

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
студентами-бакалаврами спеціальності
192 Будівництво та цивільна інженерія

**Дніпро
2020**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА
Кафедра будівництва, геотехніки і геомеханіки

БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
студентами-бакалаврами спеціальності
192 Будівництво та цивільна інженерія

Дніпро
НТУ «ДП»
2020

Будівельне матеріалознавство. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни студентами-бакалаврами спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія / Г.П. Іванова, Р.М. Терещук, В.Г. Шаповал, О.В. Халимендик, К.В. Кравченко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2020. – 50 с.

Автори:

Г.П. Іванова, канд. техн. наук, доц.;

Р.М. Терещук, канд. техн. наук, доц.;

В.Г. Шаповал, д-р техн. наук, проф.;

О.В. Халимендик, канд. техн. наук, доц.;

К.В. Кравченко, канд. техн. наук, доц.

Рекомендовано до видання редакційною радою НТУ «ДП» (протокол № 2 від 18.02.2020) за поданням кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки (протокол № 9 від 10.02.2020).

Подано методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Будівельне матеріалознавство» для підготовки бакалаврів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія.

Містять рекомендації до виконання лабораторних робіт з визначення основних якісних показників будівельних матеріалів, методів і обладнання для стандартних випробовувань будівельних матеріалів (в'язучих, бетонів), а також математичну обробку результатів випробовувань та контрольні питання для перевірки знань студентів.

Передбачено виконання завдань як із викладачем, так і під час самостійної роботи.

Призначено для використання в навчальному процесі бакалаврами різних форм навчання.

Відповідальний за випуск зав. кафедри БГІГ О.М. Шашенко, д-р техн. наук, проф.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	5
2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ДОБІР СКЛАДУ І ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ БЕТОНУ	13
3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІПСОВИХ В'ЯЖУЧИХ.....	24
4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОПОГЛИНАННЯ І КОЕФІЦІЄНТА РОЗМ'ЯКШЕННЯ ДЕЯКИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	29
5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ ЗА МІЦНІСТЮ НА СТИСК (ЗГИН) МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН.....	33
6. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЕЛЬНОГО ВАПНА.....	38
7. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6. МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ.....	43
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ВИКОНАНОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.	48
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	48

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Будівельне матеріалознавство» є базовою в підготовці студентів до самостійної роботи у сфері будівництва промислових (цивільних) об'єктів.

Будівельне матеріалознавство – важливий чинник промислового або цивільного будівництва. Глибокі знання з цієї дисципліни дозволять:

- виконувати розрахунок потреби матеріалів для виготовлення виробів;
- враховувати вплив якості будівельних матеріалів на довговічність і надійність виробів та конструкцій з них;
- застосовувати методи захисту будматеріалів від руйнування;
- оптимізувати будову і властивості матеріалу при максимальному ресурсозберіганні.

Знання вище перелічених принципів дасть змогу фахівцям розробляти і вдосконалювати ресурсозберігаючі технології при виробництві будівельних матеріалів і виробів.

Метою видання цих методичних рекомендацій було формування у студентів теоретичних знань та практичних навичок в області: вивчення складу, структури і технологічних основ отримання матеріалів і виробів з заданими властивостями; розробки і застосування прогресивних будівельних матеріалів і виробів, методів контролю якості при їх виробництві; основних напрямків комплексного використання природного і техногенного сировини з використанням безвідходних технологій.

У результаті вивчення дисципліни «Будівельне матеріалознавство» студент повинен засвоїти знання з проведення випробувань будівельних матеріалів за стандартними методиками.

Засвоївши матеріал дисципліни, студент повинен уміти:

- визначати середню і насипну щільності будівельних матеріалів;
- підбирати склад бетонної суміші;
- визначати технологічні параметри та марку гіпсу;
- визначати марки цементу і бетону;
- визначати водопоглинання та коефіцієнт розм'якшення матеріалів;
- виконувати математичну обробку результатів випробувань.

Рекомендації побудовано таким чином, що користуючись ними, студент може виконувати завдання як під керівництвом викладача, так і самостійно. Вони встановлюють обсяг і рівень засвоєння знань з виконання лабораторних робіт і сприяють поліпшенню якості самостійної роботи й підвищенню рівня підготовки фахівця.

Зміст лабораторних робіт відповідає робочій програмі дисципліни.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Дидактичні цілі

Мета лабораторного заняття – формування у студентів умінь і навичок визначення структурних характеристик будівельних матеріалів на базі знань, набутих у теоретичному циклі вивчення дисципліни.

Вид набутих умінь: *знаково-практичні* – визначення середньої щільності зразків матеріалів правильної геометричної форми та насипної щільності щебеню і піску.

1.2 Загальні відомості

Структурні характеристики та властивості будівельних матеріалів прийнято розділяти на:

– основні – однаково важливі для всіх будівельних матеріалів (щільність, пористість, міцність);

– спеціальні – дозволяють оцінити можливість застосування даного матеріалу для певної мети (водонепроникність, вогнетривкість).

Властивості матеріалів оцінюють числовими показниками, що встановлюються шляхом випробувань згідно зі стандартними методиками.

Щільність – маса матеріалу в одиниці об'єму. Щоб обчислити щільність ($\text{кг}/\text{м}^3$), треба знати масу матеріалу m (кг) і його об'єм V (м^3):

$$\gamma = \frac{m}{V}. \quad (1.1)$$

Більшість будівельних матеріалів – пористі, тобто їх об'єм складається з твердої речовини й пор. Пори заповнені рідиною або газом, густина яких нижча за щільність твердої речовини. Тому для будівельних матеріалів визначають дві характеристики: дійсну й середню щільність.

Дійсна щільність ρ_d (фізична константа речовини) – це відношення маси матеріалу до його об'єму без пор і пустот V_a (тобто в абсолютно щільному стані).

$$\gamma_d = \frac{m}{V_a}. \quad (1.2)$$

Середня щільність ρ_c – це відношення маси матеріалу до його об'єму в природному стані V_n (включаючи пори і пустоти, властиві даному матеріалу).

$$\rho_c = \frac{m}{V_n}. \quad (1.3)$$

Для характеристики зернистих матеріалів (цемент, пісок, гравій), використовують насипну щільність.

Насипна щільність ρ_n (характеристика сипучих, зернистих, порошкоподібних матеріалів) – це відношення маси матеріалу до його об'єму в розпушеному стані V_p (включаючи і пустоти між частинками).

$$\rho_n = \frac{m}{V_p}. \quad (1.4)$$

На середню і насипну щільність матеріалу впливає його вологість. Вода заповнює пори матеріалу, тому, чим більша вологість матеріалу, тим більша його щільність.

1.3 Хід роботи

1.3.1 Визначення середньої щільності

Метод визначення середньої щільності залежить від геометричної форми зразка матеріалу: правильної (куб, паралелепіпед, циліндр) й неправильної.

Зразки матеріалу правильної геометричної форми. Визначаючи середню щільність, зразок матеріалу, заздалегідь підготовлений і висушений при температурі 105 – 110°C до постійної маси, зважують з похибкою не більше 0,1 г (при масі до 500 г) і не більше 1 г (при масі більше 500 г).

Об'єм зразка визначають, користуючись штангенциркулем (при розмірах менше 100 мм) або металевою лінійкою (при великих розмірах). Якщо зразок має кубічну форму або форму паралелепіпеда, то кожну грань вимірюють у трьох місцях (рис. 1.1). Остаточний розмір кожної грані (a , b , c) обчислюють як середнє арифметичне трьох вимірювань. Об'єм підраховують за формулою:

$$V = a b c \text{ (м}^3\text{)}.$$

Обчислюючи об'єм циліндричного зразка, визначають його діаметр d і висоту h . Для цього на паралельних основах циліндра наносять два взаємно перпендикулярних діаметра. Діаметр зразка знаходять як середнє арифметичне

результатів чотирьох вимірювань. Висоту циліндра обчислюють так само, як середнє арифметичне результатів чотирьох вимірювань його висоти, розташованих на кінцях взаємно перпендикулярних діаметрів (рис. 1.1)

Об'єм підраховують за формулою $V = \frac{\rho d^2}{4} h$.

Знаючи масу й об'єм зразка, обчислюють його середню щільність за формулою (1.3). Результати вимірювань заносять у таблицю 1.1.

Зразки неправильної геометричної форми. Середню щільність таких зразків визначають методом гідростатичного зважування або за допомогою об'ємоміра.

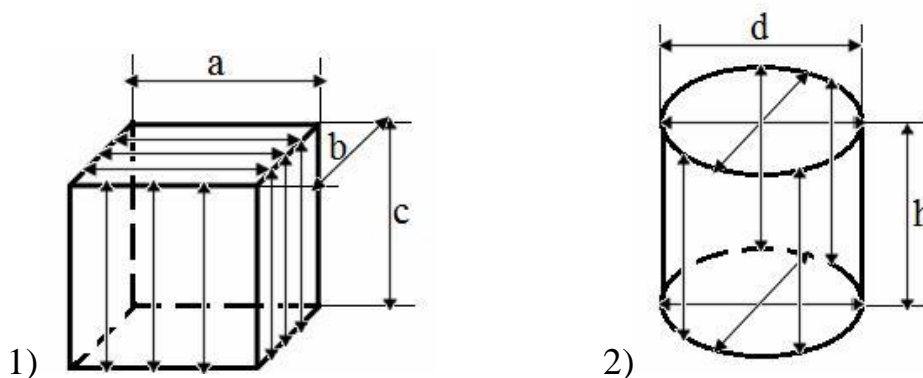


Рис. 1.1. Вимірювання зразків:
1 – кубічної форми, 2 – циліндричної форми

Метод гідростатичного зважування заснований на використанні закону Архімеда: на тіло, занурене в рідину, діє виштовхувальна сила, направлена вгору й дорівнює вазі витисненої ним рідини. Зразок зважують на повітрі й у воді; різниця цих величин дорівнює значенню виштовхувальної сили. Оскільки щільність води $\rho_g = 1 \text{ г/см}^3$ (приймається, як еталонна величина), при зважуванні у воді значення виштовхувальної сили визначається в *грамах* – це значення об'єму зразка в см^3 .

Під час визначення середньої щільності цим методом підготовлений зразок зважують, визначають масу m і насичують його водою. Насичений зразок виймають з води, видаляють вологу з поверхні м'якою вологою тканиною і відразу ж зважують на гідростатичних вагах (рис. 1.2).

Для цього зразок на нитці підвішують до гачка 2, закріпленого на лівому кінці коромисла 3 вагів. Сипучі матеріали поміщають у перфоровану склянку 1.

Після визначення маси насиченого водою m_n (г) його, не знімаючи з гачка вагів, занурюють у склянку 1 із водою так, щоб він не торкався стінок склянки, і визначають масу гирь, що врівноважують зразок у воді m_g (г).

