

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Архітектурне проектування,
землеустрій та будівельні матеріали»

В авторській редакції

**БУДІВЕЛЬНЕ
МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**ПІДБІР ТА ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ВАЖКОГО БЕТОНУ
ЗАДАНОГО КЛАСУ
ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОННОЇ
СУМІШІ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ-КУБІВ ДЛЯ
ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ БЕТОНУ
РУЙНУЮЧІ Й НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ МІЦНОСТІ
ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ МАРКИ ТА СКЛАДУ ВАЖКОГО БЕТОНУ**

Навчально-методичні рекомендації
до лабораторних робіт

ДНІПРО
2024

УДК 666.972.7-027.45(076.5)

Б 90

Упорядники:

О. В. Громова, А. М. Зінкевич, Т. І. Афанасьєва

Електронний аналог
друкованого видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми
192 «Будівництво та цивільна інженерія», 273 «Залізничний транспорт»,
183 «Технологія захисту навколишнього середовища»
Протокол № 8 від 27.06.24 р.

Б 90 Будівельне матеріалознавство. Підбір та визначення складу важкого бетону заданого класу. Визначення технологічних властивостей бетонної суміші та виготовлення зразків-кубів для визначення класу бетону. Руйнуючі й неруйнівні методи контролю міцності для встановлення марки та складу важкого бетону : навчально-методичні рекомендації до лабораторних робіт / упоряд. О. В. Громова, А. М. Зінкевич, Т. І. Афанасьєва ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро : УДУНТ, 2024. – 33 с.

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання студентами 2 курсу денної форми навчання, освітній ступень – бакалавр, спеціальностей: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»; 273 «Залізничний транспорт»; 183 «Технологія захисту навколишнього середовища» під час виконання лабораторних робіт з освітніх програм «Промислове та цивільне будівництво», «Архітектурне проектування будівель і споруд», «Водопостачання та водовідведення», «Мости і транспортні тунелі», «Захист довкілля та техногенна безпека», «Залізничні споруди та колійне господарство», «Автомобільні дороги та аеродроми».

Навчально-методичні рекомендації містять основні теоретичні положення для засвоєння матеріалу, методичку проведення випробувань та обробки отриманих даних, контрольні питання з дисциплін «Будівельне матеріалознавство».

Іл. 36. Табл. 12. Бібліогр.: 10 назв.

Зміст

Витяг з інструкції № 116	4
1. Загальні положення.....	4
2. Вимоги безпеки перед початком роботи	4
3. Вимоги безпеки під час роботи	4
4. Вимоги безпеки по закінченню роботи	5
5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	5
Загальні відомості	5
Лабораторна робота № 1	6
Розрахунково-експериментальний метод визначення складу важкого бетону....	6
1.1. Загальні вимоги	6
1.2. Основні положення розрахунку	7
1.3. Приклад розрахунку складу важкого бетону	7
1.3.1. Визначення номінального складу бетону.....	8
1.3.2. Визначення виробничого складу бетону	10
1.3.3. Розрахунок витрати матеріалів на об'єм бетонозмішувача	10
Лабораторна робота № 2	11
Властивості бетонної суміші	11
2.1. Приготування пробного замісу та коригування складу бетонної суміші	11
2.2. Визначення легкоукладальності бетонної суміші	12
2.3. Визначення густини бетонної суміші	15
2.4. Коригування складу бетонної суміші	16
2.5. Виготовлення дослідних (контрольних) зразків.....	17
Лабораторна робота № 3	17
Визначення міцності бетону неруйнівними методами	18
Загальні відомості.....	18
3.1. Механічні методи неруйнівного контролю міцності бетону.....	20
3.2. Ультразвуковий метод визначення міцності бетону.....	25
Лабораторна робота № 4	28
Визначення міцності та класу бетону за контрольними зразками (руйнівний метод контролю міцності).....	28
Контрольні питання	30
Рекомендована література.....	32

ВИТЯГИ З ІНСТРУКЦІЇ № 116

1. Загальні вимоги

«Інструкція з охорони праці при проведенні лабораторних робіт в лабораторії будівельних матеріалів» № 116 (ауд. 348 та лабораторія, нульовий поверх) забезпечує безпечні умови праці при проведенні лабораторних робіт і є обов'язковою для усіх викладачів кафедри «Архітектурне проектування, землеустрій та будівельні матеріали» надалі АПЗБМ.

