

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНИХ БЕТОНІВ»

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти денної
форми навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Технології сучасних бетонів» (для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. О. В. Кондращенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 38 с.

Укладач д-р техн. наук, проф. О. В. Кондращенко

Рецензент

А. А. Жигло, кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій, протокол № 18 від 16.01.2025

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практичне заняття 1 Оцінки якості портландцементу.....	6
1.1 Визначення тонкості помелу цементу.....	7
1.2 Визначення водопотреби цементу (нормальна густина).....	8
1.3 Визначення строків тужавіння.....	9
1.4 Визначення марки цементу за міцністю.....	8
Практичне заняття 2 Оцінка якості заповнювачів бетонів.....	11
2.1 Визначення властивостей дрібного заповнювача.....	11
2.2 Визначення властивостей великого заповнювача.....	14
Практичне заняття 3 Проектування складу важкого бетону.....	15
3.1 Порядок розрахування складу бетону за методом абсолютних об'ємів.....	17
3.2 Розрахування виробничого складу бетону.....	19
Практичне заняття 4 Проектування складу ніздрюватого бетону.....	21
Практичне заняття 5 Проектування складу керамзитобетону.....	26
Практичне заняття 6 Проектування складу арболіту (деревобетону).....	28
Практичне заняття 7 Неруйнівні методи контролю бетонів.....	30
Завдання для виконання самостійної роботи.....	36

ВСТУП

Найголовнішими серед сучасних будівельних матеріалів є бетони та їх різновиди. Бетон – композиційний матеріал, який отримують шляхом формування та тверднення раціонально підібраної суміші, що складається з в'язучої речовини, дрібного й великого заповнювачів і спеціальних добавок. Структура прадавнього римського бетону наведена на рисунку 1.



Рисунок 1 – Структура бетону
(URL: <https://tuexpert.com.ua/news/rimsky-beton>)

Бетони в сучасному будівництві користуються найбільшим попитом і займають найважливіше місце серед інших будівельних матеріалів, оскільки мають такі переваги:

- широка й різноманітна сировинна база для їх виготовлення;
- економічність (80–85 % його складу становлять заповнювачі з місцевих кам'яних матеріалів або відходів виробництва);
- архітектурна виразність (можливість виготовляти найрізноманітніші за формою й розмірами конструкції та вироби);
- великий діапазон властивостей (міцність, морозостійкість, теплопровідність, густина тощо), які уможливають їхнє широке застосування;
- можливість повної механізації проведення бетонних робіт.

Метою практичних занять із дисципліни «Технології сучасних бетонів» є ознайомлення з підходами до вибору їх основних компонентів, опанування методами проєктування складів бетонів різної структури та призначення, вивчення загальних властивостей бетонів та їх різновидів.

Бетони класифікують за різними показниками:

1. За *призначенням*:

- конструкційні;
- конструкційно-теплоізоляційні;

- теплоізоляційні;
- спеціальні (хімічно-, корозійностійкі).

2. За *густиною*:

- 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).

3. За *міцністю* (під час стискання):

- низької міцності, клас від 8 до 10 та нижче;
- рядові, клас від 12–15 до 20–25;
- підвищеної міцності, клас від 35–40 до 45–55;
- високоміцні, класу від 55–60 до 90–100;
- особливо міцні, класу 100–120 і вище.

4. За *видом в'язучої речовини* бетони можуть бути такими: цементні; силікатні (вапняно-кремнеземисті), гіпсові, мішані (цементно-вапняні, вапняно-шлакові тощо); спеціальні (жаростійкі, хімічно стійкі тощо).

5. За *видом заповнювача* розрізняють такі бетони:

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

6. За *призначенням* бетони виокремлюють бетони для звичайних бетонних або залізобетонних конструкцій, гідротехнічних споруд, стін будівель, що опалюються, для підлог та ін.

Щоб отримати бетон, який відповідає всім необхідним вимогам щодо його використання, потрібно правильно підібрати вихідні компоненти, точно розрахувати склад бетонної суміші, вибрати раціональний спосіб його укладання, забезпечити належний догляд під час тверднення. Кожен компонент, який входить до складу бетону, впливає на його якість і довговічність, тому розроблені жорсткі вимоги до кожного компонента бетону. З неруйнівними методами випробувань будівельних матеріалів можна ознайомитися за посиланням: <https://fizmat.7mile.net/lpr-bud-mat/16-neruynuyuchi-metodi-viprobuvan.htm>.

Практичне заняття 1

Оцінки якості портландцементу

Портландцемент вважається найпоширенішим різновидом в'язучих будівельних матеріалів для виготовлення бетонів, тому що може тверднути і набирати міцності з часом як у повітрі, так і у воді, а також зберігає свої властивості навіть у складних експлуатаційних умовах.

Портландцемент є продуктом випалу до спікання (при $T = 1450\text{ }^{\circ}\text{C}$) сировини, що складається з 75 % вапняку й 25 % глини. Існує багато різновидів цементів, які відрізняються один від одного хімічним і мінеральним складом. Мінеральний склад цементу визначається співвідношенням основних клінкерних мінералів у відсотках (за масою):

- аліт (трьохкальцієвий силікат) $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_3S) – 45–65 %;
- біліт (двохкальцієвий силікат) $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_2S) – 15–40 %;
- чотирикальцієвий алюмоферит $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) – 10–20 %;
- трьохкальцієвий алюмінат $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) – 5–15 %.

Обирають цемент для різного призначення за його міцністю, строками тужавіння, швидкістю набору міцності тощо. За цими ознаками цементи класифікують на такі групи:

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 ніж 90 хв;

в) за строками тверднення:

- звичайні, з нормуванням міцності у віці 28 діб;
- швидкотверднучі, з нормуванням міцності у віці 3, 7 і 28 діб;
- особливо швидко тверднучі, з нормуванням міцності у віці 1-ї доби й

менше.

Відповідно до стандартів властивості найрозповсюдженіших цементів повинні відповідати вимогам, наведеним у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – 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)

Для оцінки придатності цементу у якості в'язучої речовини і складі бетонів необхідно проаналізувати його основні фізико-хімічні властивості, до яких належать тонкість помелу, водопотреба (або нормальна густина цементного тіста), строки тужавіння, рівномірність змінювання об'єму під час набору міцності, марка за міцністю (або активність).

Усі зазначені характеристики пов'язані і кожна з них впливає на міцність і довговічність цементного каменю, а це, у свою чергу, буде відбиватися і на всіх основних показниках бетону.

1.1 Визначення тонкості помелу цементу

Починають вивчати цемент з визначення тонкості помелу, яку оцінюють шляхом його ручного або механічного просіювання на ситовому аналізаторі крізь сито № 008 (рис. 1.1). За результат приймають залишок на вказаному ситі у відсотках щодо початкової маси наважки.



Рисунок 1.1 – Ситовий аналізатор для визначення тонкості помелу
(URL: <https://studfile.net/preview/5229949/page:10/>)

Відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-188:2009 (EN 196-6:2007) крізь сито повинно проходити не менше 85 %.