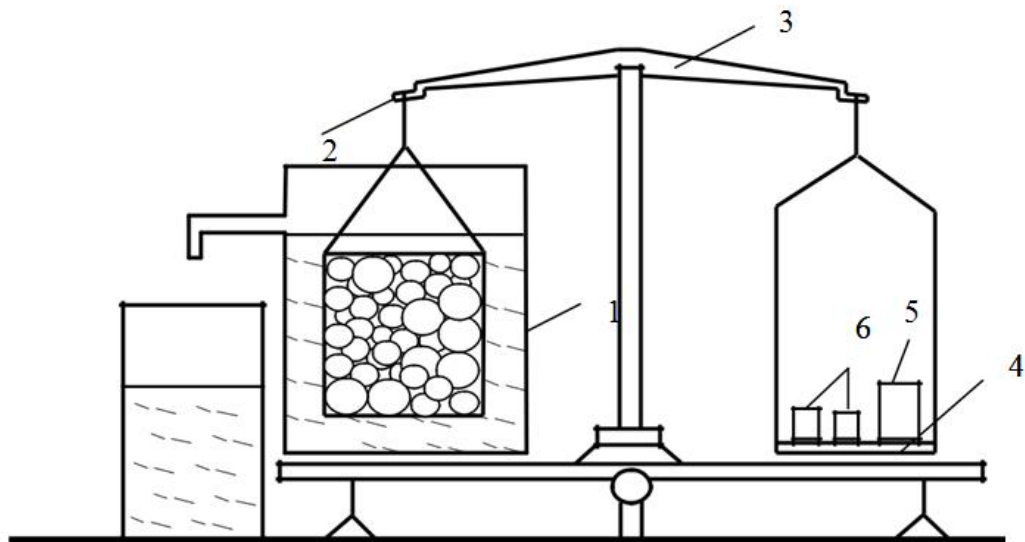


Рис. 1.2. Гідростатичні ваги:

1 – перфорована склянка, 2 – гак, 3 – коромисло, 4 – чашка для гирь,
5 – склянка з дробом, 6 – гирі

Середню щільність матеріалу ρ_c ($г/см^3$) обчислюють за формулою:

$$\rho_c = \frac{m}{(m_n - m_g)} \rho_{H_2O}. \quad (1.5)$$

Об'ємомір використовують, визначаючи середню щільність крупних зразків (масою більше 500 г). Зразок зважують (m_1), парафінують (занурюючи в розплавлений парафін) і знову зважують (m_2). Якщо під час охолодження на парафіновій плівці виявляться бульбашки або пошкодження, їх загладжують гарячою металеву пластинкою або дротом. Після парафінування зразок перев'язують капроною ниткою.

В об'ємомір (рис. 1.3), що представляє собою металевий циліндр 2, наливають воду до рівня зливної трубки 1, поки з неї не потече вода. Коли припиниться падіння крапель, під трубку ставлять заздалегідь зважену (m_3) склянку 3. Випробовуваний зразок на нитці обережно занурюють в об'ємомір.

Після того, як вода перестане перетікати в ємність, склянку з водою зважують (m_4).

Маса води ($г$), витисненої зразком ($m_4 - m_3$) чисельно дорівнює об'єму ($см^3$) зразка з парафіном $V_{O+П}$, оскільки щільність води $\rho_в = 1 г/см^3$, тоді

$$V_{O+П} = \frac{m_4 - m_3}{\rho_{H_2O}}, \quad \text{об'єм парафіну: } V_{П} = \frac{m_2 - m_1}{\rho_{П}}.$$

Отже, об'єм зразка можна визначити за формулою:

$$V_O = V_{O+П} - V_{П} = \frac{m_3 - m_4}{\rho_{H_2O}} - \frac{m_2 - m_1}{\rho_{П}}, \quad (1.6)$$

де $\rho_{П} = 0,98 \text{ г/см}^3$ – щільність парафіну.

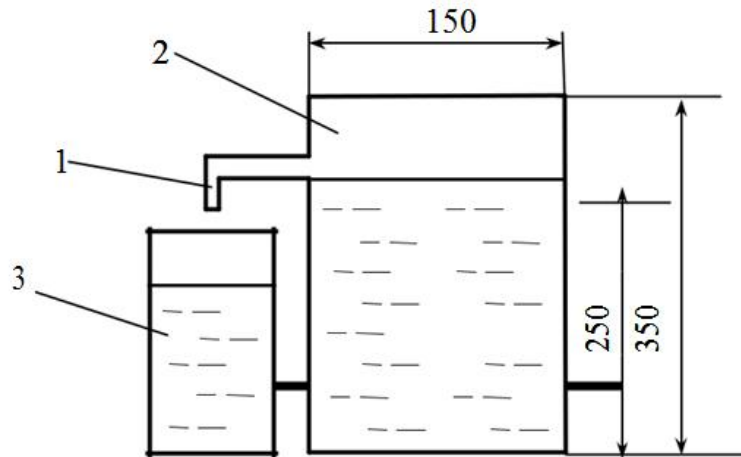


Рис. 1.3. Об'ємомір:
1 – трубка, 2 – циліндр, 3 – скляна ємність

Щільність випробовуваного матеріалу дорівнює:

$$\rho_c = \frac{m_1}{V_a} = \frac{m_1}{\frac{m_3 - m_4}{\rho_{H_2O}} - \frac{m_2 - m_1}{\rho_{П}}}. \quad (1.7)$$

За допомогою об'ємоміра також визначають середню щільність, не парафінуючи зразки, а насичуючи їх водою, аналогічно до методики, описаної вище для гідростатичного зважування.

1.3.2 Визначення насипної щільності

Насипну щільність матеріалів визначають, вимірюючи їх об'єм мірними циліндричними посудинами місткістю від 1 до 50 л. За об'єм матеріалу в цьому випадку приймають об'єм посудини.

Грубозернисті матеріали (зерна більше 5 мм) засипають у мірні посудини місткістю 5; 10; 20 і 50 л совком або лопаткою з висоти 100 мм без подальшого ущільнення.

Дрібнозернисті матеріали (зерна менше 5 мм) насипають у мірну посудину місткістю 1 л за допомогою стандартної воронки (рис. 1.4) із засувом 3.

Під трубку 2 встановлюють заздалегідь зважену мірну посудину 4. Відстань між верхнім обрізом посудини й засувом воронки складає 50 мм.

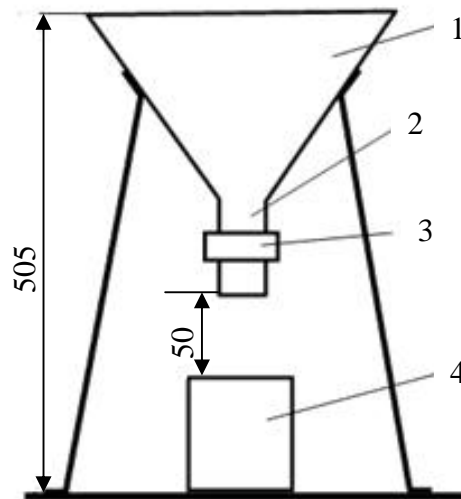


Рис. 1.4. Стандартна воронка:

1 – корпус, 2 – трубка, 3 – засув, 4 – мірна посудина

Мірну посудину в усіх випадках заповнюють з лишком, а надлишок матеріалу зрізують лінійкою від середини в обидві сторони врівень з краями посудини. При цьому лінійку тримають похило, щільно притискаючи до країв посудини. Після видалення надлишку матеріалу посудину з матеріалом зважують.

Маса матеріалу буде дорівнювати різниці мас посудини з матеріалом m_2 і порожньої посудини m_1 . Знаючи масу матеріалу й об'єм посудини V ($1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3 = 10^{-3} \text{ м}^3$), знаходять насипну щільність за формулою:

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V}. \quad (1.8)$$

Результати вимірювань заносять у таблицю 1.2.

1.3.3 Визначення дійсної щільності

Для розрахунку дійсної щільності матеріалу його потрібно отримати в абсолютно щільному стані (без пор). Найпростіший спосіб отримати такий матеріал – подрібнити його так, щоб кожна частинка не вміщувала в собі пор. Чим вища тонкість подрібнення, тим точнішим буде визначення щільності матеріалу.

Для визначення дійсної щільності відважують близько 200 г ретельно перемішаної проби матеріалу. Навіску висушують у сушильній шафі та тонко подрібнюють у фарфоровій ступці або кульовому млині.

До проведення випробувань матеріал зберігається в *ексикаторі* (товстостінна скляна посудина великої місткості з герметично притертою кришкою). Дійсну щільність визначають *піннометричним способом* (рис. 1.5) або за допомогою *приладу Ле Шател'є* (рис. 1.6).

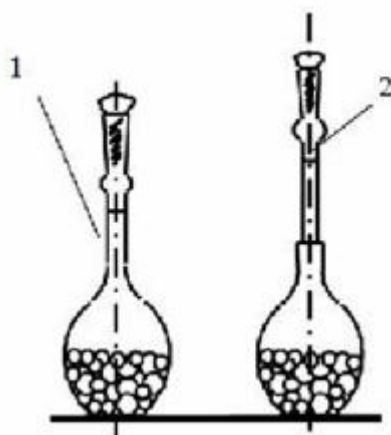


Рис.1.5. Пінометри:

1 – пікнометр з міткою для рідини, 2 – пікнометр з міткою для твердих тіл

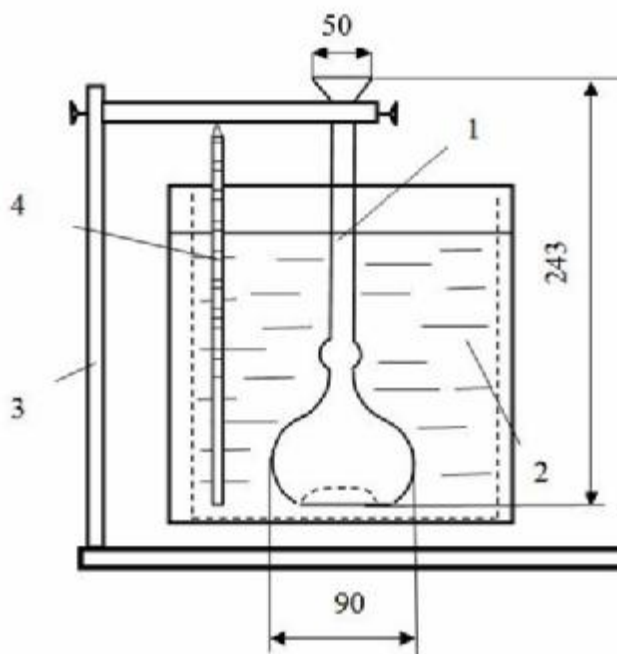


Рис. 1.6. Прилад Ле Шател'є в робочому стані

1 – об'ємомір, 2 – склянка з водою, 3 – штатив, 4 – термометр

При всіх способах визначення густини похибка зважування не більше ніж 0,01 г. Температура приміщення при випробуванні повинна бути $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Дійсну щільність обчислюють як середнє арифметичне результатів двох випробувань, розбіжність між якими не повинна перевищувати $0,02 \text{ г/см}^3$.

Таблиця 1.1

Результати визначення середньої щільності матеріалів
правильної геометричної форми

Найменування зразка	Розмір, см				Об'єм $V_n, \text{см}^3$	Маса $m, \text{г}$	Середня щільність $\rho_c, \text{г/см}^3$
	a	b	$c(h)$	d			

Таблиця 1.2

Результати визначення насипної щільності

Найменування зразка	Маса, г		Об'єм посудини $V, \text{см}^3$	Насипна щільність $\rho_n, \text{г/см}^3$
	посудина з матеріалом m_2	порожня посудина m_1		

Контрольні питання:

1. Що називається щільністю?
2. У чому полягає різниця між дійсною, середньою та насипною щільністю?
3. Як обчислюють об'єм зразка правильної геометричної форми?
4. Як обчислюють об'єм зразка неправильної геометричної форми?
5. На використанні якого закону заснований метод гідростатичного зважування?
6. У яких випадках використовують об'ємомір?
7. Як визначають насипну щільність?
8. Як визначають дійсну щільність?
9. Яка має бути похибка зважування під час визначення середньої та дійсної щільності?
10. Яка має бути температура приміщення під час визначення щільності, і чому?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ПІДБІР СКЛАДУ І ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ БЕТОНУ

2.1 Дидактичні цілі

Мета лабораторного заняття – формування у студентів умінь і навичок що до раціонального підбору складових бетонної суміші та випробування бетонних зразків на стиск на базі знань, набутих у теоретичному циклі вивчення дисципліни.

