності, що відповідає класу в початковий період (до 28 днів), після укладання необхідно зволоження свіжосформованої конструкції та укриття її від швидкого висихання. Захистом може бути нанесення бітумної емульсії на свіжоукладений бетон і укриття поліетиленовою або іншою плівкою.

Зростання міцності бетону у часі відповідає логарифмічній залежності

$$R_{28} = R_n \cdot \frac{\lg 28}{\lg n}, \quad (9.2)$$

де R_{28} – марочна міцність бетону у віці 28 діб, МПа; R_n – міцність бетону у віці n діб, МПа.

Логарифмічну залежність також можна визначити графічно, як показано на рисунку 10.2.

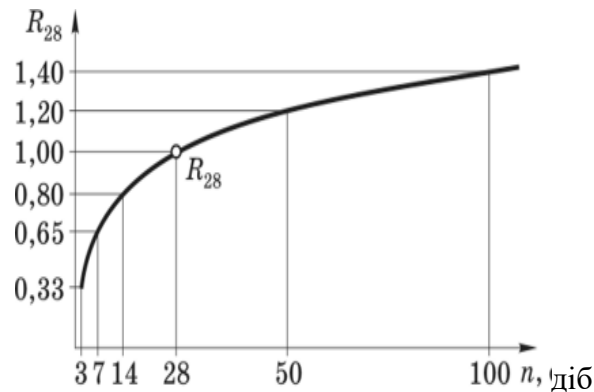


Рисунок 9.2 – Логарифмічна залежність зростання міцності бетону у часі
(URL: <https://studfile.net/preview/5286079/page:8/>)

Перевірка відповідності бетону класу здійснюється в лабораторіях шляхом випробування на стискання зразків-кубиків, розміром 15 см × 15 см × 15 см або циліндрів на пресі. Кількість зразків повинна бути не менше 3 штук.

Щоб встановити міцність вже готових конструкцій, зазвичай застосовують методи неруйнівного контролю. Це непрямі методи, засновані на визначенні показників, пов'язаних із міцністю кореляційною залежністю. Спеціалізовані лабораторії проводять заміри міцності бетону на місці їхньої експлуатації за допомогою одного з таких методів: пластичної деформації; ультразвукового аналізу; ударного імпульсу; пружного відскоку тощо.

Існує багато методів проектування складу бетону, але в основу кожного покладено принцип «абсолютних об'ємів». Суть принципу полягає у припущенні, що сума об'ємів компонентів бетону в абсолютно ущільненому стані становить 1 м³, що записується як рівняння

$$\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\text{П}}{\rho_{\text{п}}} + \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ}}} + \frac{\text{В}}{\rho_{\text{в}}} = 1 \text{ м}^3, \quad (9.3)$$

де Ц, П, Щ, В – витрати відповідно цементу, піску, щебню, води, кг на 1 м³ бетонної суміші; $\rho_c, \rho_p, \rho_{щ}, \rho_v$ – істинна густина цих компонентів, кг/м³.

Порядок розрахунків

Розрахунок складу важкого звичайного цементного бетону виконують на 1 м³ бетонної суміші. Витрати компонентів визначають за масою, всі характеристики компонентів й вихідні дані беруть з проектної документації. Вихідні дані для проведення розрахунків наведені в таблиця 9.2.

Таблиця 9.2 – Вихідні дані

Найменування показників, одиниця виміру	Позначення показника	Значення
Клас бетону, МПа	С	
Легкоукладальність суміші, см	ОК	
Властивості в'язучого: – активність цементу; – істинна густина, кг/м ³ ; – насипна густина, кг/м ³	R_c ρ_c $\rho_{н.ц}$	
Властивості дрібного заповнювача: – модуль крупності піску; – істинна густина піску, кг/м ³ ; – насипна густина піску, кг/м ³ ; – вологість піску, %	M_k ρ_p $\rho_{н.п}$ W_p	
Властивості крупного заповнювача: – крупність зерна, мм; – істинна густина, кг/м ³ ; – насипна густина, кг/м ³ ; – вологість, %	ρ_k $\rho_{н.к}$ W_k	
Об'єм бетонозмішувача, м ³	V_b	

Витрату води (В) визначають орієнтовно за таблицею 9.3 або за графіком проф. Б. Г. Миронова (рис. 9.3), складеним за експериментальними даними.

Таблиця 9.3 – Вибір водопотреби бетонної суміші

Характеристика бетонної суміші		Витрати води, л/м ³ при найбільшій крупності щебню, 1 мм		
Осадка конуса, см	Жорсткість, с	10	20	40
1	2	3	4	5
	40–50	160	150	135
	15–20	175	165	150
2–4	–	200	190	175
5–7	–	210	200	185
8–10	–	215	205	190
10–12	–	225	215	200
12–16	–	230	220	207

Примітка 1. Витрати води для суміші на поргладцементі з НГЦТ 26–28 % і на піску з $M_{кр} = 2,5$.
 Примітка 2. При зміні НГЦТ на кожний відсоток витрати води змінюються на 3–5 л/м³.
 Примітка 3. При зміні модуля крупності піску на кожні 0,5 у менший або більший бік витрати води відповідно зменшуються або збільшуються на 3–5 л.

Витрати води на 1 м³ бетону, л

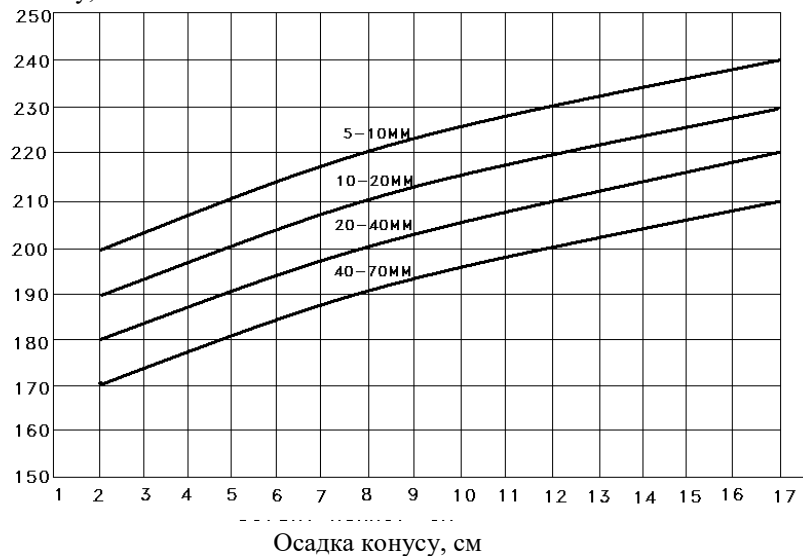


Рисунок 9.3 – Графік для визначення орієнтовної кількості води
 (URL: <https://studfile.net/preview/5848932/page/2/>)

Витрату цементу знаходять з цементно-водного відношення при вже відомій кількості води:

$$Ц = V_{од} (Ц/V_{од}), \quad (9.4)$$

де $V_{од}$ – витрати води, л;

$\text{Ц}/V_{од}$ – цементно-водне відношення, визначають за формулою міцності бетону Боломея – Скрамтаєва (3.3), (3.4):

$$R_{б^T} = R_{ц} \cdot A(\text{Ц}/B - 0,5) \quad \text{при } \text{Ц}/B < 2,5; \quad (9.5)$$

$$R_{б^T} = R_{ц} \cdot A_1(\text{Ц}/B + 0,5) \quad \text{при } \text{Ц}/B > 2,5, \quad (9.6)$$

де $R_{б^T}$ – необхідна міцність бетону у віці 28 діб, МПа; $R_{ц}$ – активність цементу, МПа; A, A_1 – коефіцієнти, що залежать від якості компонентів матеріалів (табл. 9.4).

Таблиця 9.4 – Коефіцієнти якості заповнювачів

Характеристика матеріалів	A	A ₁
Високоякісні	0,65	0,43
Звичайні	0,60	0,40
Низької якості	0,55	0,37

Витрату крупного заповнювача знаходять відповідно до емпіричної залежності

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\frac{V_{пуст} \cdot K_{разд}}{\rho_{н.щ.}} + \frac{1}{\rho_{ц}}}, \quad (9.7)$$

де $V_{пуст}$ – відносний об'єм порожнин (порожнистість) великого заповнювача; $K_{разд}$ – коефіцієнт розсунення зерен щебню (визначається за таблицею 9.5).

За даними таблиці 9.5 залежно від кількості цементу потрібно обрати два найближчі значення коефіцієнта й потім взяти середньо арифметичне від їхньої суми.