1.2 Визначення водопотреби цементу (нормальна густина)

Наступною характеристикою цементу є водопотреба цементного тіста (або нормальна густина), яка показує вміст води у відсотках. Цей показник оцінюють шляхом підбору кількості води, яку дозують до цементу відповідно до діапазону 25–30 %.

Визначають водопотребу на приладі Віка зі стрижнем Тетмайера, що зображений на рисунку 1.2.

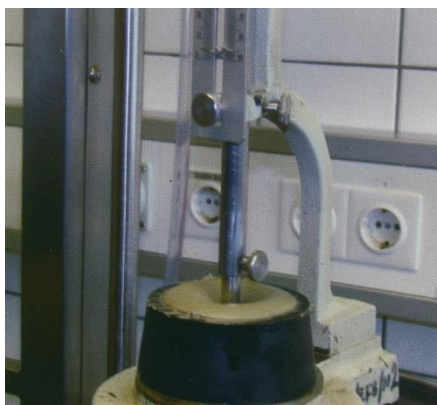


Рисунок 1.2 – Прилад Віка для визначення водопотреби цементного тіста

(URL: <https://t-mg.com.ua/ua/p1041366026-pribor-vika-ogts.html>)

За водопотребу приймають стандартну консистенцію цементного тіста такого стану, коли стрижень не досягає піддона кільця на 5–7 мм. Спробу роблять декілька разів, поки не отримають потрібного результату.

1.3 Визначення строків тужавіння

Далі на тісті нормальної густини визначають строки тужавіння – час, протягом якого цементне тісто втрачає свою пластичність. Розрізняють умовний початок тужавіння (початок втрати пластичності) і кінець тужавіння (повна втрата пластичності). Показник строків тужавіння цементного тіста необхідний під час вибору технологічних режимів приготування бетонів або будівельних розчинів.

У висновку визначають різновид цементу за строками тужавіння.

1.4 Визначення марки цементу за міцністю

На завершення необхідно встановити марку цементу за міцністю (або його активність). Марка цементу характеризується його активністю (межа міцності під час стискання) з урахуванням межі міцності під час вигину стандартних зразків-балочок у віці 28 діб.

Ці показники характеризують його механічну міцність, яку встановлюють за межею міцності під час стискання половинок зразків у віці 28 діб.

Зразки-балочки розміром 40 мм × 40 мм × 160 мм виготовляють із цементно-піщаної розчинної суміші складу 1 : 3 (за масою) при В/Ц = 0,4 на нормальному однофракційному природному кварцовому піску. Відповідно до ДСТУ Б В.2.7–187:2009 виготовляють три стандартні балочки з розчину нормальної консистенції. Їх зберігають 24 ± 2 год у формі на повітрі, а потім виймають з форми та витримують у ванні з водою ще 27 діб. Перед випробуванням зразки підсушують.

За результатом випробувань записують одержану марку цементу, наприклад: **ПЦ Ш/А-Ш-400**, де ПЦ – портландцемент; Ш – тип; А – підтип із вмістом добавок 6–20 %; Ш – добавка шлаку; 400 – міцність (кг/см²).

Крім саме портландцементу (без мінеральних добавок або з мінеральними добавками), у сучасному будівництві активно застосовують і інші його різновиди, а саме:

- цементи швидкого тверднення (швидкотверднучий портландцемент (ШТЦ), особливо швидкотверднучий високоміцний, понадшвидкотверднучий цемент (ПШТЦ));
- сульфатостійкий портландцемент;
- білий і кольоровий портландцементи;
- глиноземистий цемент ;
- цементи, що розширюються й безусадкові цементи ;
- портландцементи з органічними добавками (пластифікований і гідрофобний портландцементи);
- портландцементи з мінеральними добавками (пуцолановий і шлакопортландцемент);
- жаростійкий шлакопортландцемент.

Після замішування бетону з водою починається процес гідратації. Існуючі на сьогодні версії теорії тверднення в'язучих речовин описують механізм перебігу цих процесів переважно через фізико-хімічні прояви.

Процес тверднення цементу є довгим і безперервним, він продовжується десятиліттями під час роботи бетонів у виробках або конструкціях. Ці процеси вивчалися вченими не одне століття, механізм їх перебігу описують переважно

через фізико-хімічні прояви. Було встановлено, що тверднення відбуваються поступово в такій послідовності:

1) розчинення – утворення насиченого щодо продуктів гідратації розчину;

2) період колоїдації (*тужавіння*) – перехід новоутворень (кристалогідратів) у розчин у гелеподібному вигляді без розчинення;

3) період кристалізації (*тверднення*) – перекристалізація колоїдних частинок у великі кристали з утворенням зростка.

На базі цих досліджень була виведена логарифмічна залежність набору міцності цементних систем, у тому числі й цементних бетонів у часі (рис. 1.3).

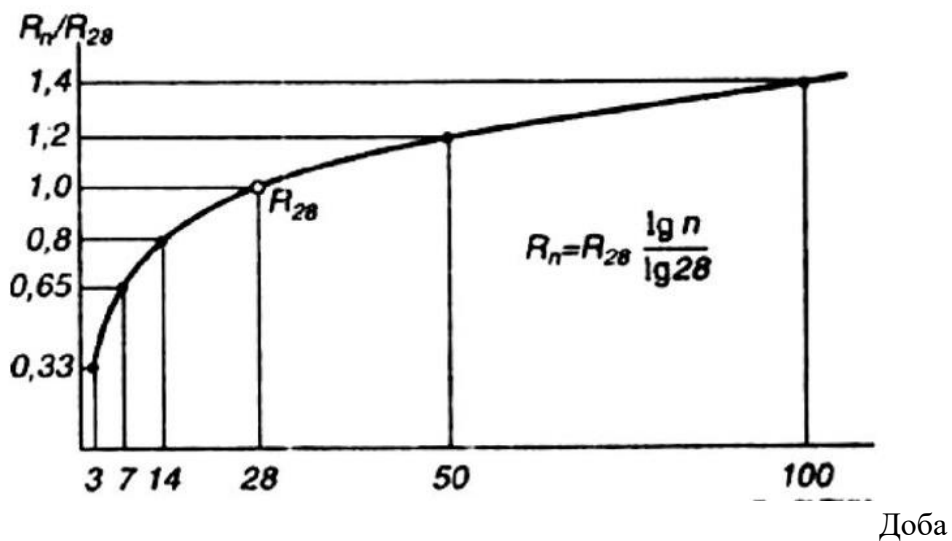


Рисунок 1.3 – Логарифмічна залежність набору міцності цементу
(URL: <https://studfile.net/preview/2827090/page:3/>)

У результаті процесу гідратації утворюються кристали гідратних новоутворень, розміри яких, як правило, менше ніж 1 мкм. Деяка частина новоутворень має аморфну структуру.