Вид набутих умінь: *знаково-практичні* – розрахунок складу бетонної суміші та лабораторне визначення марки бетону на стиск.

2.2 Загальні відомості

Бетон – штучний матеріал. Він утворюється з раціонально підібраної суміші в'язучого, води й заповнювачів, яка з часом переходить із пластичного стану в кам'яний.

Отримання бетону із заданими властивостями досягається розрахунком його складу та умовами твердіння. Стандартні умови твердіння бетону: вологість повітря 90 – 100 %, (але не менше, ніж 60 %), температура – $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Марочну міцність бетонна суміш набуває за 28 діб.

Найважливіша властивість звичайного (важкого) бетону – *міцність*, що залежить, як від міцності складових бетону, так і від міцності їх зчеплення. Заповнювачі (пісок, щебінь, гравій), як правило, міцніші бетону. Ця характеристика бетону в основному залежить від міцності цементного каменя (знаходиться між частинками заповнювача) і зчеплення його з поверхнею заповнювача.

Цементний камінь тим міцніший, чим вища марка цементу. На його міцність також впливає водоцементне відношення (B/C). Цемент, тверднучи зв'язує воду в кількості 20 – 25 % від своєї маси, тоді як для одержання легкоукладальної бетонної суміші її необхідно 40 – 70 % від маси цементу ($B/C = 0,4 - 0,7$). Чим більше надлишок води, тим більш пористим і менш міцним буде цементний камінь.

Міцність зчеплення між цементним каменем і заповнювачем залежить від поверхні заповнювача, яка повинна бути чистою та, по можливості, шорсткуватою (за рахунок шорсткості щебеню бетон на ньому, за інших рівних умов, буде міцнішим на 10 – 15 %, чим на гравії).

Головними властивостями бетону, крім міцності, також є *морозостійкість* і *водонепроникненість*, які залежать від тих же чинників, що й міцність.

2.2.1 Марка та клас бетону

Основний показник, за яким визначається якість бетону загальнобудівельного призначення – це його міцність при стиску. Характеристики міцності бетону – це його марка й клас.

Марка бетону (позначається буквою «М») не враховує неоднорідність його структури. У будівництві (для всіх видів бетону) застосовуються наступні марки (МПа): М50, М75, М100, М150, М200, М250, М350, М400, М500, М600.

Клас бетону – це **гарантована кубикова міцність** (враховується неоднорідність структури бетону), позначається латинською буквою «В» (цифра у позначенні класу вказує гарантовану міцність бетону в МПа).

Наприклад, В20 означає, що бетон цього класу в 95 % випадків забезпечує міцність на стиск 20 МПа. У будівництві застосовуються наступні класи: В1; В1,5; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30.

Відповідність між маркою й класом бетонів, найчастіше застосовуваних у будівництві наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Відповідність між маркою й класом бетону

Марка	Клас	Міцність в МПа
М75	В5	65
М100	В7,5	98
М150	В10	131
М150	В12,5	164
М200	В15	196
М250	В20	262
М350	В25	327
М400	В30	393

На стиск випробовують усі види бетонів, гідротехнічні бетони також маркують за міцністю при осьовому розтягненні, за міцністю при згині маркують дорожні та аеродромні бетони.

2.2.2 Технологічні властивості бетонної суміші

Бетон з необхідними властивостями може бути отриманий тільки за умови щільного укладання бетонної суміші.

Легкоукладальність – здатність суміші заповнювати форму під час ущільнення за мінімальних трудо– і енерговитратах, не розшаровуючись в процесі укладання. Найпоширеніший спосіб ущільнення – вібрування. Він

заснований на здатності суміші розріджуватися при періодично повторюваних механічних діях і знов тужавіти при їхньому припиненні.

Рухливість бетонної суміші – розмір осідання конуса OK (см), відформованого з випробовуваної бетонної суміші. Для бетонних сумішей із заповнювачем розміром до 40 мм включно використовують стандартний конус (рис. 2.1), виготовлений з листової сталі; для сумішей з більш великими зернами – збільшений конус.

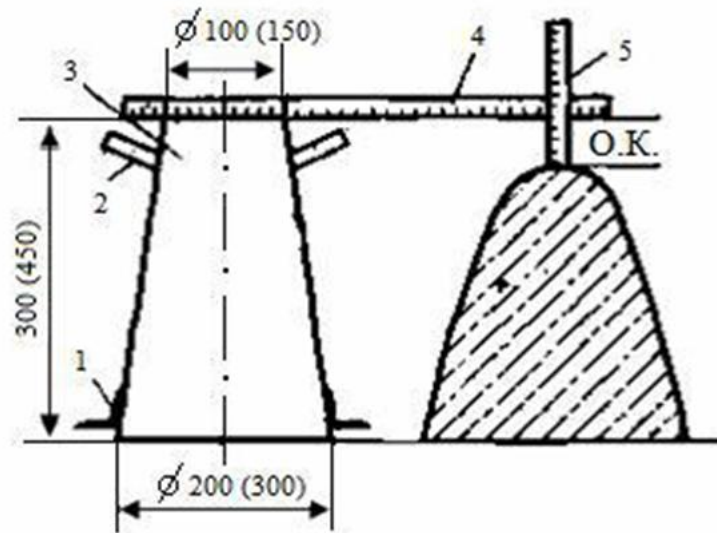


Рис. 2.1. Визначення рухливості бетонної суміші стандартним конусом:
1 – упори, 2 – ручки, 3 – лінійки (у дужках приведені розміри збільшеного конуса)

Перед випробуванням конус й інші пристосування очищують та протирають вологою тканиною. Конус встановлюють на гладкий металевий лист розміром не менше ніж 700×700 мм і заповнюють його бетонною сумішшю через воронку в три шари однакової висоти. Кожний шар ущільнюють штикуванням металевим стрижнем діаметром 16 мм, довжиною 600 мм в стандартному конусі – 25 разів, в збільшеному – 56 разів. Конус під час наповнення повинен бути щільно притиснутий до металевого листа. Після ущільнення воронку знімають і надлишок суміші зрізають врівень з верхніми краями конуса.

Далі конус плавно знімають з ущільненої бетонної суміші, піднімаючи його вертикально вгору, і ставлять поруч з нею. Час на підйом конуса складає 3–7 с. OK визначають, укладаючи металеву лінійку ребром на верх конуса і вимірюючи відстань від нижньої грані лінійки до верхівки бетонної суміші з погрешністю не більше 0,5 см. Величину OK (у збільшеному конусі) приводять до стандартної, помножуючи її на коефіцієнт 0,67. OK проби бетонної суміші визначають двічі, термін випробування не повинен перевищувати 10 хв.

OK обчислюють з округленням до 1 см, як середнє арифметичне результатів двох вимірювань з однієї проби, що відрізняються між собою не більше значень, вказаних у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

при $OK < 4$ см	На 1 см
при $OK = 5$ –9см	На 2 см
при $OK > 10$ см	На 3 см

При великих розбіжностях результатів випробування повторюють на новій пробі. Суміш вважають нерухливою й оцінюють її показник жорсткості, якщо визначена OK дорівнює нулю.

За ступенем рухливості (Δh) бетонні суміші бувають:

- жорсткі (малорухливі) $\Delta h \leq 2$ см;
- рухливі $2 \leq \Delta h \leq 12$ см;
- литі $\Delta h \leq 12$ см.

Усі компоненти бетонної суміші впливають на її пластично – в'язкі властивості. Так, під час збільшення вмісту заповнювачів її структурна міцність зростає, суміш стає жорсткішою. Збільшення вмісту цементного тіста знижує структурну міцність, робить суміш більш плинною. Ще більшою мірою підвищує плинність суміші збільшення вмісту води, але при цьому суміш розшаровується, а міцність бетону знижується.

Розрізняють **лабораторний (номінальний)** склад бетону, що встановлюється для сухих матеріалів, і **виробничий (польовий)** для матеріалів у природно–вологодому стані.

2.3 Хід роботи

2.3.1 Визначення оптимального складу важкого бетону

Завдання підбору полягає в отриманні бетону необхідної міцності, морозостійкості та довговічності, а бетонної суміші – заданої легкоукладальності при оптимальному співвідношенні компонентів. При цьому витрати цементу повинні бути мінімальними, а отриманий бетон – максимальної середньої щільності. Для підбору складу бетону необхідно знати: його призначення; необхідну міцність при стиску; легкоукладальність бетонної суміші; вид і марку (активність) цементу; істинну, середню й насипну щільність всіх компонентів; зерновий склад заповнювачів і показник пустотності крупного заповнювача.

Марку цементу обирають залежно від проектної марки бетону при стиску. Якщо марка цементу вища за ту, яка рекомендується для цього бетону, то в такий цемент потрібно додати тонкомелену активну домішку, щоб уникнути перевитрати високомарочного цементу.

Марка бетону $R_b, МПа$	100	150	200	250	300	300	400	600 та вище
Марка цементу $R_u, МПа$	300	300	400	400 – 500	500	500	500 – 600	600

Вихідні дані для підбору складу бетону заносяться в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

Вихідні дані

Міцність бетону $R_b, МПа$ ($кг/см^2$)	
Осідання конусу $\Delta h, см$	
Вид цементу	
Якість заповнювачів, $A_{1,2}$	
Марка цементу $R_u, МПа$ ($кг/см^2$)	
Щільність компонентів $кг/м^3$:	
– середня цементу ρ_{oc}	
– середня піску ρ_{on}	
– середня щебеню ρ_{ouc}	
– насипна щебеню $\rho_{нщ}$	
Вологість компонентів %	
– щебеню	
– піску	

2.3.2 Розрахунок складу важкого бетону

Залежність міцності бетону від указаних вище чинників виражається формулою:

$$R_b = A \times R_u \times \frac{\rho_{oc}}{\rho_{нщ}} - b \frac{\rho_{on}}{\rho_{ouc}}, \quad (2.1)$$

де R_b – міцність бетону після 28 діб твердіння в нормальних умовах, (МПа);
 R_u – марка (активність) цементу (МПа);
 A і b – коефіцієнти, які залежать від виду бетону та якості заповнювачів.

Формула (2.1) відображає основний закон міцності бетону. Добір складу бетону виконують методом «*абсолютних об'ємів*», який був розроблений проф. Б. Г. Скрамтаєвим і його школою. В основу цього методу покладена така умова: об'єм щільно укладеної бетонної суміші дорівнює сумі абсолютних об'ємів матеріалів, що входять до неї.

$$1\text{ м}^3 = 1000\text{ л} = \frac{Ц}{\rho_{оц}} + \frac{В}{\rho_{ов}} + \frac{П}{\rho_{оп}} + \frac{Щ}{\rho_{ощ}}, \quad (2.2)$$

де $Ц, В, П, Щ$ – відповідно маси цементу, води, піску, щебеню на 1 м^3 бетонної суміші;

$\rho_{оц}, \rho_{ов}, \rho_{ощ}, \rho_{оп}$ – середня щільність відповідно: цементу, води, щебеню, піску, $[\text{кг}/\text{м}^3]$.

Порядок розрахунку витрат складових бетонної суміші наведено нижче.