Таблиця 9.5 – Коефіцієнт розсування зерен щебню

Витрати цементу, кг/м ³	K _{разд} , при В/Ц				
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
250	–	–	–	1,26	1,32
300	–	–	1,30	1,36	1,42
350	–	1,32	1,38	1,44	–
400	1,31	1,40	1,46	–	–
500	1,52	1,56	–	–	–

Витрату піску визначають з рівняння методу абсолютних об'ємів:

$$\Pi = \left[1\,000 - \frac{Ц}{\rho_{ц}} - B - \frac{Щ}{\rho_{щ}} \right] \cdot \rho_{п}. \quad (9.8)$$

Сума отриманих значень (Ц, П, Щ, В) буде розрахунковою густиною бетонної суміші:

$$\rho_{об} = (Ц + \Pi + Щ + В), \text{ кг/м}^3. \quad (9.9)$$

Склад бетону можна представити й у відносних одиницях:

$$1 : В/Ц : П/Ц : Щ/Ц.$$

Уточнення розрахунків складу бетону

Оскільки розрахунки проводили за емпіричними формулами, необхідно перевірити рухливість і міцність бетону за допомогою пробних замісів (об'єм 10 л). За рухливістю бетонної суміші коригують витрати води при збереженні водоцементного відношення.

Для перевірки відповідності фактичної міцності бетону необхідній з пробного замісу виготовляють три стандартних зразки-куби з ребром 15 см і випробовують їх відповідно до ДСТУ.

Розрахунок виробничого складу бетону

У зв'язку з тим, що заповнювачі в реальних умовах зберігаються просто неба, вони мають вологість, яку потрібно враховувати при розрахунках кількості води замішування. Тому при визначенні виробничого складу бетону розраховують кількість води, яку містять заповнювачі:

$$В_{щ} = W_{щ} \cdot Щ / 100; \quad (9.10)$$

$$В_{п} = W_{п} \cdot П / 100, \quad (9.11)$$

де $W_{щ}$, $W_{п}$ – вологість щебеню та піску, %.

Кількість води замішування потрібно зменшити на величину кількості води у заповнювачах:

$$В_{вз} = В - (В_{щ} + В_{п}). \quad (9.12)$$

Відповідно збільшуються витрати заповнювачів.

Розрахунок вихідних матеріалів на реальний заміс у бетонозмішувачі

При заповненні бетонозмішувача вихідними матеріалами сума сипких об'ємів твердих компонентів бетонної суміші дорівнює об'єму барабана змішувача:

$$V_{бз} = V_{ц} + V_{п} + V_{щ}. \quad (9.13)$$

Під час перемішування об'єм суміші зменшується шляхом заповнення міжзернових порожнин. Відношення об'єму бетонозмішувача до суми об'ємів вихідних компонентів у сипкому стані називається коефіцієнтом виходу бетону, який характеризує ефективність роботи бетонозмішувача:

$$\beta = \frac{1}{V_{ц} + V_{п} + V_{щ}} = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{онц}} + \frac{П}{\rho_{онп}} + \frac{Щ}{\rho_{онщ}}} = 0,55-0,75 \quad (9.14)$$

Отже, об'єм бетону з одного бетонозмішувача можна визначити за формулою:

$$V_{б} = \beta \cdot V_{бз}. \quad (9.15)$$

Витрати вихідних матеріалів на один заміс бетонозмішувача визначають за такими формулами:

$$Ц = \frac{\beta \cdot V_{бз}}{1000} \cdot Ц ; \quad (9.16)$$

$$П = \frac{\beta \cdot V_{бз}}{1000} \cdot П ; \quad (9.17)$$

$$Щ = \frac{\beta \cdot V_{бз}}{1000} \cdot Щ ; \quad (9.18)$$

$$В = \frac{\beta \cdot V_{бз}}{1000} \cdot В , \quad (9.19)$$

де Ц, П, Щ, В – витрати вихідних матеріалів на 1 м³ бетону.

Лабораторна робота 10

Проектування складу та заміс ніздрюватого бетону

Метою цієї лабораторної роботи є проектування складу ніздрюватого цементного газобетону із заданими властивостями й визначення його якісних показників.

Ніздрюватими бетонами називають штучні кам'яні матеріали, які одержують унаслідок твердіння попередньо спученої суміші, що складається з в'язучої речовини, кремнеземистого компоненту та води (рис. 10.1).

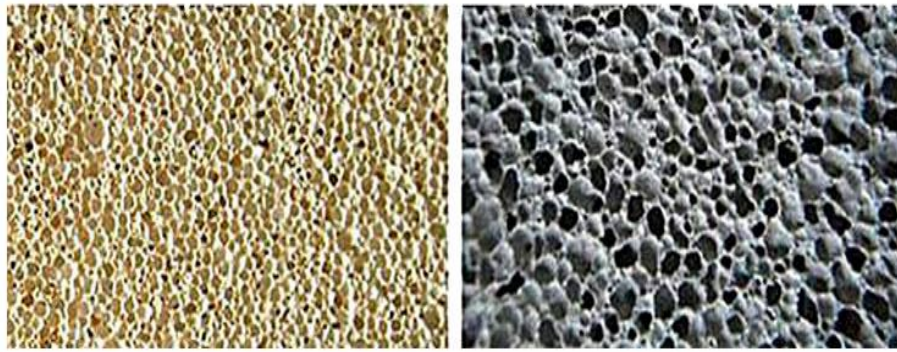


Рисунок 10.1 – Ніздрюваті бетони:

зліва – газобетон; справа – пінобетон

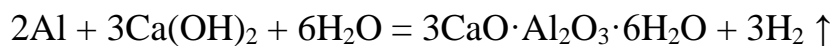
(URL: <https://pp-budpostach.com.ua/ua/a240599-scho-krasche-vibrati.html>)

За призначенням ніздрюваті бетони поділяють на такі:

- конструкційні ($1\ 000 < \rho_0 \leq 1\ 200\ \text{кг/м}^3$);
- конструкційно-теплоізоляційні ($600 < \rho_0 \leq 900\ \text{кг/м}^3$);
- теплоізоляційні ($300 < \rho_0 \leq 500\ \text{кг/м}^3$).

За способом одержання ніздрюваті бетони поділяють на такі види:

- пінобетони (одержують з додаванням піноутворювачів: алюмосульфонафтенів, клесканіфольні, гідролізована кров тварин ГКТ тощо);
- газобетони (одержують з додаванням газоутворювачів: алюмінієва пудра, пергідроль тощо). Наприклад:



За умовами твердіння ніздрюваті бетони поділяють на такі:

- пропарені (в умовах насиченої пари при $T = 80\text{--}100\ \text{°C}$);
- автоклавні (при $T = 175\text{--}190\ \text{°C}$ та $P = 0,8\text{--}1,2\ \text{МПа}$).

Показником якості ніздрюватих бетонів є класи за середньою густиною (D300–500 – для теплоізоляційних; D600–900 – для конструкційно-теплоізоляційних; D1 000–1 200 для конструкційних). Основні властивості ніздрюватих бетонів наведені в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – Основні властивості ніздрюватих бетонів

Властивості	Марка за густиною					
	D 600	D 700	D 800	D 900	D1 000	D1 100
Клас за міцністю на стиск, МПа	B 1,5	B 2,5	B 3,5	B 5	B 7,5	B 10
Пористість, %	79	70	67	63	60	56
Теплопровідність (у сухому стані), Вт/(м · °С)	0,14	0,16	0,2	0,23	0,25	0,3
Водопоглинання протягом 72 год (за об'ємом), %	28	30	33	35	38	40
Початковий модуль пружності, МПа	1 700	2 500	3 800	5 000	7 500	10 000

Порядок розрахунку

Мета розрахунку – одержання ніздрюватого бетону на цементному в'язучому заданої міцності й густини при раціональних витратах компонентів. Вихідні дані для проведення розрахунків наведені в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2 – Вихідні дані

Найменування показників, одиниця виміру	Позначення показника	Значення
Клас бетону за густиною, кг/м ³	D	
Клас бетону за міцністю	B	
Властивості в'язучого: – активність цементу; – істинна густина, кг/м ³ ; – насипна густина, кг/м ³	R _ц ρ _ц ρ _{н.ц}	
Властивості кремнеземистого компоненту: – істинна густина піску, кг/м ³ ; – насипна густина піску, кг/м ³	ρ _п ρ _{н.п}	
Алюмінієва пудра: – газоутворювальна здатність, кг/л	H	

1. Встановлюють співвідношення між кількістю в'язучого і кварцового піску залежно від середньої густини ніздрюватого бетону за таблицею 10.3.
2. Встановлюють витрату цементу, кг:

$$Ц = \frac{\rho_0}{K_1(a + b)}, \quad (10.1)$$

де ρ_o – середня густина газобетону, кг/м³; K_1 – коефіцієнт, що враховує частину зв’язаної води в бетоні (приймають за табл. 10.3); a, b – частини співвідношення в’язучого і кварцового піску (визначають за табл. 10.3).

Таблиця 10.3 – Зведена таблиця для вибору коефіцієнтів при розрахунках складових газобетону

Властивості бетону	Середня густина бетону, кг/м ³									
	300	400	500	600	700	800	900	1 000	1 100	1 200
цемент до піску а : b	1:1	1:1,2	1:1,4	1:1,6	1:1,8	1:2,0	1:2,2	1:2,3	1:2,4	1:2,5
В/Т	0,08	0,64	0,62	0,58	0,56	0,54	0,50	0,48	0,46	0,43
K_1	1,12			1,10			1,08		1,07	
K_2	0,77			0,83			0,85		0,90	

3. Визначають витрату кварцового піску, кг

$$П = Ц \cdot b, \quad (10.2)$$

де b – частина кварцового піску (з табл. 10.3).