Цементний камінь, який є з'єднувальною сполукою бетонного каменю, пронизаний порами з розміром від 0,1 до 100 нм. Існує така класифікація пор: макропори (100 нм), мезопори (1,6–100 нм), мікропори, гелеві пори (0,6–1,6 нм) та ультрамалі й міжкристалічні пори (< 0,6 нм). Зазначені пори мають різне походження. Також у цементному камені є капілярні пори, утворені зайвою водою, 0,1–1 мкм) та пори, утворені залученим повітрям (> 0,05 мм). Загальна поруватість цементного каменю змінюється від 25 до 50 % і здебільшого залежить від водоцементного відношення (В/Ц).

Неоднорідність структури цементного каменю посилюється і тим, що в ньому містяться зерна цементу, що не повністю прореагували з водою.

Все це треба враховувати, тому що структура цементного каменю і його властивості будуть безпосередньо впливати на бетонний камінь і його змогу витримувати навантаження й агресивну дію експлуатаційного середовища.

Практичне заняття 2

Оцінка якості заповнювачів бетонів

Заповнювачі для бетонів – природні або штучні матеріали певного зернового складу, які в раціонально складеному поєднанні із в'язучою речовиною та водою утворюють бетон. Заповнювачі становлять 80 % об'єму бетону, їхня вартість досягає 30–50 % від 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.

Цементний камінь під час тверднення зазнає об'ємних деформацій, що спричиняє появу внутрішнього напруження та тріщин. При цьому усадка, що виникає, може досягати 0,02 мм/м.

Заповнювачі створюють в бетоні жорсткий скелет, що сприймає усадкові напруження й зменшує усадку звичайного бетону приблизно в 10 разів порівняно з усадкою цементного каменю. Розрізняють дрібний та великий заповнювачі.

2.1 Визначення властивостей дрібного заповнювача

До дрібного належать уламкові осадові гірські породи або штучні продукти подрібнення гірських порід із розмірами зерен 0,14–5 мм. Такий заповнювач називають піском (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Різновиди дрібного заповнювача

(URL: <https://flagma.ua/uk/products/kiev/q=%D1%81%D1%83%D1%85%D0%BE%D0%B9+%D0%BF%D0%B5%D1%81%D0%BE%D0%BA/>)

До крупного заповнювача відносять гравій (сипкий матеріал – продукт природного руйнування гірських порід) або щебінь (продукт подрібнення гірських порід) із розмірами зерен 5–70 мм. Для великих об’ємних конструкцій максимальна крупність може досягати 150 мм (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Різновиди великого заповнювача
(URL: <https://nerudbud.com.ua/nasha-produkciya/scheben/>)

Жорсткий каркас із високоміцного заповнювача збільшує міцність і модуль пружності бетону, тобто зменшує деформацію конструкцій під навантаженням, зменшує повзучість, тобто пластичні необоротні деформації бетону при тривалій дії навантаження.

Легкі поруваті заповнювачі зменшують густину бетону та його теплопровідність. Спеціальні, особливо важкі й гідратні заповнювачі забезпечують бетону надійний захист від проникаючої радіації (наприклад, на атомних електростанціях, для влаштування сховищ радіаційних відходів). Цей неповний перелік визначає призначення заповнювачів і впливає на їх властивості й техніко-економічну ефективність.

Пісок для бетонів повинен відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-32-95. Здебільшого для одержання звичайних важких бетонів використовують кварцові піски. Для пісків обов’язково визначають їх насипну густину за такою формулою:

$$\rho_{он} = (m_2 - m_1) / V, \quad (2.1)$$

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 надають піскам з гострими краями, тобто гірським або яровим піскам. До пісків, які використовують для звичайного бетону, висувають такі вимоги:

– вміст зерен, які проходять крізь сито з комірками 0,16 мм, повинен становити менше ніж 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.

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 донизу 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 називаються частковими залишками (a_i), зважують і визначають їх масу з точністю до 0,1 % за формулою

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100 \%, \quad (2.2)$$

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 верхніх щодо нього часткових залишків, за формулою

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (2.3)$$

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

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

$$M_\kappa = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}. \quad (2.4)$$

Модуль крупності піску повинен розміщуватися в межах 2–2,5, до того ж для бетонів із межею міцності 20 МПа і вище модуль крупності піску має бути не менше ніж 2, а для бетонів із межею міцності 35 МПа і вище – не менше ніж 2,5.

Вміст органічних домішок визначають колориметричною пробою. Аналізують пісок природної вологості. Також визначають вміст і мінеральних домішок, таких як пилуваті, глинисті і мулисті частинки у складі піску. Ступінь забруднення піску вказаними домішками визначають методом відмулювання або мокрого просіювання.

За методом відмулювання вміст пилюватих і глинистих частинок визначають за зменшенням маси піску після відмулювання частинок із крупністю до 0,05 мм.

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

$$O_{тм} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

де m_1 – проба піску, г;

m_2 – маса промитого сухого піску, г.

За методом мокрого просіювання вміст пилюватих і глинистих частинок визначають як різницю за масою до і після випробування.

Вологість піску визначають шляхом порівняння маси піску природної вологості й після висушування за формулою

$$W = \frac{m_{вл} - m_{суу}}{m_{сух}} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

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

$m_{сух}$ – маса сухого піску, г.

2.2 Визначення властивостей великого заповнювача

Для крупних заповнювачів найважливішими показниками є насипна густина і міжзеренна порожнистість, яка становить 40–50 %. Цей показник можна регулювати шляхом підбору зернової суміші заповнювача.

Щебінь і гравій за крупністю зерен розділяють на фракції: 5–10; 10–20; 20–40; 40–70. Вміст різних фракцій у великому заповнювачі нормується стандартом.

Наявність шкідливих домішок (органічні, пилюваті, глинисті) в крупному заповнювачі може бути такою самою, як і у пісках. Методи їхнього визначення аналогічні. Міцність крупного заповнювача для важких бетонів має перевищувати міцність бетону в 1,5–2 рази.

Також дуже важливою характеристикою заповнювача є його порожнистість. У щільному конструкційному бетоні всі порожнини повинні бути заповнені цементним тістом, тому чим менша порожнистість заповнювача, тим менша витрата цементу при приготуванні бетону. Винятком є крупнопоруватий бетон, у якому, навпаки, бажана підвищена порожнистість заповнювача.

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

$$П = (1 - \rho_{он} / \rho) \cdot 100 \%, \quad (2.7)$$

де ρ_o – насипна густина, г/см³;

ρ – істинна густина, г/см³.

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.

Непридатним вважається щебінь, у якому вміст пластинчастих (лещадних) і голчастих зерен становить більше 35 %.

Практичне заняття 3 **Проектування складу важкого бетону**

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

При проектуванні бетонних і залізобетонних конструкцій призначають необхідні характеристики бетону, зокрема 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 і 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 у межах однієї марки виявився занадто істотним.

На сьогодні клас бетону, відповідно до Європейських стандартів, позначається, наприклад, так: С 15/20. Середню міцність бетону кожного класу визначають при нормативному коефіцієнті варіації: $v = 13,5 \%$ для конструктивних бетонів і $v = 18 \%$ для теплоізоляційних бетонів.

До моменту затвердіння бетону його називають бетонною сумішшю. Ці суміші належать до структурованих систем, оскільки до їх складу входить цементне тісто. Для виконання бетонних робіт необхідно, щоб бетонна суміш мала консистенцію, що відповідає умовам її укладання. Мірою консистенції є так звана зручноукладальність – 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. 3.1).