Водоцементне відношення $В/Ц$ визначається за формулою (2.1), що при даній якості заповнювачів A_1 або A_2 (таб. 2.4) й активності цементу R_u дозволяє отримати необхідну міцність бетону R_b :

– для пластичних сумішей (при $В/Ц > 0,4$):

$$\frac{В}{Ц} = \frac{A_1 \cdot R_u}{(R_b + 0,5 A_1 R_u)}; \quad (2.3)$$

– для особливо жорстких сумішей (при $В/Ц < 0,4$):

$$\frac{В}{Ц} = \frac{A_1 \cdot R_u}{(R_b - 0,5 A_1 R_u)}. \quad (2.4)$$

Таблиця 2.4

Значення коефіцієнта A_1 і A_2

Заповнювач	A_1	A_2
високоякісний	0,65	0,43
рядовий	0,60	0,40
зниженої якості	0,55	0,37

Витрати води $В$ визначають за величиною осадки конуса Δh і заданою фракцією щебеню (див. рис. 2.2). Витрати води (у літрах на 1 м^3 бетонної суміші) визначаються методом інтерполяції за графіками на рис. 2.2.

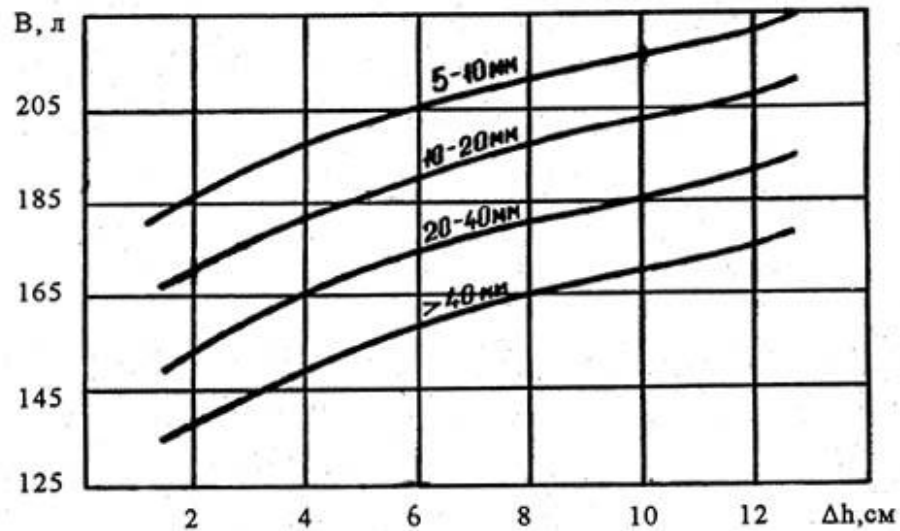


Рис. 2.2. Залежність кількості води від фракції щебеню і рухливості бетонної суміші

Витрати цементу Ц (кг) на 1 м^3 , враховуючи витрати води B , визначають за формулою:

$$Ц = \frac{B}{\frac{B}{Ц}} \quad (2.5)$$

Якщо розраховані витрати цементу є нижче припустимого значення, тоді його кількість збільшують, відповідно збільшуючи витрату води так, щоб зберегти розраховане $B/Ц$.

Витрати заповнювачів:

– щебінь (кг):

$$Щ = \frac{I}{\Pi \frac{\alpha}{\gamma_{ниц}} + \frac{1}{\gamma_{оц}}}, \quad (2.6)$$

де $\Pi = 1 - \frac{\gamma_{ниц}}{\gamma_{оц}}$ – пустотність;

$\gamma_{оц}$ – середня щільність щебеню $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\gamma_{ниц}$ – насипна щільність щебеню $\text{кг}/\text{м}^3$;

α – коефіцієнт розсунення зерен крупного заповнювача (коефіцієнт «надлишку» розчину), визначається за таблицею 2.5 методом інтерполяції.

Значення α при осіданні конуса Δh , см

Витрата цементу на 1 м^3 бетону, кг	Значення α при осіданні конуса Δh , см	
	1 – 4	5 – 10
200	1,18	1,22
250	1,22	1,28
300	1,28	1,34
350	1,34	1,40
400	1,40	1,48
500	1,48	1,60

– пісок (кг):

$$\Pi = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_{оц}} + \frac{В}{\rho_{ов}} + \frac{Щ}{\rho_{оц}} \right) \right] \rho_{он} . \quad (2.7)$$

Розрахунок витрат заповнювачів проведено для сухих матеріалів, хоча фактично щебінь і пісок вологі, тому їх кількість корегують з урахуванням коефіцієнта збільшення кількості заповнювачів:

– для щебеню

$$K_{щ} = \frac{1}{1 - W_{щ}} ;$$

– для піску

$$K_n = \frac{1}{1 - W_n} ,$$

де $W_{щ}$, W_n – вологість щебеню та піску відповідно.

Фактичні витрати:

–щебеню: $Щ_{ф} = Щ \cdot K_{щ}$,

–піску: $\Pi_{ф} = \Pi \cdot K_n$,

–води: $B_{ф} = B - (B_{щ} + B_n)$,

де $B_{щ}$, B_n – кількість води, що міститься в щебені й піску і визначається за формулами:

$$B_{щ} = Щ_{ф} \cdot W_{щ},$$

$$B_n = \Pi_{ф} \cdot W_n.$$

Об'єм опалубки визначається за формулою:

$$V_{on} = n \cdot a^3,$$

де n – кількість зразків ($n = 4$),

a – розмір ребра бетонного кубика ($a = 100$ мм).

Фактично об'єм бетонної суміші $V_{\text{бс}}$ необхідно збільшити на коефіцієнт запасу суміші k ($k = 10 - 20$ % або $k = 1,1 - 1,2$), тоді:

$$V_{\text{бс}} = k \cdot V_{on}.$$

При визначенні формули бетонної суміші за одиницю приймають кількість цементу, інші складові перераховують на його витрати при певному водоцементному відношенні. Розрахункові дані для приготування бетонної суміші заносять в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6

Результати розрахунку

Об'єм опалубки V_{on} , м ³		
Об'єм бетонної суміші $V_{\text{бс}}$, м ³		
Витрата матеріалів (фактична), кг	на 1 м ³	на випробування
– вода		
– цемент		
– щебінь		
– пісок		
Водоцементне відношення (враховується фактична витрата води) $B_{\text{ф}} / Ц$		
Формула бетонної суміші (враховуються фактичні витрати піску і щебеню) $Ц : П_{\text{ф}} : Ш_{\text{ф}}$		

2.4 Приготування пробного замісу

Спочатку очищують форми–куби, далі збирають їх, змащуючи внутрішню поверхню тонким шаром технічного мастила. Відхилення внутрішніх лінійних розмірів форм не повинні перевищувати +1 %.

Відхилення від взаємної перпендикулярності робочих поверхонь форм не повинні перевищувати 0,5 мм на 100 мм довжини, а нахили внутрішніх скривлень поверхні допускаються до 0,03 мм на 100 мм довжини.

Форми для зразків найчастіше виготовляють із сталі. Для бетонів стандартним вважається кубик із стороною 150 мм.

Для приготування пробного замісу відважують (попередньо зрівноваживши ваги) необхідну на випробування кількість цементу, піску і крупного заповнювача з похибкою не більше ніж 0,1 %. Пісок і цемент поміщають у коритоподібну ємність і перемішують лопатою до однорідного стану.

Потім додають крупний заповнювач і суміш знов перемішують. Далі в середині сухої суміші роблять заглиблення, куди вливають половину відміряної кількості води й обережно перемішують.

Після цього вливають рештки води та знову, вже енергійно, перемішують. Загальна тривалість перемішування при об'ємі замісу до 30 л – близько 5 хв., до 50 л – 10 хв.

Бетонною сумішшю з пробного замісу заповнюють форму, що складається з 4-х кубиків, вібрують протягом 15 – 20 секунд на вібростолі. Якщо форма після вібрування виявиться не заповненою, то суміш додають до форми й вібрують повторно.

Потім форми, накривши вологою тканиною, зберігають 24 години в приміщенні з температурою $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Через 24 – 30 годин зразки виймають з форми й зберігають у тирсі при вологості $\sim 95\%$. Зразки-кубики випробовують через 28 діб після їх виготовлення.

2.5 Випробування бетону на стиск

При лабораторних випробуваннях бетону на стиск застосовують гідравлічні преси (схема випробування на рис. 2.3).

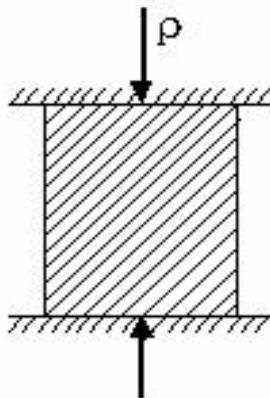


Рис. 2.3. Схема випробування на стиск бетонного куба

Бетонні зразки виготовляють у вигляді кубів або циліндрів (зберігаються у горизонтальному положенні).

Якщо розміри зразків відрізняються від стандартних, то вводять корегувальний коефіцієнт (таблиця 2.7).

Корегувальний коефіцієнт, в залежності від розміра зразка

Форма і розмір зразка $a \times b \times c$, мм	Корегувальний коефіцієнт k	Форма та розмір зразка $d \times h$, мм	Корегувальний коефіцієнт k
Куби		Циліндри	
70,7×70,7×70,7	0,85	71,4×143	1,16
100×100×100	0,91	100×200	1,17
150×150×150 (стандарт)	1	150×300	1,2
200×200×200	1,05	200×400	1,24
300×300×300	1,1		

Робочі поверхні плит преса та зразка перед встановленням ретельно очищають і протирають сухою тканиною. Зразок встановлюють так, щоб напрям навантаження був паралельним шарам укладання бетонної суміші (тобто циліндри і призми встановлюють вертикально, а куби, як правило, догори бічною гранню). На плиті преса повинна бути заздалегідь зроблена строго центрована розмітка. Якщо ж ця умова не виконана, тоді під час встановлення використовують спеціальний шаблон, що центрує. Увімкнувши прес, зразок навантажують безперервно й рівномірно до руйнування зразка. Руйнівне навантаження P_p фіксується.

Контрольні питання

1. Яким методом користуються, підбираючи склад бетонної суміші. У чому полягає його суть?
2. Наведіть розміри стандартного зразка–кубика?
4. За яких стандартних умов набирає міцність бетонна суміш?
5. У чому різниця між маркою й класом бетону?
6. Яка існує залежність між маркою бетону й маркою цементу?
7. За який термін бетонна суміш набуває проектної міцності?
8. За рахунок чого можна підвищити марку бетону, не змінюючи марку цементу?
9. Як впливає фракція щебеню на витрати води?
10. До чого призводить надлишок води в бетонній суміші?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІПСОВИХ В'ЯЖУЧИХ

3.1 Дидактичні цілі

Мета лабораторного заняття – формування у студентів умінь і навичок щодо лабораторних випробувань за для визначення стандартної консистенції гіпсового тіста та строків тужавлення гіпсу на базі знань, набутих у теоретичному циклі вивчення дисципліни.

Вид набутих умінь: *знаково-практичні* – визначати показники за якими маркують гіпсові в'язучі.

3.2 Загальні відомості

Гіпсові в'язучі – *повітряні в'язучі речовини*, які отримують термічною обробкою (при температурі 140–160 °С) гіпсової сировини до напівгідрату сульфату кальцію $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$.

Характерні властивості гіпсових в'язучих – швидке тужавлення й твердіння. По строках тужавлення гіпсові в'язучі діляться на три групи:

A – *швидкого тужавлення* (початок тужавлення не раніше 2 хв., кінець – не пізніше 15 хв.);

A B – *нормального тужавлення* (початок тужавлення не раніше 6 хв., кінець – не пізніше 30 хв.);

A B – *повільного тужавлення* (початок тужавлення не раніше 20 хв., кінець – не нормується).