Викладачі кафедри АПЗБМ при виконанні лабораторних робіт, пов'язаних з обслуговуванням та експлуатацією електричних приладів, повинні мати кваліфікаційні групи з електробезпеки (2 група) та пройти інструктаж з охорони праці та інструктаж з пожежної безпеки на робочому місці (2 рази на рік).

За невиконання даної інструкції викладач або студент несе дисциплінарну, матеріальну, адміністративну та кримінальну відповідальність.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

Викладачі кафедри «АПЗБМ» повинні:

- бездоганно знати вимоги даної Інструкції;
- проводити інструктаж з охорони праці із студентами на початку семестру (на першому занятті з лабораторних робіт) із записом у контрольному листі інструктажу з охорони праці для студентів;
- вміти організувати безпечне проведення лабораторних робіт;
- не допускати до роботи студентів, що з'явилися на заняття в нетверезому вигляді.

3. Вимоги безпеки під час виконання роботи

Студенти під час виконання лабораторної роботи повинні:

- виконувати тільки ті роботи, що доручені викладачем;
- бережно відноситись до лабораторного посуду, приладів, інструментів, обладнання та меблів лабораторії;
- проявляти обережність при роботі зі скляними приладами, хімічним посудом та випробувальними будівельними матеріалами;
- одягати при необхідності халати та гумові рукавички;
- слідкувати за порядком на робочому місці.

Студентам категорично забороняється:

- заносити до лабораторії їжу та напої;
- працювати на приладах без дозволу та відсутності викладача;
- самовільно вмикати електроприлади, рубильники, кнопки, вимикачі, що знаходяться в лабораторії;
- підключати до електромережі підзарядки для мобільних телефонів;
- торкатися частин лабораторного обладнання, яке знаходиться під електричним струмом в момент роботи;

- використовувати хімічний посуд з тріщинами або надбитий скляний посуд;
- уламки розбитого скляного посуду збирати руками.

Викладачам категорично забороняється

- залишати без догляду увімкнені прилади та установки;
- будь-яке ремонтування та перенос електроприладів під час їхньої роботи.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

Викладачі після закінчення роботи повинні:

- відключити електроприлади від електромережі;
- проконтролювати наявність відповідних приладів на робочому місці.

Студенти після закінчення роботи повинні:

- вимити прилади та посуд і укласти їх на місце;
- привести в порядок своє робоче місце;
- вимити руки миючими засобами;
- не залишати свої речі в лабораторії, за які викладач після закінчення заняття не несе відповідальності.

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Ознакою аварійної ситуації може бути займання електропроводки або електроприладів, поява підвищеного шуму, диму або вогню, оголошення повітряної тривоги. В цьому випадку треба негайно вимкнути рубильник, прийняти заходи для гасіння пожежі (вогнегасник, пісок). В разі потреби надати першу допомогу постраждалому, а при необхідності викликати «швидку допомогу» за тел. **103**. У випадку повітряної тривоги студенти припиняють роботу, вимикають обладнання і переходять з викладачем до укриття.

Про кожну аварійну ситуацію або нещасний випадок викладач повинен повідомити завідувачу лабораторією або завідувача кафедри.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Бетон (фр. *béton*, від лат. *Bitumen* – «гірська смола») – штучний каменеподібний матеріал, результат раціонально підібраної суміші в'язучого, заповнювачів, води і, при потребі, спеціальних добавок. До затвердіння цю суміш називають бетонною. Один з основних будівельних матеріалів, що застосовується для виготовлення збірних залізобетонних та бетонних конструкцій і бетонних виробів, а також для будівництва монолітних бетонних і залізобетонних споруд.

За основним призначенням бетони поділяють на конструкційні та спеціальні (гідротехнічні, дорожні, корозійностійкі, жаростійкі та вогнетривкі, декоративні, радіаційно-захисні тощо).

За середньою густиною у сухому стані бетони поділяють на: – особливо важкі (понад 2500 кг/м³), – важкі (2200...2500 кг/м³), – полегшені (2000...2200 кг/м³), – легкі (500...2000 кг/м³), – особливо легкі (менше 500 кг/м³).