4. Визначають витрату води на 1 м³ газобетону за формулою:

$$B = \frac{\rho_o}{K_1} \cdot V/T, \quad (10.3)$$

де V/T назначають залежно від середньої густини газобетону за таблицею 10.3.

5. Витрату газоутворювача на 1 м³ газобетону назначають залежно від середньої густини бетону й газоутворювальної здатності газоутворювача (Н):

$$A = \frac{V_{\pi}}{K_2 \cdot H}, \quad (10.4)$$

де A – витрата газоутворювача, кг; K_2 – коефіцієнт використання робочої здатності газоутворювача (визначають за табл. 11.3); H – газоутворювальна здатність газоутворювача (визначають за таблицею 11.4); V_{π} – об’єм пор газобетону, л.

Об’єм пор газобетону визначають за формулою:

$$V_{\Pi} = 1\,000 - \left[\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{П}{\rho_{П}} + \frac{В}{\rho_{В}} \right], \quad (10.5)$$

де Ц, П, В – витрати відповідно в'язучого, піску й води на 1 м³, кг;
 ρ_ц, ρ_п, ρ_в – густина відповідних компонентів газобетону, кг/м³.

Таблиця 10.4 – Газоутворювальна здатність газоутворювача

Т, °С	0	40	45	50
Н, л/кг	1 254	1 390	1 460	1 480

Порядок виготовлення зразків з газобетону

Відповідно до отриманих даних за масою для кожного з компонентів газобетону потрібно зважити наважку цементу, піску й відміряти воду.

Газоутворювач з алюмінієвої пудри (водно-алюмінієву суспензію) приготують у стакані ємкістю 250 мл. Спочатку в стакан насипають алюмінієву пудру в кількості 2–3 г, додають невелику кількість поверхнево-активної речовини (ССБ, клеєканіфольного мила тощо), а потім доливають 100–150 мл води і все це перемішують протягом 2–3 хв.

Воду для замішування газобетону потрібно підігріти до температури не менше 35–45 °С. Спочатку невелику кількість води додають до піску, а потім примішують водно-алюмінієву суспензію та все перемішують протягом 2 хв. Після ретельного перемішування додають цемент. Для інтенсифікації газовиділення доцільно додати вапняне тісто в кількості 10–20 % від маси цементу. Суміш знову перемішують до однорідності 1–2 хв і розливають у форми, які перед цим змащують машинною олією.

Форми заливають не повністю, а так, щоб залишити вільний об'єм для спучування газобетону. Залежно від густини бетону висота спучування буде різною (табл. 10.5).

Таблиця 10.5 – Залежність висоти зразка газобетонної суміші від густини

Властивість бетону	Густина, кг/м ³							
	300–400	500	600	700	800	900	1 000	1 100–1 200
Висота заповнення форми газобетоном, h	0,4–0,45	0,45–0,55	0,55–0,65	0,7–0,75	0,75–0,8	0,8–0,85	0,85–0,95	0,95–1,00

Після спучування газобетону форму не можна переміщувати, щоб запобігти осіданню суміші. Залишок газобетонної маси (окраєць) зрізають ножом через 3–4 год. Для прискорення твердіння форми з газобетоном піддають пропарюванню за $T = 90 \pm 5$ °С протягом 14–18 год.

Визначення властивостей цементного газобетону

1. *Густина* газобетону визначають шляхом випробування зразків з природною вологістю за ГОСТ 12730.1–78. Виготовляють зразки-куби з довжиною ребра 10 см, витримують 28 діб за $T = 25 \pm 10$ °С і відносній вологості повітря 50 ± 20 %. Густина знаходять за формулою

$$\rho_o = \frac{m}{V} \cdot 1\,000, \quad (10.6)$$

де m – маса зразка, г; V – об'єм зразка, см³.

2. *Вологість газобетону* за масою визначають з похибкою до 0,1 % за формулою

$$W_m = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100 \%, \quad (10.7)$$

де $m_{вл}$, $m_{сух}$ – відповідно маси зразка у вологому й сухому стані, г.

Міцність газобетону під час стиску визначають при випробуванні серії зразків-кубів у кількості не менше 3 штук, висушених до постійної маси. Міцність визначають з точністю до 0,1 МПа за формулою

$$R = \alpha \cdot K_w \cdot \frac{F}{A}, \quad (10.8)$$

де α – масштабний коефіцієнт:

при $\rho_o < 400$ кг/м³ $\alpha = 1,0$ незалежно від розмірів зразка;

при $\rho_o \geq 400$ кг/м³ $\alpha = 0,90$ для зразків із розмірами 7,07 см \times 7,07 см \times 7,07 см;

при $\rho_o \geq 400$ кг/м³ $\alpha = 0,95$ для зразків із розмірами 10 см \times 10 см \times 10 см;

F – руйнівне навантаження, кгс; A – площа перерізу зразка, см²; K_w – погоджувальний коефіцієнт для ніздрюватого бетону залежно від вологості зразка (приймають за даними табл. 10.6).

Таблиця 10.6 – Коефіцієнт міцності ніздрюватого бетону K_w

Вологість ніздрюватого бетону за масою, %	Погоджувальний коефіцієнт K_w
0	0,8
5	0,9
10	1,0
15	1,05
20	1,10
25 і більше	1,15

Відповідно даних таблиці 10.6 підрахувати міцність ніздрюватого бетону.

Лабораторна робота 11

Проектування складу та заміс складного будівельного розчину

Будівельним розчином є штучний камінь, утворений з суміші одного або кількох в'язучих, дрібного заповнювача, води та необхідних добавок.

До затвердіння будівельний розчин називають розчинною сумішшю.

Будівельні розчини за складом поділяють на *прості* з використанням одного виду в'язучого (цемент, вапно, гіпс та ін.) і *складні* з використанням змішаних в'язучих (цементно-вапняні, вапняно-зольні, вапняно-гіпсові та ін.).

Показники якості будівельного розчину:

- міцність на стиск у віці 28 діб;
- морозостійкість.

Для розчинної суміші потрібно знати її:

- рухливість;
- водоутримувальну здатність;
- розшарованість.

Залежно від рухливості розчинні суміші поділяють на марки (табл. 11.1).

Таблиця 11.1 – Марки розчинної суміші за рухливістю

Марка розчинної суміші	Норма за рухливістю, см	Призначення розчинної суміші
1	2	3
П 4	Від 1 до 4 включно	Бутове мурування, ущільнене вібруванням

Продовження таблиці 11.1

1	2	3
П 8	Вище 4 до 8 включно	Бутове мурування звичайне з каміння, монтаж стін із великих блоків і панелей, облицювальні роботи
П 12	Вище 8 до 12 включно	Мурування із звичайної цегли й каменю, штукатурні й облицювальні роботи
П 14	Вище 12 до 14 включно	Заповнення порожнин у бутовій кладці

Для будівельних розчинів встановлені такі марки за міцністю на стиск: М 4, М 10, М 25, М 50, М 75, М 100, М 150, М 200.

Для розчинів, що використовують для зовнішніх робіт, призначають і контролюють марки за морозостійкістю: F 10, F 15, F 25, F 35, F 50, F 75.

За середньою густиною розчини поділяють на такі:

- важкі (з середньою густиною 1 500 кг/м³ і більше);
- легкі (з середньою густиною менше 1 500 кг/м³).

Проектування складу складного розчину

Мета роботи – встановлення раціонального співвідношення компонентів, що забезпечить одержання розчинної суміші заданої рухливості й набуття розчином необхідної міцності у визначений термін.

Для встановлення складу розчинів марок М 25 і вище виконують розрахунок на 1 м³ піску.

Після виготовлення пробного замісу і випробування суміші уточнюють.

Таблиця 11.2 – Вихідні дані для розрахунків

Найменування показника	Показник
Вид розчину за призначенням	
Марка розчину на стиск, МПа	
Рухливість розчину, см	
Вид в'язучого: – активність, кг/см ² ; – насипна густина, кг/м ³	
Вид заповнювача: – насипна густина, кг/м ³	
Вид добавки: – середня густина, кг/м ³	

Порядок проведення розрахунку

Розрахунок проводять за емпіричними залежностями.

1. Знаходимо кількість цементу (кг) на 1 м³ піску:

$$Q_u = \frac{R_p \cdot 1000}{k \cdot R_u}, \quad (11.1)$$

де R_p – задана марка розчину, кгс/см², R_u – активність цементу, кгс/см², k – коефіцієнт при використанні портландцементу $k = 1$.

Об'єм цементу визначають за формулою:

$$V_u = \frac{Q_u}{\rho_{н.ц.}}, \quad (м^3), \quad (11.2)$$

де $\rho_{н.ц.}$ – густина цементу у насипному стані, кг/м³.