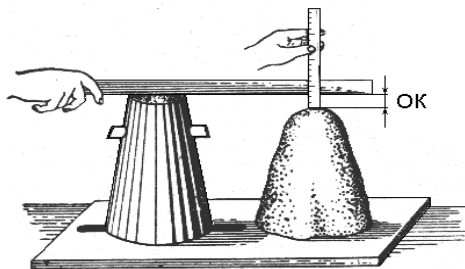


Рисунок 3.1 – Стандартний конус для визначення рухливості бетонної суміші ([URL:https://bstudy.net/815823/tehnika/metody_opredeleniya_udoboukladyvaemosti_betonnoy_smesi](https://bstudy.net/815823/tehnika/metody_opredeleniya_udoboukladyvaemosti_betonnoy_smesi))

Якщо суміш після зняття конуса не осідає, тобто $OK = 0$ см, то використовують прилад для визначення жорсткості. За зручноукладальністю 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 відбуваються в разі взаємодії цементу з водою. Швидкість набору міцності значною мірою 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 зволожити свіжосформовану конструкцію та укрити її від швидкого висихання.

Перевірка відповідності бетону класу здійснюється в лабораторіях шляхом випробування на стиск зразків-кубиків розміром 15 см × 15 см × 15 см або циліндрів на пресі. Кількість зразків повинна становити не менше 3-х 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 їх

експлуатації за допомогою одного з таких методів: пластичної деформації; ультразвукового аналізу; ударного імпульсу; пружного відскоку тощо.

Існує багато методів проектування складу бетону, але кожен із них базується на принципі *абсолютних об'ємів*. Суть принципу полягає у припущенні, що сума об'ємів компонентів бетону в абсолютно ущільненому стані становить 1 м^3 , що записується, як таке рівняння:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} + \frac{В}{\rho_{в}} = 1 \text{ м}^3, \quad (3.1)$$

де Ц, П, Щ, В – витрати, відповідно, цементу, піску, щебню, води, кг на 1 м^3 бетонної суміші;

$\rho_{ц}, \rho_{п}, \rho_{щ}, \rho_{в}$ – істинна густина цих компонентів, $\text{кг}/\text{м}^3$.

3.1 Порядок розрахування складу бетону за методом абсолютних об'ємів

Розрахування складу важкого звичайного цементного бетону виконують на 1 м^3 бетонної суміші. Витрати компонентів визначають за масою, усі характеристики компонентів й вихідні дані беруть з проектної документації. Вихідні дані для проведення розрахунків наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані

Найменування показників, одиниця виміру	Показник	Значення
Клас бетону, МПа	С	
Легкоукладальність суміші, см	ОК	
Властивості в'язучого: – активність цементу; – істинна густина, $\text{кг}/\text{м}^3$; – насипна густина, $\text{кг}/\text{м}^3$	$R_{ц}$ $\rho_{ц}$ $\rho_{н.ц}$	
Властивості дрібного заповнювача: – модуль крупності піску; – істинна густина піску, $\text{кг}/\text{м}^3$; – насипна густина піску, $\text{кг}/\text{м}^3$; – вологість піску, %	M_k $\rho_{п}$ $\rho_{н.п}$ $W_{п}$	
Властивості крупного заповнювача: – крупність зерна, мм; – істинна густина, $\text{кг}/\text{м}^3$; – насипна густина, $\text{кг}/\text{м}^3$; – вологість, %	$\rho_{к}$ $\rho_{н.к}$ $W_{к}$	
Об'єм бетонозмішувача, м^3	$V_б$	

Витрату води (В) визначають орієнтовно, за графіком проф. Б. Г. Миронова (рис. 3.2), складеним за експериментальними даними.

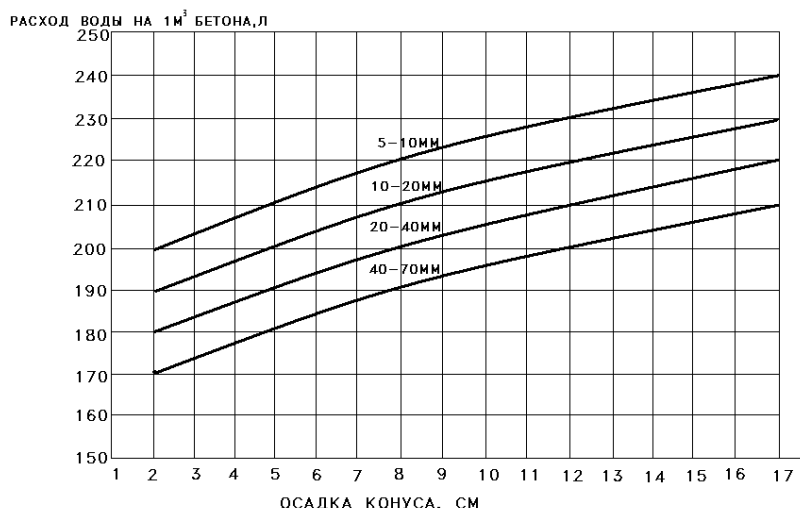


Рисунок 3.2 – Графік для визначення орієнтовної кількості води
(URL: <https://studfile.net/preview/3731924/page:3/>)

Витрату цементу знаходять за цементно-водним співвідношенням при вже відомій кількості води:

$$Ц = V_{од} (Ц/V_{од}), \quad (3.2)$$

де $V_{од}$ – витрати води, л;

$Ц/V_{од}$ – цементно-водне співвідношення, визначають за формулою міцності бетону Болемея – Скрамтаєва (3.3), (3.4):

$$R_{б^T} = R_{ц} \cdot A (Ц/V - 0,5) \quad \text{при } Ц/V < 2,5; \quad (3.3)$$

$$R_{б^T} = R_{ц} \cdot A_1 (Ц/V + 0,5) \quad \text{при } Ц/V > 2,5, \quad (3.4)$$

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 бетону (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – 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

$$Щ = \frac{1000}{\frac{V_{пуст} \cdot K_{раз}}{\rho_{н.щ.}} + \frac{1}{\rho_{ц}}}, \quad (3.5)$$

де $V_{пуст}$ – відносний об’єм порожнин (порожнистість) великого заповнювача;

$K_{разд}$ – коефіцієнт розсунення зерен щебню (визначається за табл. 3.3) залежно від витрати цементу й В/Ц;

ρ_o – насипна густина щебню, кг/м³;

ρ – істинна густина щебню, кг/м³.

Для вибору коефіцієнта $K_{разд}$ використовують дані таблиці 3.3. Залежно від кількості цементу потрібно обирати два найближчі значення коефіцієнта й потім взяти середнє арифметичне від їхньої суми.