За видом в'язучої речовини, що використовується, бетони поділяють на портландцементні, вапняні, гіпсові, лужні, асфальтові, полімерні тощо.

За розмірами крупного заповнювача (вибір якого обумовлений конструктивними особливостями бетонних виробів) розрізняють бетони:

- крупнозернисті (що містять заповнювач від 10 до 150 мм);
- дрібнозернисті (найбільша крупність заповнювача не перевищує 10 мм);
- піщані (що розглядаються як різновид дрібнозернистих і містять пісок крупністю до 5 мм).

За структурою бетони поділяють на: щільні, поризовані, ніздрюваті, крупнопористі.

Сфери застосування бетону в сучасному будівництві постійно розширюються. Широкі перспективи використання високоміцних бетонів (важких і легких), а також бетонів із заданими фізико-технічними властивостями: малою усадкою (деформативністю), підвищеною морозостійкістю, довговічністю, тріщиностійкістю, зниженою теплопровідністю, жаростійкістю і захисними властивостями до радіоактивних випромінювань.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Розрахунково-експериментальний метод визначення складу важкого бетону

Мета роботи: Ознайомитись з методикою визначення складу важкого бетону.

1.1. Загальні вимоги

Задача розрахунково-експериментального методу визначення складу важкого бетону полягає в одержанні бетону необхідної міцності, морозостійкості та довговічності, а бетонної суміші – заданої легкоукладальності при найбільш раціональному співвідношенні компонентів. При цьому, витрата цементу повинна бути мінімальною, а отриманий бетон – мати максимальну середню густину.

Склад бетону із заданими характеристиками (з урахуванням вимог, які витікають із умов і строків експлуатації) визначають за наступною схемою.

1. Вибір вихідних параметрів (пластичність чи жорсткість бетонної суміші, вид і марка цементу, вид і крупність заповнювачів).

2. Уточнення характеристик матеріалів, що використовуються – цементу та заповнювачів (піску, щебеню або гравію):

- для цементу визначають активність, істинну щільність, насипну щільність;

- для піску визначають істинну щільність, насипну щільність, гранулометричний склад, модуль крупності та вологість;

- для щебеню (або гравію) визначають щільність зерен, насипну щільність, пустотність, зерновий склад, найбільшу крупність зерен та вологість.

Крупність заповнювача визначається за наступними вимогами: найбільший розмір зерен крупного заповнювача не повинен перевищувати 1/3 найменшого розміру конструкції і 3/4 найменшої відстані у прозорі між стержнями арматури.

3. Виконується розрахунок витрат матеріалів на 1 м³ бетону.

4. Приготування пробних лабораторних замісів з коректуванням їх складу (при необхідності) для отримання бетонної суміші заданої пластичності чи жорсткості.

5. Формування зразків для визначення границі міцності у задані строки та класу бетону.

6. Уточнення витрат матеріалів на 1 м³ бетону з урахуванням фактичних даних, отриманих при приготуванні лабораторних замісів. Отриманий склад бетону називають **номінальним**.

7. Визначення витрат матеріалів у стандартному (сухому) стані на заміс бетонозмішувача.

8. Визначення витрат матеріалів на заміс бетонозмішувача з урахуванням вологості заповнювачів.

9. Випробування зразків на міцність та обробка отриманих результатів. Визначення класу бетону.

1.2. Основні положення розрахунку

1. Розрахунок складу бетону необхідної міцності побудований на основі рівняння міцності бетону Болемея-Скрамтаєва, яке пов'язує міцність бетону (f_{ct}), з якістю складових, активністю в'язучої речовини (R_u) та якістю заповнювачів (A), та величиною водоцементного відношення – пористістю:

$$f_{ct\,sub} = A \cdot R_u (C / B \pm 0,5).$$

2. Для підбору складу бетону використовується метод «абсолютних об'ємів», в основу якого покладена умова, що об'єм бетону складається з чотирьох щільно укладених компонентів: цементу, води, дрібного і крупного заповнювача. При цьому використовується принцип послідовного заповнення пустот: 1 м³ об'єму заповнюється крупним заповнювачем, пустоти якого повинен заповнити дрібний заповнювач і скріплюється всі складові цементним тістом.