2. Знаходимо витрати добавки (вапняне тісто) на 1 м³ піску:

$$Q_d = V_d \cdot \rho_d, \quad (11.3)$$

$$V_d = 0,17(1 - 0,002 \cdot Q_u). \quad (11.4)$$

3. Склад змішаного розчину в частинах визначають як результат співвідношення об'ємів відповідних компонентів розчину до об'єму цементу:

$$\frac{V_u}{V_u} : \frac{V_d}{V_u} : \frac{V_n}{V_u},$$
$$\frac{V_u}{V_u} = 1; \quad \frac{V_d}{V_u} = x; \quad \frac{V_n}{V_u} = y.$$

4. Орієнтовану кількість води на 1 м³ піску для отримання розчинної суміші заданої рухомості знаходять за формулою:

$$Q_w = 0,65(Q_u + V_d \cdot \rho_d). \quad (11.5)$$

Отримані результати використовують для розрахунків пробного замісу й потім уточнюють дослідним шляхом. Розрахунок складу складного розчину на пробний заміс (5 л):

$$Q_{ц.з.} = \frac{V_3}{1+x+y} \cdot 1 \cdot \rho_ц \quad (\text{кг});$$

$$Q_{д.з.} = \frac{V_3}{1+x+y} \cdot x \cdot \rho_д \quad (\text{кг});$$

$$Q_{в.з.} = (Q_{ц.з.} + Q_{д.з.}) \cdot 0,65 \quad (\text{л});$$

$$Q_{п.з.} = \frac{V_3}{1+x+y} \cdot y \cdot \rho_п \quad (\text{кг}),$$

де V_3 – об'єм замісу; $Q_{ц.з.}$, $Q_{д.з.}$, $Q_{п.з.}$, $Q_{в.з.}$ – витрати на пробний заміс відповідно цементу, добавки, піску і води; 1 , x , y – частини цементу, добавки, піску у складі розчину.

Приготування пробного замісу

За пробним замісом визначають фактичні значення рухливості розчинної суміші й після формування зразків та їхнього твердіння – міцності розчину.

Щоб приготувати будівельний розчин, необхідно зважити всі компоненти за розрахунком. До піску додають цемент і ретельно перемішують протягом 5 хвилин, потім додають вапняне тісто та знову перемішують. Після цього додають воду й остаточно перемішують суміш протягом 3...5 хв.

Визначення рухливості розчинної суміші

Рухливістю розчинної суміші називається її здатність розтікатися під дією власної ваги. Рухливість визначають за допомогою приладу (рис. 11.1) і вимірюють за глибиною занурення у розчинну суміш сталевого конуса (в см).

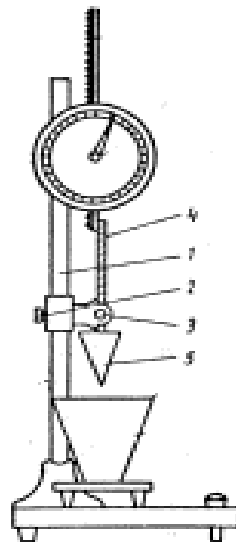


Рисунок 11.1 – Схема приладу для визначення рухливості розчинної суміші
(URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/consistometer>)

Для визначення рухливості викладають у ємність приладу до рівня приблизно на 1 см нижче її країв. Укладену суміш штикують 25 разів сталевим прутом діаметром 10...12 мм і ущільнюють струшуванням ємності 5...6 разів. Конус доводять до поверхні розчинної суміші та встановлюють стрілку приладу проти нуля на циферблаті. Натискають кнопку, при цьому конус вільно занурюється у суміш. Через 10 секунд проводять відлік за шкалою приладу з похибкою не більше 0,2 см.

Рухливість суміші (см) обчислюють як середнє арифметичне результатів двох випробувань. Якщо величина занурення конуса буде більше або менше, то виготовляють новий заміс з меншим або більшим вмістом води.

У разі відповідності величини занурення конуса заданій величині визначають водо-цементне співвідношення.

Визначення середньої густини розчинної суміші

Густину розчинної суміші визначають у циліндрі об'ємом 1 л \pm 2 мл. Зважений порожній циліндр заповнюють розчиною сумішшю з деяким надлишком. Ущільнюють суміш штикуванням (25 разів) сталевим прутом діаметром 10...12 мм.

Масу розчинної суміші визначають як різницю маси циліндра з сумішшю та порожнього циліндра, з похибкою не більше 5 г.

Густину обчислюють як середнє арифметичне результатів двох випробувань і записують до таблиці 11.1.

Таблиця 11.1 – Густина розчинної суміші

Показники	Проби розчинної суміші	
	I	II
Маса порожнього циліндра, г		
Маса повного циліндра, г		
Маса розчинної суміші, г		
Густина розчинної суміші		

Визначення марки за міцністю будівельного розчину

Марку будівельних розчинів визначають випробуванням не менше трьох зразків-балочок розміром 40 мм \times 40 мм \times 160 мм на вигин та їх половинок – на стиск (рис. 11.2), або на зразках-кубах з довжиною ребра 7,07 см \times 7,07 см \times 7,07 см у віці 28 діб твердіння у нормальних умовах зберігання.

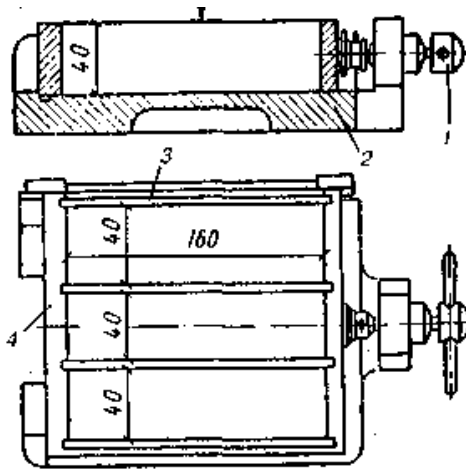


Рисунок 11.2 – Форма для виготовлення зразків-балочок
 ([URL:https://org2.knuba.edu.ua/pluginfile.php/122099/mod_resource/content/2](https://org2.knuba.edu.ua/pluginfile.php/122099/mod_resource/content/2))

Зразки-балочки виготовляють з розчинової суміші у формах із піддоном. Розчинову суміш ущільнюють штикуванням. Форму заповнюють за два шари. Надлишок суміші зрізують ножем і згладжують поверхню.

Форми-балочки, заповнені розчиновою сумішшю, витримують до розпалубки за температури $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ і відносній вологості понад 90 %. Через (24 ± 2) години після укладання зразки-балочки виймають із форм і зберігають за температури $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ у воді.

Зразки випробують спочатку на вигин на приладі МВВ–100, а потім отримані половинки випробують на стиск на гідравлічному пресі ПЛГ–10 з використанням стандартних пластинок площею 25 cm^2 .

Розрахунок виконують за формулою:

$$R_c = \frac{P}{S},$$

де P – руйнівне навантаження, кг, S – площа перерізу зразка, cm^2 .

Контрольні запитання

1. Наведіть вимоги до заповнювачів для бетонів.
2. Як визначити зерновий склад піску й щебню?
3. Як визначають модуль крупності піску?
4. Які домішки у піску та щебні належать до шкідливих і чому?
5. Наведіть методику визначення вмісту органічних домішок у піску.
6. Наведіть методику визначення пластинчастих і голчастих зерен у щебні.
7. Навести класифікацію бетонів.

8. Навести послідовність розрахунку складу бетону.
9. Що таке марка й клас бетону?
10. Як визначають рухливість бетонної суміші?
11. У чому полягає різниця між лабораторним й виробничим складом бетону?
12. Які бетони називають ніздрюватими та за якими ознаками їх класифікують?
13. Назвати основні властивості ніздрюватих бетонів.
14. Що таке будівельний розчин? Навести їхню класифікацію.
15. Як визначається рухливість розчинної суміші?
16. Навести основні властивості будівельного розчину?

РОЗДІЛ VI

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Лабораторна робота 12

Оцінка якості деревини

Ділова будівельна деревина – звільнена від кори, крони й коріння тканина волокон, що знаходиться у стовбурі дерева.

Ріст деревини, що відбувається у весняний і літній періоди року, припиняється восени. Утворений у період росту новий шар деревини складається із клітин, що з'явилися навесні (великих і пористих) – вони мають низьку механічну міцність, і клітин, що утворилися влітку (дрібних, щільних, з товстими стінками) – міцніші. Колір літньої деревини темніше через більшу щільність клітин, така деревина називається пізньою.

Стовбур становить головну частину дерева. Макроструктуру стовбура розглядають у трьох напрямках: поперечному (перпендикулярно осі стовбура), радіальному (що проходить через вісь стовбура) і тангенціальному (що проходить у площині осі стовбура, на деякій відстані від неї) (рис. 12.1).