За межею міцності при стиску і згині гіпсові в'язучі розділяють на 12 марок: від Г–2 до Г–25 (цифри в позначенні марки показують мінімальну межу міцності на стиск, в МПа). Найбільш вживані в будівництві наступні марки гіпсових в'язучих – Г–4 ÷ Г–10.

За тининою помелу гіпсові в'язучі можуть бути грубого, середнього і тонкого помелу (таб. 3.1).

Маркують гіпсові в'язучі за трьома показниками, а саме:

- міцності;
- швидкості тужавлення;
- тинині помелу.

Наприклад, гіпсове в'язуче Г–7А II – швидкотужавіюче (А), середнього помелу (II) з міцністю на стиск не менше ніж 7 МПа.

Для приготування гіпсового тіста беруть у 2–3 рази більше води, ніж необхідно для гідратації гіпсу. Тому після твердіння в гіпсовому камені залишається значна кількість води. У такому стані він має знижену міцність.

Після сушіння міцність гіпсового каменю зростає в $1,5 \div 2$ рази. Однак вода, що випарувалася, залишає в затверділому гіпсі багато пор, тому середня щільність гіпсового каменю досить низька ($1200 - 1500 \text{ кг/м}^3$).

Гіпс – одне з небагатьох в'язучих, що розширюється під час твердіння (збільшення в об'ємі досягає 0,2 %). Властивість розширюватися твердіючи дозволяє застосовувати гіпс, на відміну від більшості інших в'язучих, без заповнювачів, не боячись розтріскування від його усадки.

3.3 Хід роботи

3.3.1 Тонина помелу гіпсового в'язучого і стандартна консистенція гіпсового тіста

Тонина помелу гіпсових в'язучих оцінюють за масою гіпсового в'язучого, що залишилось після просіювання проби на ситі з отворами розміром 0,2 мм. Пробу гіпсового в'язучого масою 120 – 150 г висушують протягом 1 години при температурі $(50 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$. Із сухої проби відбирають навіску масою 50 г з похибкою не більше 0,1 г і висипають на сито. Просіювання вручну або на механічній установці вважається закінченим, якщо крізь сито протягом 1 хв. Проходить не більше 0,05 г в'язучого. Тонкість помелу визначають як відношення маси залишку на ситі до маси первинного навіску (50 г) і виражають у відсотках з похибкою не більше 0,2%. За тонкість помелу гіпсового в'язучого приймають середнє арифметичне результатів двох випробувань.

Групу за тониною помелу, до якої відноситься випробуване в'язуче, визначають відповідно до вимог стандарту (таб. 3.1).

Таблиця 3.1

Група за тонкістю помелу

Група	I	II	III
Ступінь помелу	грубий	середній	тонкий
Залишок на ситі у %, не більше	23	14	2

Стандартна консистенція гіпсового тіста. Вироби з гіпсових в'язучих зазвичай формують методом лиття гіпсового тіста, що являє собою в'язкопластичну масу та складається з тонкомеленого гіпсового в'язучого і води. Тому метод визначення консистенції гіпсового тіста заснований на його здатності розтікатися під дією сили ваги.

Сутність методу кількісної оцінки стандартної консистенції (нормальної густоти) гіпсового тіста полягає у визначенні діаметра розтікання тіста, що випливає з порожнього циліндра без дна (віскозиметра Суттарда). При цьому суворо витримується час експерименту – 45 с. Діаметр розтікання тіста

стандартної консистенції повинен дорівнювати 180 ± 5 мм. Консистенцію виражають у відсотках як відношення маси води, необхідної для одержання тіста, до маси гіпсового в'язучого.

Перед початком випробувань на стіл укладають квадратний лист скла розміром не менш 240 мм. Щоб полегшити вимірювання, на скло або папір під склом, наносять концентричні кола діаметром від 150 до 220 мм через кожні 10 мм і діаметром від 170 до 190 мм через 5 мм. Циліндр 1 (рис. 3.1), виготовлений з нержавіючої сталі та має поліровану внутрішню поверхню поміщають у центр скляної пластинки 2. Внутрішню поверхню циліндра й пластинку перед випробуванням протирають вологою тканиною.

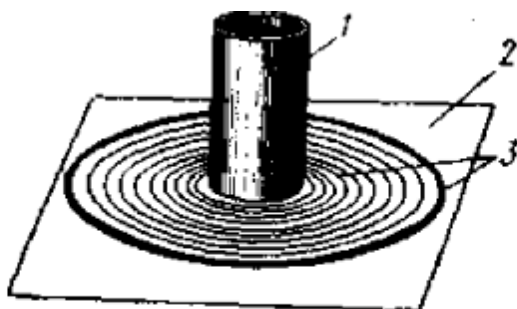


Рис. 3.1. Віскозиметр Суттарда:

1 – циліндр, 2 – скляна пластинка, 3 – концентричні кола

Для визначення стандартної консистенції відважують 300 – 350 г гіпсового в'язучого і відмірюють 45 – 55 % води від його маси. Всі виміри проводять із похибкою не більше 0,1 %. Воду вливають у чисту чашку і туди ж протягом 2 – 5 с всипають зважену кількість гіпсового в'язучого. Отриману масу перемішують рукою мішалкою протягом 30 с, починаючи відлік від моменту насипання гіпсу у воду. Після закінчення перемішування циліндр, що встановлений у центрі пластинки, протягом 15 с заповнюють гіпсовим тістом, надлишки якого зрізують лінійкою. Через 45 с від початку насипання гіпсового в'язучого у воду, або через 15 с після закінчення перемішування циліндр швидко піднімають вгору на висоту 15 – 20 см. Таким чином, **термін перемішування суворо витримується, тому що в'язкість гіпсового тіста швидко зростає в часі і порушення тривалості перемішування дає наблизнені результати випробування.**

Діаметр розтікання вимірюють безпосередньо після підняття циліндра у двох взаємно перпендикулярних напрямках з похибкою не більше 5 мм і обчислюють середнє арифметичне значення. Якщо діаметр розтікання відрізняється від стандартного (180 ± 5 мм), випробування повторюють зі зміненою кількістю води, домагаючись необхідного розтікання.

3.3.2 Строки тужавлення гіпсових в'язучих

Строки тужавлення гіпсу визначають за допомогою приладу Віка (рис. 3.2) з голкою на тісті стандартної консистенції. Для випробування беруть 200 г гіпсового в'язучого і воду в кількості, що відповідає тісту стандартної консистенції, насипають у воду, одночасно включаючи секундомір, і перемішують не більше 1 хв. до одержання однорідного тіста.

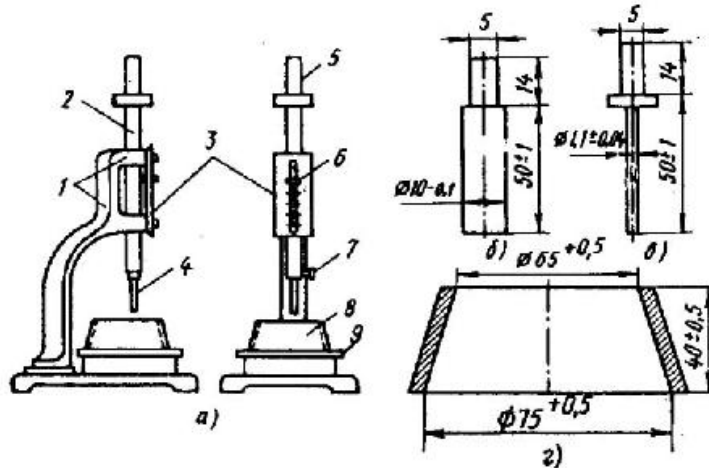


Рис. 3.2. Прилад Віка (а) та пристрої до нього (б – г):

1 – станина, 2 – стрижень, 3 – шкала, 4 – голка, 5 – пестик, 6 – покажчик, 7 – гвинт, 8 – кільце, 9 – скляна пластина

Потім готове тісто виливають у конічне кільце–форму, встановлене на пластинці. Кільце–форму після кожного випробування ретельно очищають і змащують машинним маслом. Щоб видалити повітря, що потрапило в тісто, кільце з пластинкою 5 – 6 разів струшують, піднімаючи й опускаючи одну зі сторін пластинки на 10 – 15 мм. Потім надлишок тіста зрізують ножем, одночасно заглажуючи його поверхню, після чого пластинку з кільцем встановлюють на прилад Віка.

Після цього стрижень приладу встановлюють так, щоб голка торкалася поверхні гіпсового тіста. Далі відпускають затискний гвинт і голка під дією сили ваги стрижня занурюється в тісто. Занурення роблять з інтервалом 30 с, починаючи із цілого числа хвилин (як правило 2 хв.). Після кожного занурення голку ретельно витирають, а пластинку разом з кільцем пересувають так, щоб голка при новому зануренні попадала в інше місце поверхні гіпсового тіста.

Початок тужавлення визначається часом, що минув з моменту всмоктування гіпсу у воду, до моменту, коли вільно опущена голка при зануренні в тісто вперше не дійде до поверхні пластинки. Кінцем тужавлення вважається час від моменту поглинання гіпсу водою до моменту, коли голка порине в тісто не більше ніж на 1 – 2 мм. За отриманим даними визначають до якої групи відноситься випробуваний гіпс (А; Б або В) по строках тужавлення (дивись п. 1).

Контрольні питання

1. Чому при визначенні нормальної густоти гіпсового тіста строго регламентуються строки перемішування?
2. Чому строки тужавлення гіпсу визначають на тісті нормальної густоти?
3. Як зміниться результат випробувань, якщо зменшити або збільшити вміст води в тісті?
4. Чому гіпсові в'язучі можливо застосовувати без заповнювачів?
5. До якої групи за ступенем помелу відноситься гіпс, якщо під час просіювання на ситі залишиться 23 % від маси в'язучого?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОПОГЛИНАННЯ І КОЕФІЦІЄНТА РОЗМ'ЯКШЕННЯ ДЕЯКИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1 Дидактичні цілі

Мета лабораторного заняття – формування у студентів умінь і навичок що до лабораторного визначення гідрофізичних властивостей матеріалів, а також взаємодії будівельних матеріалів і вологого середовища на базі знань, набутих у теоретичному циклі вивчення дисципліни.

Вид набутих умінь: *знаково-практичні* – визначати водопоглинання, водостійкість та коефіцієнт розм'якшення зразків з деревини та з цементно-піщаного розчину, робити висновки що до можливого використання випробуваних матеріалів у гідротехнічному будівництві.

4.2 Загальні відомості

Будівельні матеріали в процесі їх експлуатації й зберігання можуть поглинати вологу в різній кількості. При цьому їх властивості істотно змінюються, а саме погіршуються. Так, під час зволоження матеріалу підвищується його теплопровідність, зменшується середня щільність та міцність, також надлишкова волога негативно впливає на морозостійкість та інші властивості.

Взаємодія будівельних матеріалів і вологого середовища відноситься до гідрофізичних властивостей.

Гідрофізичні властивості характеризуються відношенням матеріалу до статичної або циклічної дії води, мулу, пару (вологість, водопоглинання, водостійкість, морозостійкість, гідрофільність, гидрофобність).

Водопоглинання – здатність матеріалу вбирати й утримувати в своїх порах вологу.

Водопоглинання може бути за масою та за об'ємом. Об'ємне водопоглинання завжди менше 100 %, а водопоглинання за масою може бути і більше ніж 100 % (наприклад, для пористих матеріалів).

Водопоглинання за масою W_m – це максимальна кількість води, яку поглинає зразок матеріалу, витримуючись у воді, по відношенню до його маси в сухому стані.

Водопоглинання за об'ємом W_o – це максимальна кількість води, яку поглинає зразок матеріалу, витримуючись у воді, по відношенню до його об'єму в природному стані.