3. Розрахунок складу бетону проводиться на 1 м³ за методом абсолютних об'ємів у відповідності до правил підбору складу бетону встановлених ДСТУ Б В.2.7-215:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу бетону.

1.3. Приклад розрахунку складу важкого бетону

Вихідні дані для розрахунку:

1	Клас бетону	C 25/30
2	Легкоукладальність бетонної суміші	OK = 2 см
3	Портландцемент марки:	M 400
-	активність	$R_u = 420 \text{ кгс/см}^2$

-	нормальна густина цементного тіста	НГ = 25%
-	істинна густина	$\rho_{\text{ц}} = 3100 \text{ кг/м}^3$
-	насипна густина	$\rho_{\text{нц}} = 1300 \text{ кг/м}^3$
-	мінімальна витрата цементу	$\text{Ц}_{\text{min}} = 220 \text{ кг}$
-	добавки	без добавок
4	Якість заповнювачів	середня
5	Пісок кварцовий з модулем крупності:	$M_{\text{кр}} = 2,2$
-	середня густина	$\rho_{\text{п}} = 2610 \text{ кг/м}^3$
-	насипна густина	$\rho_{\text{нп}} = 1550 \text{ кг/м}^3$
-	вологість	$W_{\text{п}} = 3 \%$
6	Крупний заповнювач:	щебінь
-	найбільша крупність зерна	$D_{\text{нб}} = 40 \text{ мм}$
-	середня густина	$\rho_{\text{щ}} = 2600 \text{ кг/м}^3$
-	насипна густина	$\rho_{\text{нщ}} = 1400 \text{ кг/м}^3$
-	вологість	$W_{\text{щ}} = 1 \%$
7	Об'єм бетонозмішувача	$V = 0,2 \text{ м}^3$

1.3.1. Визначення номінального складу бетону

1. Визначаємо проектну середню міцність бетону на стиск:

$$C = f_{\text{ст}} \cdot (1 - u \cdot C_v);$$

$$f_{\text{ст}} = \frac{C}{0,778} = \frac{300}{0,778} = 386 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2};$$

де C – клас бетону, кгс/см^2 ;

u – інженерна достовірність;

C_v – коефіцієнт варіації міцності бетону, приймається для виробництва 13,5 %.

2. Визначаємо водоцементне відношення, яке забезпечує отримання бетону заданої міцності при використанні цементу певної активності:

$$\text{при } f_{\text{ст}} \leq 1,2 \cdot R_{\text{ц}}, \quad \frac{B}{\text{Ц}} = \frac{A \cdot R_{\text{ц}}}{f_{\text{ст}} + 0,5 \cdot A \cdot R_{\text{ц}}};$$

$$f_{\text{ст}} > 1,2 \cdot R_{\text{ц}}, \quad \frac{B}{\text{Ц}} = \frac{A_1 \cdot R_{\text{ц}}}{f_{\text{ст}} - 0,5 \cdot A_1 \cdot R_{\text{ц}}};$$

де $f_{\text{ст}}$ – проектна середня міцність бетону;

$R_{\text{ц}}$ – активність цементу, яка визначається згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009;

A, A_1 – коефіцієнти, що залежать від якості заповнювача (див. табл. 1.1).

Так як $f_{\text{ст}} = 386 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < 1,2 \cdot 420$, приймаємо розрахунок В/Ц за формулою:

Таблиця 1.1

Коефіцієнти для врахування якості заповнювачів

Якість заповнювача	A	A ₁
Висока	0,65	0,43
Середня	0,60	0,40
Низька	0,55	0,37

$$\frac{B}{\text{Ц}} = \frac{A \cdot R_{\text{ц}}}{f_{\text{ст}} + 0,5 \cdot A \cdot R_{\text{ц}}} = \frac{0,6 \cdot 420}{386 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 420} = 0,49.$$

3. Визначаємо витрату води:

$$V = V_T + V_{\Pi} + V_{\text{ц}} + V_{\text{д}} = 175 + 0 - 5 + 0 = 170 \text{ л};$$