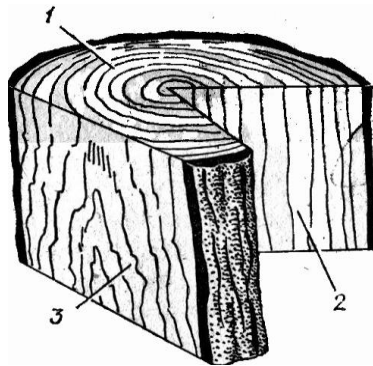


Рисунок 12.1 – Основні розрізи стовбура дерева:
1 – поперечний; 2 – радіальний; 3 – тангентальний
(URL: <https://extxe.com/20837/stroenie-drevesiny/>)

На поперечному розрізі стовбура розрізняють такі головні частини: кору, луб, камбій, власне деревину (що складається із заболоні та ядра) і стрижень.

Вивчення макроструктури дає змогу встановити головні ознаки деревини, визначити її породу й прогнозувати фізико-механічні та інші властивості.

Мета роботи – визначення головних властивостей деревини та вивчення її мікроструктури.

Визначення вологості деревини

Вологість деревини значно впливає на її головні властивості. Зі збільшенням цього показника всі головні властивості деревини погіршуються: збільшується густина, зменшується міцність, збільшується теплопровідність. Вологість деревини визначають у відсотках за відношенням до маси сухого зразка. Вологість, якої набуває деревина внаслідок тривалого перебування на повітрі зі сталими температурою та вологістю, називають рівноважною вологістю. Кожному поєднанню температури й вологості повітря певної породи деревини відповідає її певна гігроскопічна вологість. Стандартна вологість деревини прийнята за 12 %.

Для визначення рівноважної вологості користуються номограмою, розробленою М. М. Чулицьким (рис. 12.2), для визначення температури та вологості повітря у приміщенні використовують гігрометр психометричний ВІТ-1.

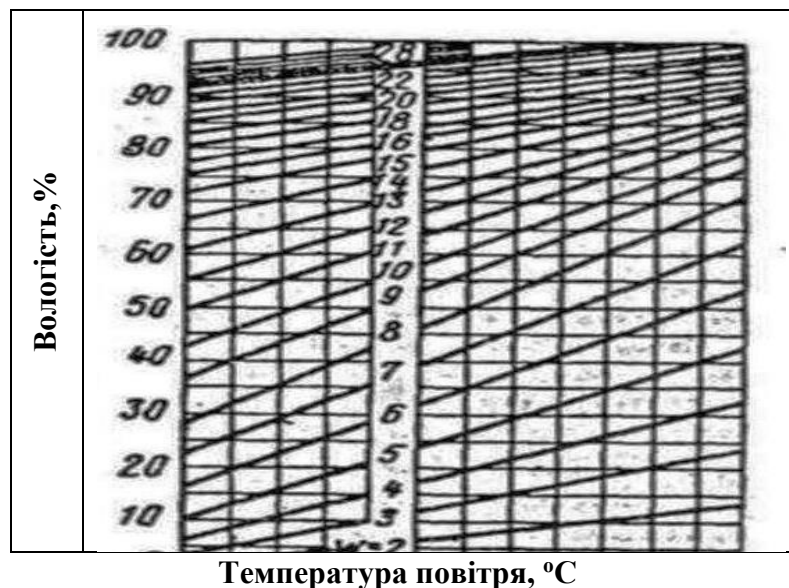


Рисунок 12.2 – Номограма М. М. Чулицького

(URL: https://bstudy.net/896264/tehnika/diagramma_chulitskogo_opredeleniya_ravnoy_vlazhnosti_drevesiny)

Результати визначення вологості деревини потрібно занести до таблиці 12.1.

Таблиця 12.1 – Параметри для визначення вологості деревини

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Порода деревини		
Середня температура повітря у приміщенні, °С	$t_{сух}$	
Показання «вологого» термометра, °С	$t_{вол}$	
Середня відносна вологість повітря у приміщенні, %	$W_{нов}$	
Вологість деревини, %	$W_{дер}$	

Визначенні середньої густини

Метод визначення середньої густини деревини залежить від геометричної форми зразка матеріалу. Зразок деревини правильної герметичної форми (куб, паралелепіпед, циліндр тощо) вимірюють і розраховують об'єм за відповідною формулою. Потім зразок зважують із похибкою не більше 0,1 г. Результати дослідження заносять у таблиці 12.2, коефіцієнт K^w_{12} визначають за таблицею 12.3.

Таблиця 12.2 – Результати дослідження

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Порода деревини		
Геометричні розміри зразка, см	$a \times b \times h$	
Об'єм зразка, см ³	V	
Маса зразка, г	m	
Вологість деревини, %	$W_{дер}$	
Коефіцієнт перерахунку з таблиці 3.3	K^w_{12}	
Середня густина деревини під час випробування, г/см ³	ρ_w	
Середня густина деревини за 12 % вологості, г/см ³	$\rho_{12}^w = \frac{\rho_w}{K_{12}^w}$	

Таблиця 12.3 – Коефіцієнти перерахунку K^w_{12}

Вологість, %	Коефіцієнт перерахунку K^w_{12}	
	Біла акація, береза, бук, граб, ялиця	Інші породи деревини
1	2	3
5	0,980	0,972
6	0,983	0,977

Продовження таблиці 12.3

1	2	3
7	0,986	0,981
8	0,989	0,985
9	0,992	0,989
10	0,995	0,993
11	0,997	0,996
12	1,000	1,000
13	1,002	1,004
14	1,005	1,007
15	1,007	1,010
16	1,009	1,014
17	1,011	1,017
18	1,013	1,020
19	1,014	1,023
20	1,016	1,026
21	1,018	1,029
22	1,019	1,031
23	1,020	1,034
24	1,021	1,036
25	1,022	1,039
26	1,023	1,041
27	1,024	1,043
28	1,025	1,046
29	1,025	1,048
30	1,026	1,050

Визначення відсотка пізньої деревини

Річні шари деревини складаються з ранньої та пізньої деревини, яка є щільнішою та міцнішою. Чим більше утворилося пізньої деревини, тим вища механічна міцність деревини. Для визначення відсотка пізньої деревини на поперечному розрізі зразка в радіальному напрямі потрібно накреслити лінію *l*, завдовжки 20 мм. Потім у кожному річному шарі виміряти ширину пізньої деревини *a* з точністю до 0,1 мм. Величину відсотків пізньої деревини підрахувати за формулою

$$m = \frac{\sum a_i}{l} \cdot 100 \%, \quad (12.1)$$

де $\sum a_i$ – загальна ширина пізніх зон, мм; l – довжина лінії, мм.

Результати визначення кількості річних шарів в 1 см і відсоток пізньої деревини занести до таблиці 12.4.

Таблиця 12.4 – Вміст пізньої деревини

Порода деревини	Кількість річних шарів n , шт.	Довжина лінії l , мм	Загальна ширина пізніх зон $\sum a_i$, мм	Вміст пізньої деревини, %

Залежність між відсотковим вмістом пізньої деревини та межами міцності під час стиску й вигинання визначають за формулою:

$$\sigma = C \cdot m + D,$$

де σ – межа міцності під час стиску вздовж волокон або вигинанні за нормальною вологістю (12 %), МПа; m – вміст пізньої деревини, %; C , D – коефіцієнти, що залежать від породи деревини й різновиду зовнішніх навантажень, обирають за таблицею 12.5.

Таблиця 12.5 – Значення коефіцієнтів C і D

Різновид зовнішніх навантажень	Значення « C », МПа		Значення « D », МПа	
	дуб	сосна	дуб	сосна
Стискання уздовж волокон	0,32	0,6	29,45	30,0
Статичне вигинання	0,73	1,4	47,50	56,0

Результати визначення міцності деревини занести до таблиці 12.6.

Таблиця 12.6 – Результати для визначення міцності деревини

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Порода деревини		
Вміст пізньої деревини, %	m	
Межа міцності під час стискання, МПа	$\sigma_{ст}$	
Межа міцності під час вигинання, МПа	$\sigma_{виг}$	

Вади деревини

Вадами деревини називають відхилення від її нормальної будови, пошкодження та захворювання. Вади деревини є невід'ємною частиною цього природного матеріалу. Їхня наявність, розміри та кількість визначають сортність лісоматеріалів та можливість їхнього використання у промисловості. Найбільш негативний вплив на міцність деревини мають гнилі, великі сучки та глибокі тріщини. Такі матеріали вибраковуються або використовуються для менш відповідальних конструкцій. Водночас деякі вади будови (свилуватість, капи) перетворюються на переваги в руках майстрів-червонодеревників, дозволяючи створювати унікальні художні вироби з неповторною текстурою.

Походження вад може бути різним, наприклад, одні утворюються у період зростання дерева, а інші – під час його зберігання та експлуатації (табл. 12.7).