Водопоглинання в % визначають за наступними формулами:

$$\text{– за масою:} \quad W_m = \frac{m_n - m_c}{m_c} 100, \%; \quad (4.1)$$

$$\text{– за об'ємом:} \quad W_o = \frac{m_n - m_c}{V} \frac{1}{\rho_в} 100, \%, \quad (4.2)$$

де m_n – маса матеріалу в насиченому водою стані, г;

m_c – маса сухого матеріалу, г;

V – об'єм сухого матеріалу в природньому стані, см^3 ;

$\rho_в = 1$ – щільність води, $\text{г}/\text{см}^3$.

Відношення водопоглинання за об'ємом до водопоглинання за масою відповідає середній щільності матеріалу:

$$\frac{W_o}{W_m} = \frac{(m_n - m_c)/V \cdot \rho_в}{(m_n - m_c)/m_c} = \frac{m_c}{V} = \rho_o. \quad (4.3)$$

Водостійкість – здатність матеріалу зберігати свою міцність під час зволоження.

Зменшення міцності будівельних матеріалів через водопоглинання називається **розм'якшенням** і характеризується **коефіцієнтом розм'якшення**

K_p , який визначається за формулою:

$$K_p = \frac{R_n}{R_c}, \quad (4.4)$$

де R_n – міцність матеріалу насиченого водою МПа;

R_c – міцність сухого матеріалу.

Коефіцієнт K_p змінюється від 0 (розмокаючі глини, гіпс) до 1 (метал, деякі пластмаси, скло, бітум).

Водостійкими вважаються матеріали, у яких $K_p > 0,8$, їх можна застосовувати для зовнішнього облицювання і в гідротехнічному будівництві. Якщо $K_p < 0,8$, то матеріал не можна використовувати в місцях можливого контакту з водою.

4.3 Хід роботи

4.3.1 Визначення вагового та об'ємного водопоглинання

Випробування проводять на двох або трьох зразках. Спочатку зразок (пробу) матеріалу, поміщають у склянку для зважування (бюкс), маса якого відома, і зважують разом з ним. Після цього стаканчик із зразком встановлюють в сушильну шафу ($t = 105 - 110 \text{ }^\circ\text{C}$) і висушують до постійної маси. Нагрівання вище $110 \text{ }^\circ\text{C}$ не допускається, тому що можуть виникнути зміни у властивостях або параметрах матеріалів. Перед кожним зважуванням склянку із зразком охолоджують, поміщаючи його в ексікатор на 30 хв. Маса зразка вважається постійною, якщо два послідовні зважування дають однаковий результат. Записують масу сухого зразка m_c .

Потім висушені й охолоджені до кімнатної температури ($t = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) зразки занурюють у воду так, щоб над ними був шар води не менше 2 і не більше 10 см, витримують протягом наступного часу:

- кам'яні матеріали 48 годин;
- деревину 30 діб;
- керамічні матеріали кип'ятять 1 годину.

Після насичення зразки виймають з води, обтирають вологою м'якою тканиною і кожен зразок негайно зважують (масу води, витікаючої з пор зразків на чашку вагів, включають у масу зразка). Записують масу насиченого зразка m_n .

Знаючи масу сухого зразка і його масу після насичення водою, обчислюють водопоглинання за масою W_m за формулою (4.1) і водопоглинання за об'ємом W_o – за формулою (4.2) для кожного зразка. Результати вимірювань записують у таблицю 4.1.

Водопоглинання матеріалу приймають як середнє арифметичне результатів випробування всіх зразків.

Таблиця 4.1

Результати визначення водопоглинання

№, п\п	Назва зразка матеріалу	Маса сухого зразка, г	Маса вологого зразка, г	Розміри зразка, см			Об'єм зразка, см ³	Водопоглинання	
				a	b	c		за масою	за об'ємом

4.3.2 Визначення водостійкості та коефіцієнту розм'якшення

Визначаючи коефіцієнт розм'якшення K_p (за формулою 4.4), зразки матеріалів розділяють на дві партії: одну з них замочують у воді, а іншу висушують при $t = 105 - 110$ °С в сушильній шафі.

На гідравлічному пресі руйнують насичені вологою і сухі зразки будівельних матеріалів правильної геометричної форми, навантаження при цьому рівномірно зростає на $0,5 - 1$ МПа за секунду.

Результати вимірювань і обчислень заносять в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

Результати вимірювань і обчислень

№ п/п	Назва зразка матеріалу	Розмір, м		Руйнуюче навантаження, Па		Коефіцієнт розм'якшення
		<i>a</i>	<i>b</i>	сухого	вологого	

Контрольні питання:

1. До яких основних властивостей будівельних матеріалів відноситься водопоглинання?
2. Які властивості будівельних матеріалів змінюються під час зволоження?
3. Сформулюйте визначення водопоглинання за масою.
4. Надайте визначення водопоглинання за об'ємом.
5. Яке водопоглинання більше – об'ємне або за масою? Чому?
6. Чому дорівнює відношення об'ємного водопоглинання до водопоглинання за масою?
7. За якою ознакою будівельні матеріали відносять до водостійких, або навпаки, до неводостійких?
8. Наведіть формулу за якою визначається коефіцієнт розм'якшення?
9. Дайте визначення коефіцієнту розм'якшення та межі його змінювання.
10. Яким має бути коефіцієнт розм'якшення K_p для неводостійких будматеріалів?
11. Які заходи необхідно вжити по відношенню до будівельного матеріалу, якщо коефіцієнт розм'якшення менш ніж 0,8, а об'єкт контактує з водою?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЕЛЬНОГО ВАПНА

5.1 Дидактичні цілі

Мета лабораторного заняття – формування у студентів умінь і навичок щодо проведення лабораторних випробувань будівельного вапна для визначення його основних характеристик на базі знань, набутих у теоретичному циклі вивчення дисципліни.

Вид набутих умінь: *знаково-практичні* – визначати термін гасіння вапна та вміст у вапні непогашених зерен.

5.2 Загальні відомості

Будівельне вапно – в'язуча речовина, продукт випалу кальцієвих і магнезіальних карбонатних порід із вмістом глини до 6% (якщо відсоток глини буде більшим, то таке вапно буде гідравлічним).

Основний компонент будівельного вапна – оксид кальцію CaO .

Повітряне вапно за співвідношенням між основними оксидами CaO та MgO розподіляється на кальцієве, магнезіальне й доломітове.

Гідравлічне вапно, залежно від складу силікатів і алюмінатів кальцію, буває слабо- і сильногідравлічним.

Повітряне вапно безпосередньо після випалу має вигляд великих грудок (20 – 200 мм) і називається **грудковою кипілкою**. Таке вапно, активно взаємодіючи з водою, виділяє значну кількість теплоти; при цьому вода нагрівається й навіть може закипіти (тому має назву «кипілка»). Грудки вапна при взаємодії з водою диспергують (розпадаються) у дрібний порошок і мають назву **пушонка**. При надлишку води утвориться вапняне тісто. Процес взаємодії вапна з водою називається **гасінням**, а продукт, що утвориться – **гідратним (гашеним) вапном**.

Коли грудкове вапно не гасять, а розмелюють до порошкоподібного стану, воно називається **меленою кипілкою**. Гідравлічне вапно завжди після випалу дрібно розмелюють.

У процесі гасіння вапна може статися, що деяка частина її не гаситься або гаситься настільки повільно, що процес гасіння закінчується вже в будівельному розчині або навіть у кладці, що призводить до появи тріщин. Це небезпечно втратою міцності, і тому є необхідність заздалегідь визначити наявність непогашених зерен у вапні.

Для всіх видів і сортів порошкоподібного будівельного вапна (гідратне, мелене негашене і мелене гідравлічне) ступінь дисперсності повинна бути

такою, щоб під час просіювання проби вапна через сита № 02 і 008 проходило відповідно не менше 98,5 і 85 % від маси проби.

Як повітряне, так і гідравлічне вапно повинні витримувати випробування на рівномірність зміни об'єму під час твердіння.

5.3 Хід роботи

5.3.1 Визначення терміну гасіння вапна

Підготовка проб. Відібрану пробу ділять на дві рівні частини, одну з яких піддають лабораторному випробуванню, а другу поміщають у герметичну посудину, опечатують і зберігають протягом 15 днів на випадок необхідності повторних контрольних випробувань.

Перед проведенням лабораторних випробувань пробу негашеного грудкового вапна подрібнюють до грудок розміром не більше 10 мм і методом квартування відбирають 1 кг для визначення вмісту непогашених зерен і 500 г для інших випробувань.

Спочатку пробу масою 500 г подрібнюють до повного проходження через сітку № 09, потім ретельно перемішують і квартуванням відбирають 150 г.

Далі цю відсіпку розтирають до повного проходження через сітку 008, поміщають у герметично закриту посудину й використовують для проведення випробувань.

Швидкість гасіння вапна визначають за витратами часу на взаємодію між вапном і водою, користуючись таблицею 5.1.

Таблиця 5.1

№ п/п	Термін гасіння	Вапно
1	не більше 8 хвилин	швидкого гасіння
2	не більше 25 хвилин	середнього гасіння
3	більше 25 хвилин	повільного гасіння

Взаємодія вапна з водою (гасіння) супроводжується інтенсивним виділенням теплоти, тому характеристикою швидкості гасіння може служити час досягнення сумішшю максимальної температури. Щоб уникнути втрат теплоти в навколишнє середовище, гасіння при цьому випробуванні проводять у термосі (рис. 5.1).

Масу проби вапна m (г) для цього випробування розраховують за наступною формулою:

$$m = \frac{1000}{A}, \quad (5.1)$$

де A – вміст активних оксидів CaO + MgO у вапні, %.

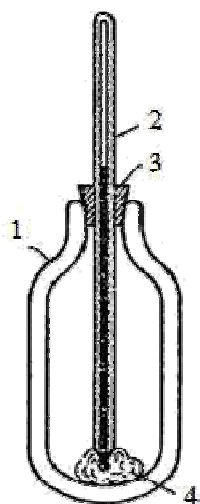


Рис. 5.1. Прибор для визначення часу гасіння вапна:

1 – термосна колба, 2 – термометр із шкалою на 100 ° С, 3 – пробка,
4 – проба вапна

Після цього пробу вапна 4, відважену з похибкою не більше 0,1 г, поміщають у колбу від побутового термоса 1, місткість якої 250 – 500 мл, куди вливають 25 мл води (температура 20°C). Суміш швидко перемішують дерев'яною відполірованою паличкою. Колбу закривають пробкою 3 із щільно вставленим термометром 2, градуйованим на 100°C і залишають у спокої. Ртутна кулька термометра повинна бути повністю зануреною в реагуючу суміш. Температуру суміші визначають щохвилини, починаючи з моменту додавання води.

Випробування вважається закінченим, якщо протягом 4 хв. температура не підвищується більш ніж на 1 °С. За термін гасіння приймають час із моменту додавання води до вапна до початку періоду, коли зростання температури не перевищує 0,25°C за хвилину.

5.3.2 Визначення вмісту непогашених зерен

Спочатку у металеву посудину місткістю 8 – 10 л наливають 3,5 – 4 л води, нагрітої до температури 85 – 90°C, та всипають 1 кг грудкового вапна, подрібненого до грудок не більше 10 мм і безперервно перемішують до закінчення інтенсивного виділення пари (кипіння). Отримане тісто закривають кришкою й витримують 2 год.

Потім тісто розбавляють водою до консистенції вапняного молока й порціями виливають його на сито № 063, промиваючи слабким безперервним струменем води та злегка розтираючи м'які грудочки скляною паличкою з

гумовим наконечником. Частинки, що залишилися на ситі, акуратно збирають і висушують при температурі 140 – 150°C до постійної маси.