де: V_T – витрата води, яка залежить від крупності заповнювача і необхідної легкоукладальності бетонної суміші, визначається за (див. табл. 1.2);

V_{Π} – витрата води, яка корегується в залежності від модуля крупності піску (див. примітку до табл. 1.2);

$V_{\text{ц}}$ – витрата води, яка корегується в залежності від нормальної густоти цементного тіста (див. примітку до табл. 1.2);

$V_{\text{д}}$ – витрата води, яка корегується в залежності від виду хімічних добавок, які вводяться до складу бетонної суміші (див. примітку до табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Орієнтовна витрата води в залежності від виду заповнювача та характеру бетонної суміші

Показник легкоукладальності бетонної суміші		Витрата води, л/м ³ бетонної суміші, при найбільшій крупності зерен заповнювача, мм							
		гравію				щебеню			
ОК, см	Ж, с	10	20	40	70	10	20	40	70
17-20	-	227	218	203	192	237	228	213	202
13-16	-	220	210	197	185	230	220	207	195
11-12	-	215	205	190	180	225	215	200	190
8-10	-	205	190	175	170	215	205	190	185
5-7	-	200	185	170	165	210	200	185	180
2-4	-	190	175	160	155	200	190	175	170
-	10-15	175	160	145	140	185	175	160	155
-	15-20	165	150	135	130	175	165	150	145
-	25-35	160	145	130	125	170	160	145	140
-	40-50	150	135	125	120	160	150	135	130

Примітка: 1. Витрата води замішування наведена для бетонних сумішей, виготовлених на портландцементі, з нормальною густиною цементного тіста 26-28 %, і середньо зерновому піску ($M_{\text{кр}} = 2 \dots 2,5$), без пластифікуючих добавок.

2. При зміні нормальної густоти цементного тіста на кожний відсоток у бік зменшення витрата води зменшується на 3-5 л, у бік збільшення – збільшується на 3-5 л.

3. При зміні модуля крупності піску на кожні 0,5 у бік зменшення витрата води збільшується на 3-5 л, у бік збільшення – зменшується на 3-5 л.

4. При введенні добавок типу ЛСТ зазначену кількість води зменшують на 10-15 л/м³, при введенні суперпластифікаторів – на 20-30 л/м³.

4. Визначаємо витрату цементу:

$$C = \frac{V}{V/C} = \frac{170}{0,49} = 347 \text{ кг} > C_{\text{min}} = 220 \text{ кг.}$$

5. Визначаємо витрату щебеню (гравію):

$$Ш = \frac{1000}{\frac{1000}{\rho_{\text{ц}}} + \alpha \cdot \frac{1000}{\rho_{\text{нц}}} \cdot V_{\text{пуст}}} = \frac{1000}{\frac{1000}{2600} + 1,34 \cdot \frac{1000}{1400} \cdot 0,46} = 1212 \text{ кг};$$

$$V_{\text{пуст}} = 1 - \rho_{\text{нщ}}/\rho_{\text{щ}} = 1 - 1400/2600 = 0,46;$$

- де: $\rho_{\text{щ}}$ – середня густина щебеню, кг/м³;
 $\rho_{\text{нщ}}$ – насипна густина щебеню, кг/м³;
 $V_{\text{пуст}}$ – пустотність щебеню, частки одиниці;
 α – коефіцієнт розсунення зерен (див. табл. 1.3).

6. Визначаємо витрату піску:

$$\Pi = \left[1000 - \left(\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ}}} + \text{В} \right) \right] \cdot \rho_{\text{п}} = \left[1000 - \left(\frac{347}{3,1} + \frac{1212}{2,6} + 170 \right) \right] \cdot 2,61 = 657 \text{ кг},$$

- де: Ц, Щ, В – витрата цементу, щебеню (гравію) та води, кг;
 $\rho_{\text{ц}}$ – істинна густина цементу, кг/дм³;
 $\rho_{\text{щ}}, \rho_{\text{п}}$ – середня густина щебеню (гравію) та піску, кг/дм³.