Таблиця 12.7 – Різновиди вад деревини

Групи вад	Головні типи	Причини вад
1	2	3
Тріщини (розриви деревини волокон) вздовж	Мітик	Виникають під час росту і в зрубаному дереві при висиханні
	Відлупина	Спричинюється морозом
	Морозні тріщини	
	Тріщини всихання	Утворюються при висиханні
Сучки (частини гілок)	Здорові зрощені	Утворюються в період росту дерева
	Незрощені	
Пошкодження комахами (червоточина)	Поверхневі	Ходи й отвори, пророблені комахами
	Неглибокі або глибокі	
	Наскрізні	
Вади будови деревини	Нахил волокон – відхилення від повздовжньої осі колоди	Неправильність росту; внаслідок обдирання, удару чи пошкодження кори вогнем
	Завилькуватість – звивисте чи безладне розміщення волокон	
	Завиток – місцеве викривлення волокон	
	Крен – ненормальний підсилений розвиток пізньої зони деревини	
	Засмолок – ділянка деревини, густо просочена смолою	
	Прорість – омертвіла ділянка деревини чи кори	
	Сухобокість – зовнішнє однобічне омертвіння стовбура	

Продовження таблиці 12.7

1	2	3
Вади форми стовбура	Збіжистість – діаметр стовбура зменшується більше як на 1 см на кожному метрі висоти стовбура	
	Закомелістість – різке збільшення діаметра нижньої частини стовбура	
	Кривизна – викривлення стовбура	
Хімічні забарвлення	Гнилизна	Виникають унаслідок хімічних та біохімічних процесів окиснення дубильних речовин
	Грибні забарвлення	

Сорт деревини, її якість встановлюють здебільшого за наявністю вад деревини. Результати огляду зразків із вадами заносять до таблиці 12.8. Опис вад деревини надають за допомогою таблиці 12.7.

Таблиця 12.8 – Вади зразка деревини

Групи вад	Опис	Рисунок

Вивчення мікроструктури деревини

Мікроструктуру деревини вивчають під мікроскопом. Приклади мікроструктури деревини наведено на рисунку 12.3.

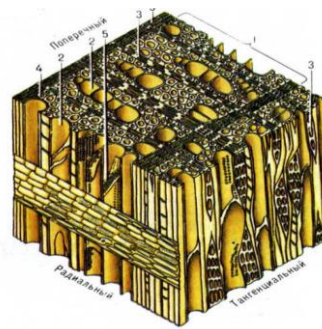


Рисунок 12.3 – Мікроструктури деревини

(URL: https://stud.com.ua/74743/tehnika/anatomichnoyi_budovi_derevini#google_vignette)

Необхідно на спеціально підготовлених зразках, які є тонкими зрізами різних порід деревини, роздивитися особливості мікроструктури й занести рисунки до своїх конспектів.

Контрольні запитання

1. Навести позитивні властивості деревини.
2. Як і навіщо визначають відсоток пізньої деревини?
3. Як визначити розрахункову міцність деревини залежно від вмісту пізньої деревини?
4. Як визначити вологість деревини?
5. Як визначити середню густину деревини?
6. Навести класифікацію вад деревини.

Лабораторна робота 13

Випробування нафтового бітуму та покрівельних матеріалів на його основі

Бітумні в'язучі речовини належать до органічних в'язучих матеріалів, які є сумішами високомолекулярних вуглеводнів та їхніх неметалевих похідних, що змінюють свої фізико-механічні властивості залежно від температури. Вони здатні розм'якшуватися під час нагрівання та відновлювати свою первісну в'язкість під час охолодження. Ці речовини добре зчіплюються з поверхнею каменю, піску, бетонів, цегли та багатьох інших твердих матеріалів, мають підвищену водонепроникність, пластичність і стійкість проти атмосферних впливів.

За технологічними особливостями виготовлення матеріали на основі бітумів підрозділяють на листові й рулонні, емульсії й мастики, розчини й бетони. За призначенням бітумні матеріали бувають шляховими, гідроізоляційними, герметизувальними, покрівельними, теплоізоляційними й антикорозійними. У низці випадків для них характерне поліфункціональне призначення. Вони одночасно можуть бути гідроізоляційними й покрівельними або антикорозійними, гідро- й теплоізоляційними.

Головними показниками якості бітумів є в'язкість (твердість), деформативність і теплостійкість. За цими показниками бітуми поділяють на марки. За необхідністю визначають також інші властивості бітумів – температуру спалаху, крихкість, розчинність тощо.

Головними характеристиками бітумних матеріалів, за якими визначають їхню марку, є в'язкість (твердість), розтяжність (дуктильність) і температура розм'якшення (ДСТУ 4044:2019).

13.1 Визначення марки нафтового бітуму

Визначення в'язкості (твердості) бітумів

Для напівтвердих і твердих бітумів в'язкість (твердість) визначається на *пенетрометрі* (рис. 13.1). В'язкість (твердість) оцінюють за глибиною занурення голки протягом 5 с у спеціально підготовлений зразок бітуму за $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Дослід повторюють не менше трьох разів, кожен раз голку занурюють в інше місце на відстані не менше ніж 10 мм від попереднього.



Рисунок 13.1 – Прилад пенетрометр

(URL: <http://standart-m.com.ua/ispytatelnoe-oborudovanie/stroitelnyh-laboratorij/penetrometr-984-pk>)

Результат випробування записують у градусах пенетрації (1 кутовий градус відповідає 0,1 мм) (табл. 13.1).

Таблиця 13.1 – Результати випробувань в'язкості (твердості) бітуму

Глибина занурення голки за температури 25 °С	Середній показник

Схему пенетрометра замальовують у журналі лабораторних робіт.

Визначення розтягуваності (пластичності) бітумів

Пластичність бітумів пов'язана з їхньою розтягуваністю, яка оцінюється за видовженням зразку бітуму у вигляді «вісімки» на приладі *дуктилометрі*.

Показником розтягуваності бітуму є значення деформації шийки зразка в момент розриву, виражене в сантиметрах. Це випробування виконують за швидкістю розтягування 5 см/хв і температурою 25 °С. Випробування повторюють три рази. Дані заносять до таблиці 13.2.

Таблиця 13.2 – Результати випробувань розтягуваності бітуму

Початковий показник приладу, см	Кінцевий показник приладу, см	Різниця показників, см

Схему дуктилометра зарисовують у лабораторному журналі (рис.13.2).

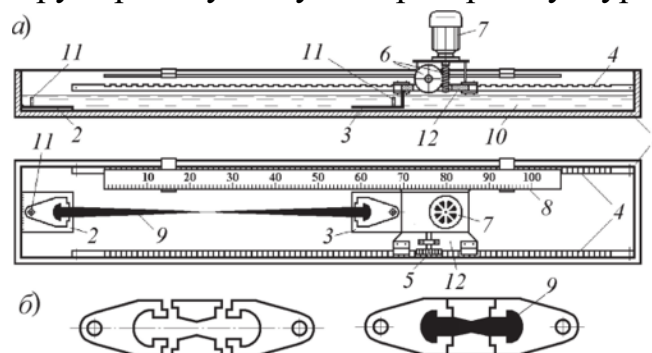


Рисунок 13.2 – Схема приладу дуктилометр (а) та форми зразків (б)
(URL: <https://studfile.net/preview/6148202/page/9/>)

Визначення температури розм'якшення бітумів

Температура розм'якшення характеризує верхню температурну границю застосування бітуму й дає можливість порівняти відносну теплостійкість. Вона визначається на приладі «кільце й куля», що складається з двох металевих дисків, розташованих на відстані 25,4 мм. Верхній диск має чотири отвори, в яких встановлені латунні кільця. Кільця перед цим заповнюють розплавленим бітумом і після охолодження у центр кладуть сталеву кульку масою 3,45–3,55 г. Термометр установлюють по осі на рівні зразка. Прилад розміщують у термостійкому стакані, який заповнюють водою, або іншою рідиною, так, щоб зразок бітуму був повністю занурений. Стакан нагрівають на вогні. Температуру, за якою деформований бітум під дією маси кульки доторкнеться до нижнього диска, приймають за температуру розм'якшення (рис. 13.3).

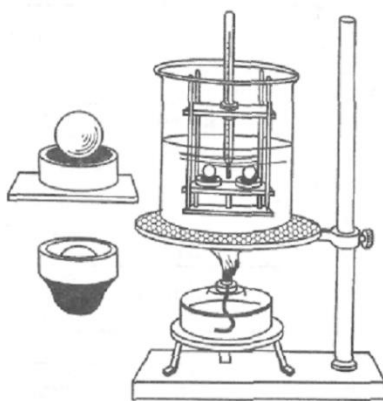


Рисунок 13.3 – Схема приладу «Кільце й куля»

(URL: <https://studfile.net/preview/2912373/page:19/>)

Позначення марки бітуму складається з літер, які пов'язані з його призначенням. Наприклад, БНК–90/30 – бітум нафтовий покрівельний та цифр, перша з яких відповідає температурі розм'якшення, а друга – пенетрації.

Марку бітуму визначають із використанням таблиці 13.3.