За складом і кількістю непогашених зерен повітряне вапно розділяють на три сорти – жирне, середнє, пісне.

Вміст непогашених зерен **Н.З.** (%) обчислюють за формулою

$$Н.З. = \frac{m}{1000} 100, \% , \quad (5.2)$$

де m – залишок на ситі після висушування, г;

1000 – маса первинної проби вапна, г.

Ступінь дисперсності порошкоподібного вапна (С. Д.). Спочатку навіску порошкоподібного вапна масою 50 г, попередньо висушеного при температурі 105 – 110° С до постійної маси, просівають через сита № 02 і 008. Просіювання вважається закінченим, якщо при контрольному ручному просіванні протягом 1 хв. через зазначені сита проходить не більше 0,1 г вапна.

Далі визначають ступінь дисперсності (%) для кожного сита за формулою:

$$С.Д. = \frac{m}{50} 100, \% , \quad (5.3)$$

де m – залишок на відповідному ситі, г;

50 – первинна маса навіски,

Після цього пробу гашеного (гідратного) вапна масою 10 г поміщають у сухий, попередньо зважений стаканчик із кришкою та висушують у сушильній шафі при температурі 105 – 110 °С. Під час сушіння кришку стаканчика відкривають.

У сушильній шафі повинен знаходитися також відкритий стаканчик з натровим вапном (суміш $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з NaOH) для вловлювання CO_2 з повітря, що може вступити у взаємодію з випробовуваним вапном $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ і викривити результати випробування. Через 2 год стаканчик з гідратним вапном щільно закривають кришкою, витягають із сушильної шафи, прохолоджують в ексикаторі, зважують та висушують до постійної маси.

Вологість вапна **W** (%) обчислюють за формулою:

$$W = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} 100, \% , \quad (5.4)$$

де m_1 – маса вапна в природно-вологому стані, г;

m_2 – маса вапна висушеного до постійної маси, г.

Вологість гідратного вапна повинна бути не більше ніж 5%.

Результати вимірювань заносять у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2

№ п/п	Назва характеристики вапна	Значення відповідної характеристики
1	Термін гасіння	
2	Кількість непогашених зерен	
3	Вологість	

Контрольні питання

1. Навіщо при визначенні вмісту непогашених зерен проби вапна заливають гарячою (85 – 90 °С) водою?
2. Чи визначають вологість негашеного вапна?
3. Чому швидкість гасіння вапна визначають у колбі термоса?
4. У чому полягає розходження режимів зберігання зразків з гідралічного вапна й портландцементу, коли визначаються їх міцнісні властивості?
5. Як впливає наявність непогашених зерен у вапні на його властивості?
6. Яким буває повітряне вапно за співвідношенням між основними оксидами СаО та MgO?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ ЗА МІЦНІСТЮ НА СТИСК (ЗГИН) МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН

6.1 Дидактичні цілі

Мета лабораторного заняття – формування у студентів умінь і навичок щодо проведення випробувань мінеральних в'язучих речовин (гіпсу та піску) на міцність при стиску та згині на базі знань, набутих у теоретичному циклі вивчення дисципліни.

Вид набутих умінь: *знаково-практичні* – визначати марку гіпсу та цементу на стиск та згин.

6.2 Загальні відомості

Мінеральні в'язучі – тонкодисперсні порошкоподібні матеріали, які змішуються з водою (іноді з водними розчинами солей) утворюють пластичну легкоформівну масу (*в'язке тісто*), що поступово переходить у каменеподібний стан. В'язучі матеріали, зазвичай, використовуються як основний компонент бетонів і розчинів. Тому деякі випробування в'язучих проводять із заповнювачами.

Основний якісний показник в'язучих – їх взаємодія з водою. В'язучі, які здатні твердіти й зберігати свою міцність не тільки на повітрі, але й у воді, називають *гідралічними*. До них відносяться портландцемент і його різновиди, глиноземистий цемент, гідралічне вапно та інші. В'язучі, які здатні твердіти й зберігати свою міцність тільки на повітрі, називають *повітряними*. До них відносяться гіпсові в'язучі, повітряне вапно та магнезіальні в'язучі.

Якість мінеральних в'язучих оцінюють за наступними показниками: міцність, швидкість тужавлення, строки схоплення, тонина помелу.

Необхідна кількість води для кожного виду в'язучого визначається не з розрахунку повної хімічної взаємодії його з водою, а за умови одержання в'язучого тіста (або розчинної суміші) *стандартної консистенції (нормальної густоти)*. Вибір метода визначення стандартної консистенції залежить від виду в'язучого та способу укладання суміші (наприклад, на основі гіпсу – заливання, а на основі цементу – механічне ущільнення).

Для деяких в'язучих виконують спеціальні випробування, наприклад у вапна ще визначають швидкість гасіння.

6.3 Хід роботи

6.3.1 Визначення межі міцності на згин

Це випробування проводять на обладнанні, що забезпечує наростання навантаження $50 \pm 10 \text{ Н}$ за секунду. Зразок встановлюють на опорні елементи таким чином, щоб його виготовлені горизонтальні грані, під час випробування знаходилися у вертикальному положенні (рис. 6.1).

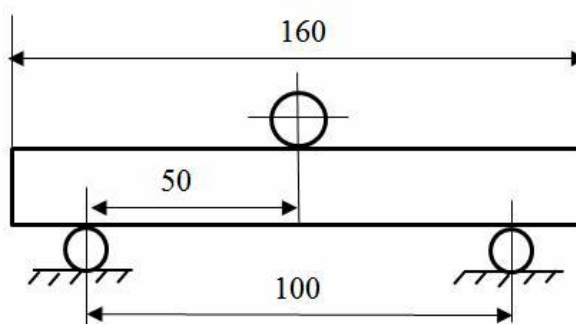


Рис. 6.1. Схема розташування зразків-балочок на опорних елементах

Марку за міцністю при стиску визначають за формулою:

$$R_{cm} = \frac{P}{F}, \quad (6.1)$$

де R_{cm} – межа міцності при стиску [МПа , кгс/см^2],

P_p – руйнівне навантаження [Н , кг],

F – площа стиску, [м^2 , см^2].

Марку цементу (або гіпсу) при згині визначають за формулою:

$$R_3 = \frac{3 \cdot P_l}{2a^3}, \quad (6.2)$$

де R_3 – межа міцності при згині [МПа , кгс/см^2],

P_p – руйнівне навантаження [Н , кг],

$l = 100 \text{ мм}$ – довжина балочки між опорами,

$a = 40 \text{ мм}$ – поперечний переріз балочки.

Межу міцності при згині обчислюють як середнє арифметичне з двох найбільших результатів випробування трьох зразків.

6.3.2 Визначення межі міцності на стиск

Отримані після випробування на згин шість половинок балочок відразу ж випробовують на стиск (рис. 6.2, б) на пресах з максимальним навантаженням 200 – 500 кН. Для того, щоб результати випробувань половинок балочок були зіставними, незважаючи на різний розмір, використовують металеві пластинки (рис. 6.2, а), через які навантаження від плит преса передається на зразок. Пластинки, виготовлені з нержавіючої сталі, мають плоску поліровану поверхню.

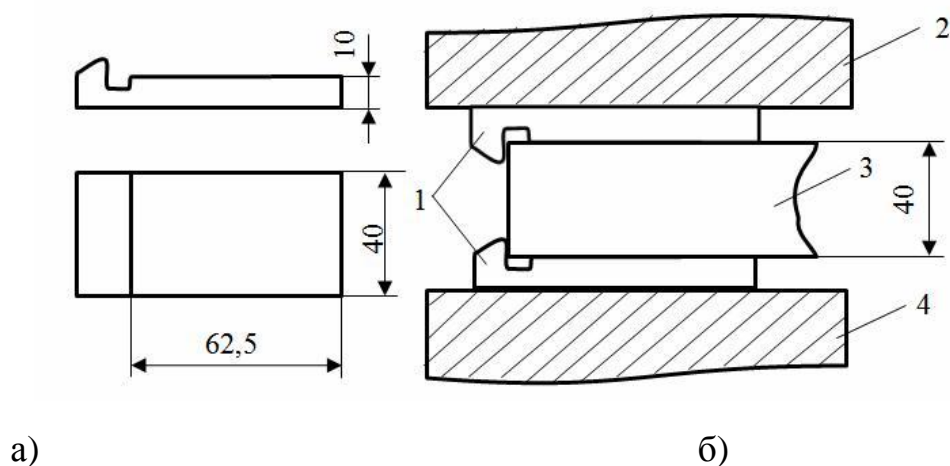


Рис. 6.2. Випробування половинок балочок на стиск:
а – пластинки, б – схема випробування; 1 – пластинки, 2, 4 – плити преса,
3 – зразок (балочка)

Межу міцності при стиску R_{cm} кожного зразка обчислюють за формулою 6.1, де $F = 25 \text{ см}^2$ – площа металевих пластинок.

Середнє арифметичне чотирьох найбільших результатів із шести називають **активністю (маркою)** цементу.

6.3.3 Визначення марки мінеральних в'язучих речовин

Цемент. Марку (активність) цементу (див. табл. 6.1) визначають за границею міцності при стиску (за формулою 6.1) і згині (за формулою 6.2) стандартних зразків розміром $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$, виготовлених з цементно – піщаною розчиною в пропорції 1:3 (за масою) нормальної консистенції після необхідного строку тужавлення (для портландцементу, шлакопортландцементу й пуццоланового цементу – 28 діб, для швидкотвердіючого портландцементу – 3 і 28 діб, для глиноземистого – 3 доби) у стандартних умовах ($t = 20 \pm 2^0 \text{ С}$, вологість $\approx 95 \%$). Під час визначення марки використовують стандартний пісок (вміст $\text{SiO}_2 > 98\%$; втрати при прожарюванні $< 0,05 \%$; вологість $< 0,2 \%$).

Таблиця 6.1

Міцність деяких видів цементу

Найменування цементу	Марка цементу	Межа міцності при згині, МПа	Межа міцності при стиску, МПа
Портландцемент	300 – 400	4,4 – 5,4	29,4 – 39,2
Портландцемент з мінеральними добавками	500 – 550	5,9 – 6,1	49 – 53,9
Шлакопортландцемент	600	6,4	58,8
Швидкотвердуючий портландцемент	400 – 500	5,4 – 5,9	39,2 – 49
Швидкотвердуючий шлакопортландцемент	400	5,4	39,2

Гіпс. Сутність випробування полягає у визначення межі міцності стандартного зразка–балочки розміром 40×40×160 мм, яку випробовують на згин, а отримані половинки балочки – на стиск.

Випробування й розрахунок межі міцності при згині та стиску гіпсових зразків виконують так само, як і для цементних.

Зразки формують із гіпсового тіста стандартної консистенції. Випробування починають через 2 год після початку перемішування. Зразки випробовують на згин на машині, що розвиває зусилля до 5 кН.

Половинки балочок, разом із пластинками піддають стиску на пресі, що розвиває зусилля 50 кН. Час від початку навантаження зразка до його руйнування повинен становити 5 – 30 с (швидкість наростання навантаження близько 2,5 кН за секунду).

Марку гіпсового в'язучого встановлюють за найменшим значенням межі міцності при згині або стиску (таб. 6.2).