Таблиця 3.3 – 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 за рівнянням методу абсолютних об’ємів:

$$\Pi = \left[1\,000 - \frac{Ц}{\rho_{ц}} - B - \frac{Щ}{\rho_{щ}} \right] \cdot \rho_{п}. \quad (3.6)$$

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

$$\rho_{об} = (Ц + \Pi + Щ + В), \text{ кг/м}^3. \quad (3.7)$$

Склад бетону можна подати й у відносних одиницях:

$$1:В/Ц:\Pi/Ц:Щ/Ц.$$

Оскільки розрахунки складу бетону проводили за емпіричними формулами, необхідно перевірити основні характеристики, а саме рухливість бетонної суміші і міцність бетону за допомогою пробного замісу.

3.2 Розрахування виробничого складу бетону

У зв’язку з тим що заповнювачі в реальних умовах зберігаються просто неба, вони мають вологість, яку потрібно враховувати під час визначення кількості води замішування за відповідними формулами:

$$B_{щ} = W_{щ} \cdot Щ / 100, \quad (3.8)$$

$$B_{п} = W_{п} \cdot \Pi / 100, \quad (3.9)$$

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

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

$$V_{вз} = B - (B_{щ} + B_{п}). \quad (3.10)$$

В реальних умовах заміс бетону проводять у бетонозмішувачі. Під час його заповнення вихідними матеріалами сума сипких об'ємів твердих компонентів бетонної суміші дорівнює об'єму барабана змішувача:

$$V_{бз} = V_{ц} + V_{п} + V_{щ}. \quad (3.11)$$

При перемішуванні 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:

$$\beta = \frac{1}{V_{ц} + V_{п} + V_{щ}} = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{онц}} + \frac{П}{\rho_{онп}} + \frac{Щ}{\rho_{онщ}}} = 0,55-0,75 \quad (3.12)$$

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

$$V_{б} = \beta \cdot V_{бз}. \quad (3.13)$$

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

$$Ц = \frac{\beta \cdot V_{бз}}{1000} \cdot Ц; \quad (3.14)$$

$$П = \frac{\beta \cdot V_{бз}}{1000} \cdot П; \quad (3.15)$$

$$Щ = \frac{\beta \cdot V_{бз}}{1000} \cdot Щ; \quad (3.16)$$

$$В = \frac{\beta \cdot V_{бз}}{1000} \cdot В, \quad (3.17)$$

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

теплоізоляційних; D 1 000–1 200 – для конструкційних). Основні властивості ніздрюватих бетонів наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні властивості ніздрюватих бетонів

Властивості	Марка за густиною					
	D 600	D 700	D 800	D 900	D 1 000	D1 100
Клас за міцністю на стиск, МПа	B 1,5	B 2,5	B 3,5	B 5	B 7,5	B 10
Поруватість, %	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

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 4.2.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані

Найменування показників, одиниця виміру	Позначення показника	Значення
Клас бетону за густиною, кг/м ³ ; клас бетону за міцністю	D C	
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	

Спочатку встановлюють співвідношення між кількістю в'язучої речовини й кварцового піску залежно від середньої густини ніздрюватого бетону за таблицею 4.3.

Далі розраховують витрату цементу, кг:

$$Ц = \frac{\rho_0}{K_1(a + b)}, \quad (4.1)$$

де ρ_0 – середня густина газобетону, кг/м^3 ;

K_1 – коефіцієнт, що враховує частину зв'язаної води в бетоні (приймають за табл. 4.3);

a, b – частини співвідношення в'язучого і кварцового піску (визначають за табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – 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 $a:b$	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
V/T	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	

Далі визначають витрату кварцового піску, кг :

$$P = C \cdot b, \quad (4.2)$$

де b – частина кварцового піску (за табл. 4.3).

Розраховують витрату води на 1 м^3 газобетону за формулою

$$B = \frac{\rho_0}{K_1} \cdot V/T, \quad (4.3)$$

де V/T назначають залежно від середньої густини газобетону за таблицею 4.3.

Витрату газоутворювача на 1 м^3 газобетону призначають залежно від середньої густини бетону й газоутворювальної здатності газоутворювача (H):

$$A = \frac{V_n}{K_2 \cdot H}, \quad (4.4)$$

де A – витрата газоутворювача, кг ;

K_2 – коефіцієнт використання робочої здатності газоутворювача (табл. 4.3);

H – газоутворювальна здатність газоутворювача (табл. 4.4);

V_n – об'єм пор газобетону, л .

Об'єм пор газобетону визначають за формулою

$$V_{\text{п}} = 1\,000 - \left[\frac{Ц}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{П}{\rho_{\text{п}}} + \frac{В}{\rho_{\text{в}}} \right], \quad (4.5)$$

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

Газоутворювальна здатність залежить від температури, що відображено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Газоутворювальна здатність газоутворювача

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

Для перевірки отриманих результатів виготовляють не менше трьох зразків-кубів з довжиною ребра 10 см. Газоутворювач з алюмінієвої пудри (водно-алюмінієва суспензія) підготовляють на підігрітій воді з додаванням невеликої кількості поверхнево-активної речовини (ССБ, клеєканіфольного мила тощо). Воду для замішування газобетону також потрібно підігріти до температури не менше 35–45 °С. Це необхідно для інтенсифікації дії газоутворювача та процесу тужавіння.

Також 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. 4.5).

Таблиця 4.5 – 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) через 3–4 год тверднення зрізають ножом. Щоб зберегти утворену порувату структуру газобетону, форми зі зразками пропарюють за температури $T = 90 \pm 5$ °С.

Після затвердіння одержаних зразків визначають властивості цементного газобетону. Усі властивості ніздрюватих бетонів залежать від вологості матеріалу, тому спочатку встановлюють вологість газобетону.

Вологість газобетону (за масою) визначають із похибкою до 0,1 % за формулою

$$W_m = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100 \%, \quad (4.6)$$

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

Потім визначають густину зразків. Виготовляють зразки-куби з довжиною ребра 10 см, витримують 28 діб при $T = 25 \pm 10$ °С і відносній вологості повітря 50 ± 20 %. Густину знаходять за формулою

$$\rho_o = \frac{m}{V} \cdot 1000, \quad (4.7)$$

де m – маса зразка, г;

V – об'єм зразка, см³.

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

$$R = \alpha \cdot K_w \cdot \frac{F}{A}, \quad (4.8)$$

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 × 7,07 см × 7,07 см;

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

F – руйнівне навантаження, кгс;

A – площа перерізу зразка, см²;

K_w – погоджувальний коефіцієнт для ніздрюватого бетону залежно від вологості зразка (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Коефіцієнт міцності ніздрюватого бетону K_w

Вологість ніздрюватого бетону за масою, %	Погоджувальний коефіцієнт, K_w
1	2
0	0,8
5	0,9

Продовження таблиці 4.6

1	2
10	1,0
15	1,05
20	1,10
25 і більше	1,15

Коли отримані дані випробувань підтверджують вихідні дані, розрахунок вважається коректним.

Практичне заняття 5 Проектування складу керамзитобетону

Легкі бетони на поруватих заповнювачах мінерального походження, таких як керамзит, аглопорит, шлакова пемза, туфи тощо, мають середню густину в межах 500–1 800 кг/м³. За густиною в сухому стані для легких бетонів встановлено 19 марок (з інтервалом 100 кг/м³): Д 200–Д 2 000. Існують також класи за міцністю (МПа) від С 2 до С 40.