Таблиця 13.3 – Марки нафтового бітуму

Показники	Марки будівельних бітумів			Марки покрівельних бітумів		
	БН–50/50	БН–70/30	БН–90/10	БНК–45/180	БНК–90/40	БНК–90/30
Глибина занурення голки за температурою 25 °С, град	41–60	21–40	5–20	140–220	35–45	23–35
Розтягуваність за 25 °С, не менше	40	3	1	–	–	–
Температура розм'якшування, °С	50	70	90	40–50	85–95	85–95
Температура спалаху °С, не нижче	220	230	240	240	240	240

13.2 Визначення технічних характеристик рулонних покрівельних матеріалів на основі бітуму

Рулонні покрівельні матеріали за структурою полотна поділяють на основні й безосновні. Як основу рулонного матеріалу застосовують покрівельний картон,

склотканини, фольгу, тканини на основі поліефірних волокон, окисдовані, модифіковані еластоміри й пластоміри, азбестовий папір (рис. 13.4).



Рисунок 13.4 – Улаштування рулонної покрівлі

Із застосуванням нафтових бітумів виробляють: руберойд, наплавний руберойд, пергамін, склоруберойд, гідросклоізол, фольгоізол, гідроізол, ізол, монобітен, лінкором тощо. Рулонні покрівельні матеріали виготовляють із захисним шаром у вигляді посипки. Посипка буває крупнозерниста, дрібнозерниста, лускоподібна, пилувата. Технічні вимоги до рулонних покрівельних матеріалів наведено в таблиці 13.4.

Таблиця 13.4 – Технічні вимоги до рулонних покрівельних матеріалів

Назва матеріалу	Марка	Назва показника			
		Розривне зусилля під час розтягання, кг, не менше	Гнучкість мм	Водонепроникність, не менше	
				Тиск	Час випробування, хв
1	2	3	4	5	6
Руберойд покрівельний із крупнозернистою посипкою	РКК–А420	333 (34)	15	0,7	10
	РКК–420Б	333 (34)	15	0,7	10
	РКК–350Б	333 (34)	15	0,7	10
Руберойд покрівельний із лускоподібною посипкою	РКЧ–350Б	313 (32)	15	Не норм.	Не норм.

Продовження таблиці 13.4

1	2	3	4	5	6
Руберойд покрівельний із пілуватою посипкою	РКП–350А РКП–350Б		15 15		10 10
Руберойд підкладний із пілуватою посипкою	РПП–300А РПП–300Б		10 10		10 10
Руберойд підкладний із пілуватою підсипкою еластичний	РПЕ–300		20		10
Гідроізол гідроізоляційний	ГИ–Г		30		10
Гідроізол покрівельний	ГИ–К		–	–	–
Ізол без полімерних домішок	И–БД		–	–	–
Ізол із полімерними домішками	И–ПД				

Літери у позначенні марок рулонних покрівельних матеріалів означають перші літери російських слів, які використані в назвах матеріалу. Наприклад: руберойд РКК-420А. Р – руберойд; К – перша літера російського слова «кровельный» (покрівельний); П – перша буква російського слова «пылевидная» (пилувата). Число та літера після перших трьох літер позначають марку картону.

Для визначення технічних характеристик беруть 1 % зразків від партії (1 000 рулонів) і не менше двох рулонів. З кожного рулону на відстані не менше 1 м від його початку відрізають смужки по 1,5 м завширшки, з яких виготовляють зразки потрібних розмірів і в кількості, потрібній для кожного випробування.

Перед початком випробувань зразки рулонних покрівельних матеріалів витримують не менше 10 год за $T = 20 \pm 5$ °С.

Оцінка зовнішнього вигляду рулонних покрівельних матеріалів

Під час оцінювання зовнішнього вигляду рулонних матеріалів звертають увагу на маркування, пакування, рівномірність розподілу посипки, наявність або

відсутність злипання, дір, тріщин, розривів, складок, і роблять відповідні записи у лабораторному журналі.

Визначення розривного зусилля під час розтягування

Для випробувань виготовляють три стрічки матеріалу в поздовжньому напрямку розміром 250 мм × 50 мм, витримують їх у воді за $T = 20 \pm 5$ °С протягом двох годин. Дослід проводять шляхом розтягування зразків на динамометрі до моменту розриву і визначають зусилля у кілограмах (кгс).

Визначення гнучкості рулонних будівельних матеріалів

Гнучкість визначають на трьох зразках розміром 20 мм × 50 мм на приладі «Шкала гнучкості», який зроблено у вигляді набору стрижнів різного діаметра (20, 15, 5, 3, 1 мм). Перед початком випробування зразки витримують у воді протягом 10–15 хв за $T = 16–20$ °С. Потім огортають з зусиллям смужкою рулонного матеріалу стрижні, починаючи з найбільшого діаметра й так до найменшого. Досліджують наявність на поверхні зразка тріщин. Результат записують як діаметр стрижня, який був попереднім перед руйнуванням шару бітуму на зразку.

Визначення водонепроникності покрівельних рулонних матеріалів

Водонепроникність рулонного матеріалу визначають як термін часу, протягом якого він не пропускає воду за постійним гідростатичним тиском.

Для випробування зразок розміром 300 мм × 300 мм згинають у формі короба з площею грані 100 мм × 100 мм. Під короб кладуть лакмусовий папірець (це індикатор кислотності середовища). У коробку заливають воду з температурою $T = 20 \pm 2$ °С на висоту 50 мм. У воду додають трохи соляної кислоти. Показник водонепроникності записують у хв (год) від початку випробування до зміни кольору лакмусового папірця під коробом, якщо вода пройшла скрізь матеріал. За допомогою таблиці 8.4 встановлюють марку покрівельного рулонного матеріалу.

Контрольні запитання

1. Навести головні властивості будівельних бітумів.
2. За якою методикою визначають в'язкість бітумів?
3. За якими показниками визначають марку бітуму?
4. Які існують різновиди рулонних покрівельних матеріалів?
5. Навести властивості покрівельних рулонних матеріалів на основі бітуму.
6. За якими показниками визначають марку рулонного покрівельного матеріалу?

Лабораторна робота 14

Лакофарбові будівельні матеріали

14.1 Оцінка властивостей пігментів

Лакофарбовими називають природні чи штучні матеріали, які наносять у в'язкорідкому стані тонким шаром (60–5 000 мкм) на поверхню будівельних конструкцій та деталей (бетонних, дерев'яних, металевих тощо) для утворення покриття з необхідними властивостями – захисними, декоративними, спеціальними. Загальною ознакою у всіх лакофарбових покриттів є ізоляція поверхні від зовнішніх впливів, надання їм закінченого вигляду, кольору, фактури.

До лакофарбових матеріалів належать:

– фарби – суспензії, що утворюють покриття необхідного кольору й містять плівкоутворювальні речовини, пігменти, розчинники, розріджувачі, наповнювачі тощо;

– лаки – розчини плівкоутворювальних речовин в органічних розчинниках або у воді;

– емалі – суспензії пігменту або суміші пігментів із наповнювачами у лаках, що утворюють після висихання тверду плівку з блиском і різною фактурою поверхні;

– допоміжні матеріали – шпаклівки, ґрунтівки, підмазки, отверджувачі, пластифікатори тощо.

Визначення маслоємності пігменту

Маслоємність – характеризується кількістю масла, яку потрібно додати до 100 г пігменту для одержання консистенції пасти.

На технічних терезах відважують 5 г пігменту й висипають у склянку. Потім із бюретки доливають відбілене льняне масло (рис. 14.1). Масло додають спочатку до 10 крапель, потім зменшують дозу на 2–3 краплі й так далі. До того ж пігмент постійно перемішують скляною паличкою. Масло додають, доки весь пігмент у склянці буде змочений і утвориться щільна грудка.

Маслоємність пігменту визначають за формулою:

$$M = \frac{V \cdot \rho}{m}, \quad (14.1)$$

де V – об'єм витраченого масла, мл; ρ – густина масла, г/см³; m – маса сухого пігменту, г.

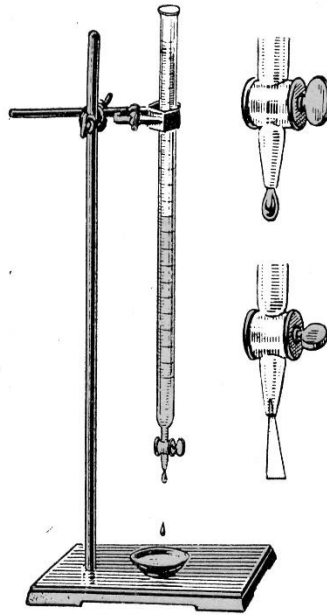


Рисунок 14.1 – Бюретка для визначення маслоємності
(URL: <https://studfile.net/preview/5532545/page:14/>)

Визначення укривності пігменту

Укривність – це кількість пігменту, необхідна для повного зафарбування нанесеного раніше на поверхню шару контрастної форми. Характеризується кількістю пігменту (г) для покриття 1 м² поверхні.