Таблиця 1.3

Коефіцієнт розсунення зерен у бетонних сумішах різної легкоукладальності

Витрата цементу, кг	Значення коефіцієнту при показниках легкоукладальності бетонної суміші			
	Осадка конуса, см		Жорсткість, с	
	1-4	5-12	1-40	40-80
200	1,18	1,22	1,14	1,10
250	1,22	1,28	1,16	1,12
300	1,28	1,34	1,18	1,14
350	1,34	1,40	1,20	1,16
400	1,40	1,48	1,22	1,18
500	1,48	1,60	1,24	1,20

7. Визначаємо розрахункову щільність бетонної суміші:

$$\rho_{\text{бс}} = \text{Ц} + \text{В} + \Pi + \text{Щ} = 347 + 170 + 657 + 1212 = 2386 \text{ кг/м}^3.$$

8. Виконуємо перевірку суми об'ємів компонентів бетону на 1 м³:

$$\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \text{В} + \frac{\Pi}{\rho_{\text{п}}} + \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ}}} = \frac{347}{3,1} + 170 + \frac{657}{2,61} + \frac{1212}{2,6} = 999,9 \text{ л} \approx 1000 \text{ л або } 1 \text{ м}^3.$$

1.3.2. Визначення виробничого складу бетону

Розрахунок враховує вологість заповнювачів, що зберігаються на складах, і коригує воду, що вводиться на 1 м³ бетонної суміші.

1. Визначаємо вміст води в заповнювачах:

$$V_{\text{п}} = \Pi \cdot W_{\text{п}} = 657 \cdot 0,03 = 20 \text{ л};$$

$$V_{\text{щ}} = \text{Щ} \cdot W_{\text{щ}} = 1212 \cdot 0,01 = 12 \text{ л};$$

де: $W_{\text{щ}}, W_{\text{п}}$ – вологість щебеню (гравію) та піску.

2. Визначаємо дійсну витрату води:

$$V_{\text{д}} = \text{В} - (V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}) = 170 - (20 + 12) = 138 \text{ л}.$$

3. Визначаємо дійсну витрату заповнювачів:

$$P_d = P + B_p = 657 + 20 = 677 \text{ кг};$$

$$Ш_d = Ш + B_{ш} = 1212 + 12 = 1224 \text{ кг}.$$

1.3.3. Розрахунок витрати матеріалів на об'єм бетонозмішувача

Під час завантаження у змішувач компоненти знаходяться у пухкому стані і займають значно більший об'єм, далі, у процесі перемішування відбувається ущільнення, коли порожнечі одного матеріалу заповнюються іншим і змочуються водою. Для розрахунків витрат матеріалів на заміс бетонозмішувача визначеного об'єму чи на об'єм бетонних робіт, визначають коефіцієнт виходу бетонної суміші. Коефіцієнт виходу бетонної суміші – це відношення об'єму свіжовиготовленої бетонної суміші до суми об'ємів його складових. Фізичний зміст коефіцієнту виходу бетонної суміші полягає у тому, що він враховує зменшення об'єму бетонної суміші після перемішування, порівняно з сумою об'ємів всіх окремо взятих складових у їхньому насипному сухому стані без урахування води. Цей коефіцієнт знаходиться у межах: 0,6...0,75.

1. Визначаємо коефіцієнт виходу бетону:

$$\beta = \frac{1000}{\rho_{ц} + \rho_{п} + \rho_{ш}} = \frac{1000}{\frac{347}{1,3} + \frac{657}{1,55} + \frac{1212}{1,4}} = 0,64.$$

2. Визначаємо витрати матеріалів на бетонозмішувач:

$$Ц_{бз} = \frac{Ц}{1000} \cdot V \cdot \beta = \frac{347}{1000} \cdot 200 \cdot 0,64 = 44 \text{ кг};$$

$$B_{бз} = \frac{B_d}{1000} \cdot V \cdot \beta = \frac{138}{1000} \cdot 200 \cdot 0,64 = 18 \text{ л};$$

$$Ш_{бз} = \frac{Ш_d}{1000} \cdot V \cdot \beta = \frac{1224}{1000} \cdot 200 \cdot 0,64 = 157 \text{ кг};$$

$$P_{бз} = \frac{P_d}{1000} \cdot V \cdot \beta = \frac{577}{1000} \cdot 200 \cdot 0,64 = 74 \text{ кг};$$

де: V – об'єм бетонозмішувача, л.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Властивості бетонної суміші

Мета роботи: розглянути методики визначення легкоукладальності бетонної суміші за показником рухливості і жорсткості за за ДСТУ Б В.2.7–114–2002 Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань.