Склад керамзитобетону визначають за розрахунково-експериментальним методом на 1м³ керамзитобетону.

Вихідні дані:

марка керамзитобетону за густиною (Д) кг/м³;

клас керамзитобетону за міцністю (С) МПа;

насипна густина керамзиту ($\rho_{н.к.}$) кг/м³;

насипна густина піску ($\rho_{н.п.}$) кг/м³;

граничний розмір гранул керамзиту (d) мм;

порожність керамзиту, %.

Залежно від класу керамзитобетону за міцністю (С) і граничної величини керамзитового гравію визначають витрати цементу на 1м³ за таблицею 5.1.

Таблиця 5.1 – Витрати цементу залежно від міцності керамзитобетону

Розмір гранул керамзиту	Витрати цементу (кг) залежно від класу керамзитобетону за міцністю (МПа)		
	7,5	10	15
10	–	200–240	250–280
20	200–220	235–260	275–310
40	220–235	240–290	300–340

Виходячи із заданої марки керамзитобетону за густиною визначають загальні витрати за масою крупного і дрібного заповнювачів на 1 м^3

$$\Pi + K = \rho_0 - 1,15 \text{ Ц}, \quad (5.1)$$

де Π – маса піску;

K – маса керамзиту;

Ц – маса цементу;

ρ_0 – середня густина керамзитобетону;

1,15 – коефіцієнт, який враховує частку хімічно зв'язаної води.

Для конструкційних та конструкційно-теплоізоляційних бетонів вміст піску в суміші заповнювачів (r) складає 0,45–0,55 на 1 м^3 керамзитобетону при витратах цементу 175–400 кг. Таким чином, враховуючи r і порожнистість керамзиту, встановлюємо густину бетонної суміші:

$$\rho_{\text{б.с.}} = \frac{0,9[r \cdot \rho_n + (1-r) \cdot \rho_k]}{1 - V_{\text{пуст}}(1-r)}, \quad (5.2)$$

де ρ_n – насипна густина піску, кг/м^3 ;

ρ_k – насипна густина керамзиту, кг/м^3 ;

$\rho_{\text{б.с.}}$ – густина бетонної суміші, кг/м^3 ;

r – вміст піску у суміші заповнювачів, кг ;

$V_{\text{пуст}}$ – пустотність керамзиту.

Знаходимо витрати суміші піску та керамзитового гравію за об'ємом:

$$V_{\Pi} + V_K = \frac{G_{\Pi+K}}{\rho_{\text{б.с.}}}, \quad (5.3)$$

де $G_{\Pi+K}$ – маса суміші піску та гравію, кг ;

$V_{\Pi} + V_K$ – об'єм суміші піску та гравію, м^3 .

Визначаємо витрати керамзитового гравію та піску за масою:

$$\Pi = (V_{\Pi} + V_K) \cdot r \cdot \rho_{\Pi}; \quad (5.4)$$

$$K = G_{\Pi+K} - \Pi. \quad (5.5)$$

Орієнтовні витрати води знаходимо за таблицею 5.2.

Таблиця 5.2 – Витрати води залежно від характеристик керамзитобетону

Характеристики керамзитобетонної суміші		Витрати води (л) на 1 м ³ керамзитобетону при заданій густині керамзитового гравію (кг/м ³)			
		500	800	500	800
Рухливість, см	Жорсткість, с	на кварцовому піску		на керамзитовому піску	
–	60–80	175–180	155–170	240–215	190–205
–	30–50	185–200	175–190	240–215	230–250
–	15–25	195–210	185–200	265–290	255–280
3–5	–	205–220	195–210	290–315	270–305
6–8	–	215–230	205–220	315–340	305–330
9–12	–	225–240	215–230	350–375	330–355

Після завершення розрахунків треба зробити пробний заміс за схемою, вказаною в практичному занятті щодо розрахунку важкого бетону.

Практичне заняття 6 **Проектування складу арболіту (деревобетону)**

Арболіт – різновид легких бетонів, виготовлений із суміші мінерального в'язучого (портландцементу), органічних целюлозних заповнювачів (відходи деревообробки тощо), хімічних добавок і води.



Рисунок 6.1 – Арболіт

([URL:https://atmwood.com.ua/2018/07/26/fibrolitovye-plity-proizvodstvo-i-primeneniye/](https://atmwood.com.ua/2018/07/26/fibrolitovye-plity-proizvodstvo-i-primeneniye/))

Під час проектування складу арболіту основними вимогами є одержання заданих властивостей (класу за міцністю та середньої густини) при мінімально можливих витратах цементу.

Середня густина арболіту залежить від класу арболіту, виду заповнювача, обирають за таблицею 6.1.

Таблиця 6.1 – Характеристики арболіту

Вид арболіту	Клас за міцністю	Середня густина, кг/м ³	
		подрібнена деревина	костриця, льон
Теплоізоляційний	С 0,35/1	400–500	400–500
	С 1/1,5	500	500
Конструкційний	С 1,5/3,5	500–600	550–650
	С 3,5/5	700–850	–

Послідовність виконання розрахунків.

При проектуванні складу встановлюють або задають характеристики вихідних матеріалів для виготовлення арболіту:

- активність цементу $R_{ц}$, кг/см²;
- середня густина цементу $\rho_{оц}$, кг/м³;
- істинна густина цементу $\rho_{ц}$, кг/м³;
- насипна густина заповнювача $\rho_{нз}$, кг/м³;
- вид добавки.

Далі за таблицею 6.2 призначають витрати матеріалів для заданого класу арболіту за міцністю.

Таблиця 6.2 – Орієнтовні витрати компонентів, кг на 1 м³ арболіту

Вид компоненту	Клас арболіту					
	5	10	15	25	35	50
Цемент, кг	240/290	250/310	280/330	330/380	360/390	390/420
Подрібнена деревина (суха), кг	140/180	160/280	180/200	220/240	240/250	250/280
Хлористий кальцій, кг	6	6–7	7	8	8	9
Вода, л	260/310	380/330	300/360	380/430	400/460	420/480

Примітка 1. У числівнику – витрати компонентів для деревини хвойних порід, у знаменнику – для змішаних порід.
Примітка 2. Замість хлористого кальцію можна використовувати інші добавки.

За одержаними даними розрахунків готують пробний заміс з арболітобетонної суміші, потім провадять уточнення густини в ущільненому стані. Потім розраховують фактичні витрати матеріалів на 1 м³ ущільненої суміші.