Для проведення експерименту потрібно взяти скляну пластинку, виміряти її розмір і зважити. Під пластинку підкладають трафарет із контрастними біло-чорними смугами. Підготовлену до малярної консистенції фарбу наносять на цю пластинку. Фарбу наносять спочатку вздовж, а потім упоперек пластинки, доки крізь неї перестануть просвічуватися контрастні смуги. Пластинку з нанесеною фарбою знову зважують (рис. 14.2).

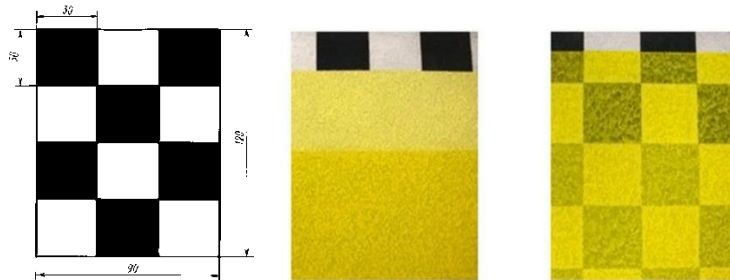


Рисунок 14.2 – Метод оцінки укривності пігменту
(URL: <https://www ghenadiesontu.com/blog/kraski-dlea-masleanoi-jivopisi>)

Одержані результати заносять до таблиці 14.1.

Таблиця 14.1 – Результати випробувань пігменту на укривність

Маса нанесеної фарби, г	Площа пластинки S , см ²	Вміст оліфи у фарбі, %	Укривність	
			Y_m	Y_c

Розраховують укривність за формулами:

– на склад малярної консистенції:

$$Y = \frac{m}{S}, \quad (14.2)$$

де m – маса нанесеної фарби малярної консистенції, г; S – площа скляної пластинки см²;

– на сухий пігмент

$$Y = \frac{a \cdot (100 - b)}{S}, \quad (14.3)$$

де a – маса фарби малярної консистенції, г; b – вміст оліфи у фарбі малярної консистенції, %; S – площа пластинки, см².

14.2 Оцінка якості лакофарбового покриття

Визначання твердості лакофарбового покриття

Для визначення твердості лакофарбового покриття застосовують прилади маятникового типу (рис. 14.3), секундомір і скляні пластинки розміром 9 см² × 12 см².

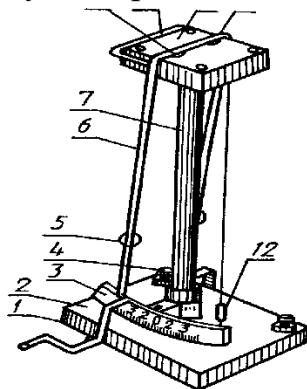


Рисунок 14.3 – Схема приладу маятникового типу
(URL: <https://studfile.net/preview/3894846/page:8/>)

Метод заснований на визначенні відношення часу загасання коливань маятника, встановленого на поверхні покриття, до часу загасання коливань того самого маятника, встановленого на незафарбованій скляній поверхні. Відхилення стрілки маятника починають з позначки 5 і доводять до позначки 2. Твердість покриття знаходять за формулою:

$$T = \frac{t_1}{t_2}, \quad (14.4)$$

де t_1 – час загасання коливань маятника на лакофарбовому покритті, с; t_2 – час згасання коливань маятника на скляній поверхні, с.

Визначення твердості покриття проводять двічі. За результат приймають середнє арифметичне двох визначень. Отримані дані заносять до таблиці 14.2.

Таблиця 14.2 – Результати випробувань лакофарбової плівки на твердість

Час загасання коливань	Твердість лакофарбового покриття, T

Визначення міцності лакофарбового покриття на гнучкість

Міцність покриття на гнучкість характеризує його еластичність і здатність розтягуватися без руйнування. Покриття випробують на еластичність за допомогою шкали гнучкості (рис. 14.5), що становить набір сталевих стрижнів різного діаметра: 20, 15, 10, 5, 3, 1 (мм).

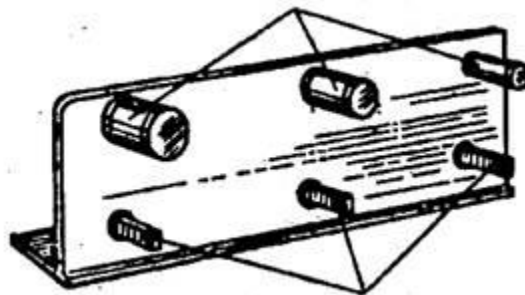


Рисунок 14.5 – Шкала гнучкості

(URL: <https://studfile.net/preview/1979572/page:80/>)

Металеву пластинку розміром 20 мм × 100 мм і завтовшки 0,25–0,3 мм, із тонким шаром лакофарбового покриття, плавно протягом 2–3 с обертають навколо

стрижнів шкали послідовно, починаючи з 20 мм і до 1 мм. Після кожного дослідження фіксують наявність ознак руйнування покриття за допомогою лупи.

Результатом вважають діаметр стрижня у мм, який передуює тому, на якому під час обертання покриття руйнується. Результати заносять до таблиці 14.3.

Таблиця 14.3 – Результати випробувань плівки на гнучкість

Діаметр стрижня, мм	20	15	10	5	3
Стан покриття					

Визначення опору лакофарбового покриття удару

Метод визначення міцності лакофарбового покриття під час удару заснований на встановленні максимальної висоти, під час падіння з якої вантаж вагою 10 Н не спричиняє руйнування покриття. Міцність лакофарбового покриття під час удару визначають на приладі У-2 (рис.14.4).

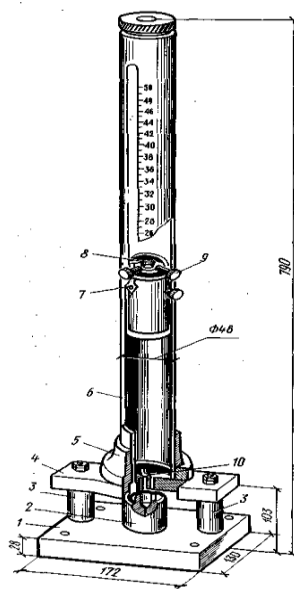


Рисунок 14.4 – Схема приладу У-2 для визначення опору удару
(URL: <https://studfile.net/preview/2649255/page:56/>)

Для випробування беруть пластинку листової сталі завтовшки 0,5 мм, розміром 100 мм × 100 мм, яку розміщують на ковальні приладу У-2, покриттям догори. Потім натисканням спускової кнопки звільняють вантаж (10 Н), що передає ударне зусилля через бойок на пластинку. Після удару пластинку виймають й уважно розглядають місце удару через лупу. За відсутності на пластинці тріщин або відшарувань висоту падіння вантажу збільшують на 2–3 см.

Випробування проводять до руйнування покриття. Результати випробування записують у таблицю 14.4.

Таблиця 14.4 – Результати випробувань опору лакофарбової плівки удару

Висота підйому вантажу, см					
Результати удару (тріщини, відшарування)					

Контрольні запитання

1. Що називають лакофарбовими матеріалами та які функції вони виконують?
2. Назвати асортимент лакофарбових матеріалів.
3. Навести сфери застосування лакофарбових матеріалів.
4. Навести класифікацію плівкоутворювальних компонентів.
5. Які властивості мають пігменти?
6. Чим відрізняються розчинники та розріджувачі? Навести приклади.
7. Які функції виконують ґрунтівки та шпаклівки?
8. Навести класифікацію пігментів.
9. Що показує твердість лакофарбової плівки й навіщо її визначають?
10. Що таке сикативи та яку функцію вони виконують у складі фарб?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кондращенко О. В. Будівельне матеріалознавство для сучасного будівництва : навч. посіб. / О. В. Кондращенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 208 с.
2. Фокин Г. С. Строительные материалы : справочник / Г. С. Фокин, Е. В. Кондращенко. – Харьков : АЛЕФ ИнфоТрейд, 2008. – 425 с.
3. Дворкін Л. Й. Будівельне матеріалознавство : підручник / Л. Й. Дворкін, С. Д. Лаповська. – Київ : Кондор-Видавництво, 2017. – 472 с.
4. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали / П. В. Захарченко, Е. М. Долгий, Ю. О. Галаган, О. М. Гавриш та ін. – Київ : ТОВ «Інтертехнологія», 2005. – 511 с.
5. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини : підручник / В. І. Гоц, В. В. Павлюк, П. С. Шилюк. – Вид. 2-ге доп. і переробл. – Київ : Основа, 2016. – 568 с.
6. Будівельне матеріалознавство [Електрон. ресурс] : дистанційне навчання ХНУМГ ім. О. М. Бекетова / ДН ХНУМГ. – Режим доступу: <https://dl.kname.edu.ua/course/view.php?id=619> (дата звернення: 12.04.2026).

Електронне навчальне видання

КОНДРАЩЕНКО Олена Володимирівна

**БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО.
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

2-ге видання, перероблене і доповнене

Відповідальний за випуск *О. В. Макаренко*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *О. В. Кондращенко*

Підп. до друку 12.05.2026. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 6,2.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.