Таблиця 6.2

Марка гіпсового в'язучого в залежності від значення межі міцності при згині та стиску

Марка	Г–3	Г–4	Г–5	Г–6	Г–7	Г–10	Г–13	Г–16
$R_{ст}$, МПа, не менше ніж	3	4	5	6	7	10	13	16
$R_{зг}$, МПа, не менше ніж	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,5	5,5	6,0

Ванно. З отриманої суміші (нормальної консистенції) у трьохгніздовій формі формують зразки–балочки розміром 40×40×160 мм. Зразки маркують і через добу розформовують. Протягом наступних 5 – 6 діб їх зберігають у ванні з гідравлічним затвором, при цьому зразки розташовуються на підставці над поверхнею води. Через 7 діб з моменту формування зразків їх занурюють у

воду температурою $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ так, щоб її рівень був на 2 см вище зразків. Після закінчення 28 діб твердіння в стандартних умовах зразки випробовують на згин, а половинки, що утворилися після цього – на стиск, на гідравлічному пресі з використанням сталевих пластинок.

Міцність зразків повинна бути у відповідних межах:

для *слабогідравлічного* вапна межа міцності при згині не менше 0,4 МПа, при стиску – не менше 1,7 МПа;

для *сильногідравлічного* вапна ці величини – відповідно не менше 1 та 5 МПа.

Межу міцності при згині та стиску вапняно – піщаного розчину обчислюють як середнє арифметичне результатів випробування зразків. При цьому в розрахунок не беруть найбільший і найменший результати випробувань. Далі визначають до якого виду відноситься дане вапно.

Результати вимірювань і розрахунків заносять у таблицю 6.3.

Таблиця 6.3

Міцнісні характеристики в'язучих речовин

№ п/п	Назва в'язучого	Межа міцності при згині, МПа	Межа міцності при стиску, МПа
1	цемент		
2	гіпс		

Контрольні питання.

1. За якими показниками оцінюють якість мінеральних в'язучих речовин?
2. Від чого залежить вибір метода визначення стандартної консистенції в'язучого?
3. Що таке марка цементу і за якими показниками вона визначається?
4. Скільки часу минає між виготовленням гіпсових, вапняно– та цементно–піщаних зразків–балочок і їх випробуванням на стиск або згин?
5. Чому під час виготовлення зразків–балочок з гіпсу його використовують без заповнювачів?
6. Наведіть формули, за якими визначаються межі міцності при згині та стиску.
7. Які в'язучі речовини називаються гідравлічними?
8. Які в'язучі речовини називаються повітряними?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

7.1 Дидактичні цілі

Мета лабораторного заняття – формування у студентів умінь і навичок що до оброблення та аналізу експериментальних даних, отриманих після проведення відповідних лабораторних випробувань.

Вид набутих умінь: *знаково-практичні* – перевірка експериментальних даних, які мають значні відхилення від середнього значення ряду вимірювань та встановлення причини такого відхилення.

7.2 Загальні відомості

Значення, які одержують при вимірюванні показників властивостей матеріалів можуть відрізнятися. Причинами цього можуть бути:

1. Неточність вимірювальних приладів або неправильність методики вимірювань.
2. Помилки працівника, що проводить вимірювання.
3. Відхилення властивостей самого матеріалу.

Перші дві причини – систематичні помилки, можуть бути усунені або враховані. Третя причина – випадкові помилки. Повністю уникнути впливу випадкових помилок неможливо. Ці помилки призводять до відхилень під час вимірювання в обидві сторони від дійсного значення та відповідають нормальному закону розподілу:

- відхилення не можуть мати одного і того ж знаку, тобто значення, що вимірюються бувають, як більшими так і меншими від середнього;
- абсолютні значення відхилень обмежені якими–небудь межами для більшості результатів;
- чим більше значення відхилення, тим рідше воно зустрічається;
- якщо число вимірювань досить велике, то сума позитивних відхилень приблизно дорівнює сумі негативних.

Ряд числових значень, отриманих під час вимірювання, називають *рядом вимірювань* або *статистичною сукупністю*.

7.3 Хід роботи

7.3.1 Визначення середнього арифметичного значення

Середнє арифметичне значення X – статистична характеристика, що описує одним числом результати деякого ряду вимірювань. Середнє арифметичне значення обчислюють за формулою

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (7.1)$$

де X_1, X_2, \dots, X_n – результати окремих вимірювань;
 n – число вимірювань.

Середнє арифметичне дає уявлення про середнє значення величини, що вимірюється, але не відображає її мінливості, тобто меж коливання (варіювання).

7.3.2 Визначення середнього квадратичного відхилення

Середнє квадратичне відхилення S – це характеристика середньої мінливості величини, яка визначається, має ті ж одиниці вимірювання, що і середнє арифметичне значення і обчислюється за формулою

$$S = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}, \quad (7.2)$$

де $\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2$ – сума квадратного відхилення усіх вимірювань від середнього арифметичного;

n – число вимірювань.

Знак «+» або «-» у формулі показує, що відхилення може бути як в один, так і в інший бік від середнього арифметичного.

7.3.3 Визначення дисперсії та розмаху

Квадрат середнього квадратичного відхилення S^2 називається **дисперсією**. На практиці для характеристики розкиду вимірювань часто використовують поняття **розмах** (варіювання) R ; – це різниця між максимальним і мінімальним значеннями у ряді вимірювань

$$R = X_{max} - X_{min}. \quad (7.3)$$

Розмах використовують при аналізі результатів невеликого числа вимірювань (до 10) для полегшення обчислення середнього квадратичного відхилення (спрощується формула 7.2).

$$S = \frac{(X_{\max} - X_{\min})}{d}, \quad (7.4)$$

де d – коефіцієнт, що залежить від числа вимірювань:

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d	1,13	1,69	2,06	2,33	2,53	2,7	2,85	2,97	3,08

Під час оброблення експериментальних даних при ($n > 10$) середнє квадратичне відхилення розраховують за формулою (7.2).

Для зручності обчислень використовують таблицю з трьох граф. У першій графі, позначеній X , записують отримані результати; у другій (D) – відхилення окремих результатів (із знаком «+» або «-») від середнього арифметичного X , в третій (D^2) – квадрати цих відхилень (із знаком «+»).

Необхідно пам'ятати, що сума відхилень D із знаком плюс має дорівнювати сумі відхилень із знаком мінус.

Середнє квадратичне відхилення – одна з найбільш важливих статистичних характеристик. Однак його абсолютне значення не дозволяє порівняти ступінь мінливості властивостей, що досліджуються, у декількох групах матеріалів.

7.3.4 Визначення коефіцієнта варіації

Показник відносної мінливості n – *коефіцієнт варіації*, обчислюють за наступною формулою:

$$n = \frac{S}{\bar{X}} 100\% . \quad (7.5)$$

Під час оброблення експериментальних даних іноді окремі результати вимірювань мають значно більше відхилення від середнього, ніж інші. У подібних випадках перевіряють, чи не допущена помилка в процесі експерименту. Якщо вдається точно встановити причину такого відхилення, то результат необхідно вилучити з розрахунків.

7.3.5 Перевірка аномальності

Коли не вдається встановити причину значного відхилення числа, а підозри в його помилковості залишаються, тоді його перевіряють на приналежність до досліджуваного статистичного ряду. Ця операція називається **перевіркою аномальності**.

Результати випробувань приймають аномальними і не враховують у подальших розрахунках, якщо величина T_k , обчислена за формулою $T_k = \frac{(X - \bar{X})}{S}$ не перевищує допустимих значень, що наведені нижче:

Число результатів випробувань	3	4	5	6	7	8	9	10
T_k	1,15	1,46	1,67	1,82	1,94	2,03	2,11	2,18

При наявності у ряді вимірювань двох помилкових чисел, перш за все перевіряють значення з більшим відхиленням, а потім – з меншим.

7.3.6 Інтерполювання результатів

Інтерполювання – це математичний спосіб визначення проміжних значень величини по наявному набору відомих значень, яку визначають за формулою:

$$f(x_1) = f(x_0) + \frac{x_1 - x_0}{x_2 - x_0} [f(x_2) - f(x_0)].$$

Розглянемо інтерполяцію на прикладі.

Знайти проміжне значення величини x способом лінійної інтерполяції.

$60=x_0$	$15 = f(x_0)$
$70=x_1$	$x = f(x_1)$
$80=x_2$	$20 = f(x_2)$

$$x = 15 + \frac{70 - 60}{80 - 60} (20 - 15) = 17,5.$$

Результати оброблення вимірювань заносять до таблиці 7.1.

Результати оброблення вимірювань

Вимірювана величина Кількість вимірювань	Насипна щільність щебню	Насипна щільність піску	Середня щільність цементно-піщаного розчину	Середня щільність природного каменю
1				
2				
3				
...				
n				
X				
S				
d				
v				
- D				
+ D				

Контрольні питання:

1. Для чого проводять математичне оброблення результатів вимірювань?
2. Для чого проводять перевірку аномальності результатів?
3. Що називається розмахом та дисперсією результатів вимірювань?
4. Що характеризує середнє квадратичне відхилення?
5. Що характеризує середнє арифметичне значення?
6. За якою формулою обчислюють середнє арифметичне значення?
7. Для чого визначають коефіцієнт варіації, за якою формулою?

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ВИКОНАНОГО ПРАКТИЧНОГО ЗАВДАННЯ

Загальні вимоги, що забезпечують максимальну оцінку:

- самостійність виконання лабораторних випробувань;
- правильність та повнота структури розрахунків;
- грамотність, лаконізм і логічна послідовність викладу;
- оформлення завдань відповідно до чинних стандартів;
- наявність висновків, що до отриманих результатів;
- захист лабораторних робіт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу: ДСТУ Б В.2.7–215:2009. – [Чинний від 01.09.2010 р.]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – IV, 14 с.
2. Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7–43–96. – [Чинний від 02.09.1996 р.]. – К.: Держкоммістобудування України, 1997. –16 с.
3. Будівельні матеріали. Вапно будівельне. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7–90:2011 – [Чинний від 01.10.2012 р.]. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 19 с.
4. Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7 – 82:2010. – [Чинний від 03.02.1999 р.]. – К.: Держбуд України, 1999. – 27 с.
5. Методи випробування цементу. Частина 1. Визначення міцності (EN 196–1:2005, IDT): ДСТУ EN 196–1:2007. – [Чинний від 05.02.2007 р.]. – К.: Мінбуд України, 2007. – 24 с.
6. Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань: ДСТУ Б В.2.7–114–2002. – [Чинний від 31.01.2002 р.]. – К.: Держбуд України, 2002. –25 с.
7. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск: ДСТУ Б В.2.7–187:2009. – [Чинний від 01.08.2010 р.]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 18 с.
8. Микульский В. Г. Строительные материалы. – М.: Изд – во АСВ, 2002. – 530 с.
9. Комар А. Г. Строительные материалы и изделия. –М.: Выс. школа, 1988. – 527 с.
10. Кривенко П. В. Будівельні матеріали. – К.: «Вища школа», 1993. – 387 с.
11. Воробьев В. А. Строительные материалы. – М.: «Высшая школа», 1979. – 376 с.
12. Попов К. Н., Каддо М. Б., Кульков О. В. Оценка качества строительных материалов. – М.: Издательство АСВ, 2001. – 236 с.
13. Скрамтаев Б. Г., Дуров В. Д., Панфилова Л. И., Шубенкин П. Ф. Примеры и задачи по строительным материалам. /под. ред. П. Ф. Шубенкина. – М.: «Высшая школа», 1970. – 228 с.

Іванова Ганна Павлівна
Терещук Роман Миколайович
Шаповал Володимир Григорович
Халимендик Олексій Володимирович
Кравченко Костянтин Валерійович

БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт з дисципліни

студентами-бакалаврами спеціальності
192 Будівництво та цивільна інженерія

Видано в редакції авторів.

Підписано до друку 18.02.2020. Формат 30x42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 2,7.
Обл.-вид. арк. 2,7. Тираж 6 пр. Зам. №

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.