Суму витрат усіх матеріалів для дослідного замісу визначають так:

$$\Sigma P = Ц + З + В + ХД. \quad (6.1)$$

Для приготування арболіту ΣP (кг) витрачено цементу C_1 (кг). Для приготування 1 м^3 арболіту треба витратити стільки цементу:

$$C / \Sigma P = C \cdot \rho_{\text{арб}}, \quad (6.2)$$

$$C = \frac{\rho_{\text{арб}} \cdot C_1}{\Sigma P}, \text{ кг.} \quad (6.3)$$

Аналогічно розраховують витрати органічного заповнювача, води й хімічної добавки на 1 м^3 бетонної суміші:

$$З = \frac{\rho_{\text{арб}} \cdot Z_1}{\Sigma P}, \text{ кг;} \quad (6.4)$$

$$В = \frac{\rho_{\text{арб}} \cdot B_1}{\Sigma P}, \text{ кг;} \quad (6.5)$$

$$ХД = \frac{\rho_{\text{арб}} \cdot ХД_1}{\Sigma P}, \text{ кг.} \quad (6.6)$$

Фактичні витрати компонентів на 1 м^3 бетону треба занести до графі фактичних витрат компонентів арболітобетону.

Практичне заняття 7

Неруйнуючі методи контролю бетонів

Механічні способи випробувань композиційних будівельних матеріалів дозволяють контролювати однорідність та процес тверднення бетону в поверхневому шарі. Існує декілька способів випробувань, наприклад, метод відбитку, метод відскоку, метод відриву тощо.

Позитивні якості:

- легке та швидке визначення міцності виробів;
- недороге та доступне інструментальне оснащення;
- легке та швидке набуття навичок обслуговуючим персоналом.

Недоліки методу:

- використання неконтрольованої сили удару;
- визначення міцності виробів тільки з їх поверхні.

Для використання методів ударних випробувань (відскоку та відбитку) треба додержуватися однакових умов (рис. 7.1).

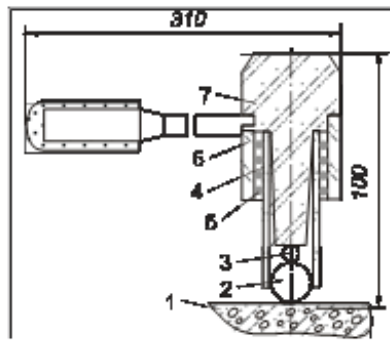


Рисунок 7.1 – Схема еталонного молотка Шмідта:

- 1 – бетон, що випробується, 2 – кулька; 3 – еталонний стрижень;
 4 – стакан; 5 – пружина; 6 – корпус; 7 – головка
 (URL: <https://studfile.net/preview/5532545/page:19/>)

По-перше, на поверхні бетону треба вибрати такі ділянки, на яких можливі підвищені напруження або зовнішній вигляд поверхні дає підставу для наявності різних дефектів структури. Не можна проводити випробування в тих зонах поверхні, де вже є руйнування або явні дефекти. Бетонні поверхні мають бути сухими. Треба також позбутися різних забруднень або нерівностей поверхні шляхом обробки шліфувальним диском. Площа кожної ділянки для випробувань повинна дорівнювати не менше ніж $40\,000\text{ мм}^2$ ($200\text{ мм} \times 200\text{ мм}$) і включати до 10–12 точок вимірювання. Сусідні точки повинні розташовуватися одна від одної на відстані мінімум 20 мм і приблизно за 40 мм від краю зразка або конструкції.

Одержані значення оцінюють за середніми величинами.

Метод відбитку. Для таких випробувань використовують еталонний молоток Шмідта. Прилад має два ступені енергії, тому межі його використання досить значні. Передня частина приладу має напівкруглу форму і насаджена на ударник. Вона проникає в бетон і залишає на його поверхні відбиток. Глибина відбитку є характеристикою твердості цементного каменю, тобто його пластичних властивостей. Пружинний молоток при випробуваннях виставляють перпендикулярно до бетонної поверхні і стискають із постійним зусиллям до його фіксування. Результатом випробувань є діаметр відбитку на поверхні бетону, який залишає кулька приладу. Щоб точніше визначити діаметр відбитку використовують вимірювальну лупу. Діаметр вимірюють у двох взаємно перпендикулярних напрямках з похибкою $\pm 0,1\text{ мм}$, діаметр кульки повинен дорівнювати приблизно 3,5–6,5 мм.

Зразки з бетону, які готують для випробувань, повинні за складом відповідати тому бетону, який є в конструкціях. При цьому треба додержуватися таких умов:

- кількість цементу в бетоні на 1 м³ має становити 250–400 кг;
- вік бетону до моменту випробувань має становити 25–90 діб;
- – крупність заповнювача в бетоні повинна становити не більше 32 мм.

Для визначення міцності при стиску бетону в конструкціях необхідно провести калібрування. Мінімальна кількість кубиків із довжиною ребра 100 мм повинна становити 20 штук. Коли проведення калібрувальних випробувань неможливе, то оцінку міцності при стиску проводять за табличними даними (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Відповідність діаметра відбитку приладу міцності при стиску

Міцність бетону при стиску (забезпеченість 5 %), МПа	Діаметр відбитку, мм	Міцність бетону при стиску (забезпеченість 5 %), МПа	Діаметр відбитку, мм
7,5	6,30	25	5,00
10,0	6,05	35	4,70
15,0	5,55	45	4,45
20,0	5,25	55	4,25

Досвід використання цього методу доводить, що гарантоване значення міцності при стиску можна одержати тільки за нижньою межею міцності бетону цієї марки.

Метод визначення міцності шляхом відривання базується на визначенні міцності важкого бетону за величиною умовного напруження, яке необхідне для його руйнування під час відривання сталевого диска, приклеєного до його поверхні.

Цей метод зазвичай застосовують для визначення міцності бетону в межах 50–500 кгс/см².

Випробування проводять за допомогою приладу типу ГПНВ-5 (рис. 7.2), обладнаного сталевими дисками діаметром 60–80 мм.

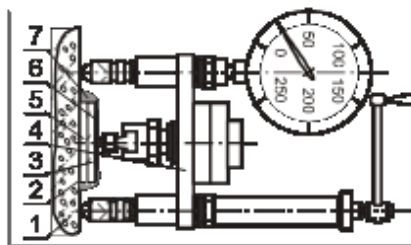


Рисунок 7.2 – Схема випробування бетону приладом типу ГПНВ-5:

1 – конструкція, що випробується; 2 – бетон, що відривається; 3 – сталевий диск; 4 – прилад типу ГПНВ; 5 – клей; 6 – паперове кільце; 7 – гіпсовий розчин

([URL:https://fizmat.7mile.net/lpr-bud-mat/16-neruynuyuchi-metodi-viprobuvan.htm](https://fizmat.7mile.net/lpr-bud-mat/16-neruynuyuchi-metodi-viprobuvan.htm))

Товщина бетонного виробу, який випробується, має бути не менше 50 мм.

Кількість випробувань на кожній ділянці – одне.

Сталеві диски приклеюють до чистої поверхні (з якої заздалегідь видаляють цементну плівку та пил) клеєм, який забезпечує зчеплення з конструкцією та перевищує її когезійну міцність.

Під час випробування прилад типу ГПНВ-5 з'єднують із приклеєним сталевим диском, який з'єднується елементом так, щоб дія навантаження була спрямована чітко перпендикулярно до поверхні виробу.

Швидкість збільшення навантаження не повинна перевищувати 100 кгс/с. Зусилля відриву фіксується за допомогою манометра. Границю міцності під час відривання знаходять за формулою

$$R_{\text{ВІДР}} = \frac{P_{\text{ВІДР}}}{F} \quad (7.1)$$

де $R_{\text{ВІДР}}$ – зусилля, при якому відбулося відривання частини виробу, приклеєного до диска, кгс;

F – площа проєкції поверхні відривання бетону на площину диска, см².

Границю міцності під час стиснення визначають на відповідних зразках при випробуванні на гідравлічному пресі.

Результати випробувань при площі проєкції відривання менше ніж 80 % площі диска не враховують.

Міцність бетону (виробу) на стиснення визначають за величиною міцності під час відривання за градуовальною залежністю «величина міцності під час відривання – міцність».

Акустичний метод визначення міцності.

Електронно-акустичний метод базується на використанні зв'язку між міцністю та пружно-пластичними властивостями матеріалу, з одного боку, та його акустичними характеристиками – з іншого.

На практиці здебільшого використовують акустичні методи контролю якості, зокрема міцності бетону, які поділяють на імпульсний та резонансний.

Цей метод базується на визначенні швидкості поширення пружних хвиль у матеріалі, що випробується, та характеристиці їх поглинання за допомогою ультразвукового приладу. Схема цього методу наведена на рисунку 7.3.

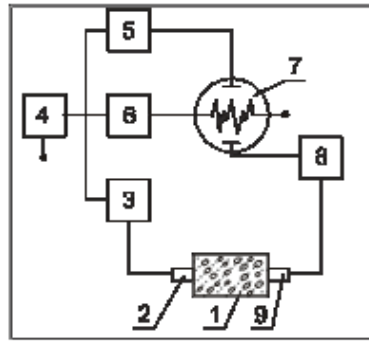


Рисунок 7.3 – Принципова схема імпульсного методу визначення якості бетону:

1 – зразок бетону, що випробується; 2 – випромінювач; 3 – генератор імпульсів; 4 – задавальний генератор; 5 – очікувальна розгортка; 6 – генератор позначок часу; 7 – електронно-променева трубка, або показчик часу; 8 – підсилювач; 9 – приймач

(URL:<https://studfile.net/preview/7213852/page:22/>)

Принцип дії методу полягає в такому. Збуджувані високочастотним генератором (3) ультразвукові імпульси потрапляють на випромінювач (2), у якому вони перетворюються на механічні коливання. Коливання проходять через зразок бетону (1) та потрапляють на приймач (9), де вони перетворюються на електричні імпульси, які, посилюючись у підсилювачі, потрапляють на електронну трубку, або цифровий індикатор (7). Генератор позначок часу допомагає точно визначити в мікросекундах час проходження ультразвуку через зразок будівельного матеріалу або виробу.

Маючи відтарований графік та знаючи середню швидкість проходження ультразвуку в бетоні, визначають його міцність.



Рисунок 7.4 – Склерометр електронний (URL: <https://flagma.ua/uk/products/kiiev/q=%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80/>)

Електронні склерометри ОНІКС-2.5 призначені для оперативного контролю міцності, однорідності та визначення класу важкого, легкого і високомарочного бетону методом ударного імпульсу (ГОСТ 22690) при технологічних випробуваннях та обстеженні об'єктів будівництва.

Цей спосіб суттєво підвищує вірогідність результатів за рахунок цифрової обробки сигналів і низького рівня перешкод. Такий прилад має широкий динамічний діапазон і просторову та температурну компенсацію похибок результатів.

Під час одержання результатів спостерігається висока швидкість та точність нанесення ударів при тому, що результат мало залежить від напрямку удару (зверху чи знизу). Також важливо, що у результаті враховується вік, склад, умови тверднення і навіть карбонізація бетону.

Результати, одиничні або серійні, архівуються з урахуванням коефіцієнта варіації, виду бетону та виробу, часу і дати випробування.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Під час організації самостійної роботи здобувачі повинні брати за основу лекційний курс із дисципліни. Кількість годин аудиторних занять обмежені, тому потрібно використовувати додатковий теоретичний матеріал із окремих тем. Для цього необхідно застосовувати різні джерела інформації, у тому числі й електронні.

Для кращого засвоєння навчального матеріалу треба ознайомитися з наведеними нижче запитаннями і спробувати відповісти на них. Ці запитання охоплюють основні теоретичні теми дисципліни, дозволяють студентам самостійно знаходити відповіді й спрямовують їх на розвиток творчого мислення:

1. Надати оцінку клінкерним мінералам цементу. Яка їх роль в утворенні цементного каменю?
2. Проаналізувати вплив властивостей бетонів на їх довговічність.
3. Обґрунтувати вимоги до заповнювачів для виготовлення бетону.
4. Надати оцінку морозостійкості. Як визначити марку бетонів за морозостійкістю?
5. Проаналізувати основний закон міцності бетонів.
6. Навести класифікацію бетонів за їх густиною.
7. Надати характеристику легких бетонів та навести приклади їх використання в будівництві.
8. Проаналізувати основні властивості бетонів.
9. Надати порівняльну оцінку піно- й газобетону. У чому їх переваги та недоліки?
10. Надати оцінку твердості будівельних матеріалів. Як застосовується цей показник?
11. Дати класифікацію бетонів за призначенням.
12. Навести причини усадочних явищ у бетоні.
13. Як впливають процеси гідратації цементу на усадку бетонів?
14. Навести види неруйнівних методів контролю міцності бетонних виробів та конструкцій.

15. Проаналізувати, як діють температурні впливи на роботу бетонних конструкцій.
16. Навести гіпотези морозного руйнування цементних бетонів.
17. За якими критеріями аналізують придатність води для бетону?
18. Як застосовують вторинний бетон у сучасному будівництві?
19. Проаналізувати вимоги до складових бетону, який призначений для експлуатації в кислому середовищі.
20. Проаналізувати роботу цементного бетону під впливом циклічного насичення водою та висихання.
21. Обґрунтувати вплив активних мінеральних добавок у складі цементного бетону.
22. Обґрунтувати характеристики, які треба враховувати при проектуванні довговічних матеріалів.
23. Навести приклади вторинного захисту бетонних конструкцій.
24. Проаналізувати способи підвищення щільності структури бетонів для підвищення їх корозійної стійкості.
25. Проаналізувати дію пластифікуючих добавок до бетону.
26. Навести способи підвищення морозостійкості бетонів.
27. Обґрунтувати технологічні прийоми підвищення міцності бетонів.
28. За якими показниками відбувається вибір в'язучої речовини до складу бетону?
29. Як мінеральний склад цементу впливає на властивості бетонів?
30. Навести приклади сучасних бетонів, одержаних за новітніми технологіями.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНИХ БЕТОНІВ»

(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)

Укладач **КОНДРАЩЕНКО** Олена Володимирівна

Відповідальний за випуск *С. В. Шаповал*
Редактор *О. А. Норик*
Комп'ютерне верстання *О. В. Кондращенко*

План 2025, поз. 494М

Підп. до друку 03.04.2025. Формат 60 × 84 /16.
Ум. друк. арк. 2,2.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Черноглазівська (Маршала Бекетова), 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.