Прилади та матеріали: цемент М400, пісок річковий, щебінь, вода, стандартний конус, установка типу Вебе, воронка завантажувальна, штиковка, ємність для приготування бетонної суміші, кельма типу КБ для перемішування, 2 сталеві лінійки, секундомір, віброплощадка.

Сутність роботи: приготувати бетонну суміш заданих характеристик.

Бетонна суміш – це раціонально підібрана і ретельно перемішана суміш в'язучого (цементу), дрібного заповнювача (піску), крупного заповнювача (щебеню або гравію) і води (до строків тужавлення та тверднення) (рис. 2.1).

Бетонна суміш повинна задовольняти двом основним вимогам:

- зберігати однорідність при транспортуванні, перевантаженні і укладанні у форму (опалубку);

- мати легку укладальність.



Рис. 2.1. Загальний вигляд бетонної суміші

Легкоукладальність – це здатність бетонної суміші заповнювати форму (опалубку) і ущільнюватися у ній під дією сили тяжіння або за допомогою зовнішньої механічної дії.

2.1. Приготування пробного замісу та коригування складу бетонної суміші

Розрахований склад бетону перевіряють за показником легкоукладальності. Для цього готують пробний заміс бетону об'ємом 10 л, розраховуючи відповідну витрату матеріалів.

Для пробного замісу відважують розраховані для необхідного об'єму кількості цементу, піску і крупного заповнювача з погрішністю не більше 0,1 %. Суху суміш компонентів перемішують до отримання однорідної маси, додають воду і продовжують перемішувати близько 5 хв.

Для отриманої бетонної суміші визначають показник легкоукладальності та фактичну густину (за ДСТУ Б В.2.7 – 114 – 2002. Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань).

2.2. Визначення легкоукладальності бетонної суміші

Бетонні суміші поділяються на два основні види:

- пластичні (рухливі) бетонні суміші;
- наджорсткі і жорсткі бетонні суміші.

Пластичні (рухливі) бетонні суміші характеризуються відносно великим вмістом води, вони легко укладаються у форму (опалубку) і ущільнюються з невеликими витратами енергії. Наджорсткі та жорсткі бетонні суміші характеризуються відносно малим вмістом води замішування, вони крихкі, важко ущільнюються при укладенні їх у форму (опалубку). Легкоукладальність пластичних бетонних сумішей визначають за показниками рухливості, а жорстких за показником жорсткості.

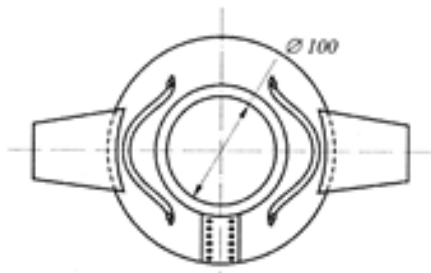
Рухливість бетонної суміші характеризується величиною осадки конуса *OK* (см), відформованого з випробовуваної бетонної суміші (рис. 2.2).

Методика випробування

1. Внутрішню поверхню стандартного конуса змочують водою.
2. Конус встановлюють на гладкий металевий лист.



а)



б)

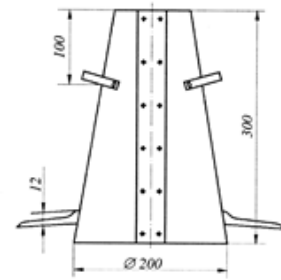


Рис. 2.2. Стандартний конус для визначення рухливості бетонної суміші:
а – стандартний конус; б – схема стандартного конуса

3. Конус заповнюють бетонною сумішшю через воронку в три шари однакової висоти. Кожен шар ущільнюють штикуванням металевим стрижнем діаметром 16 мм 25 разів по спіралі до центру конусу. Конус під час заповнення і штикування повинен бути щільно притиснутий до листа.

4. Бетонною сумішшю марок П4 і П5 конус заповнюють за один раз і штикують 10 разів.

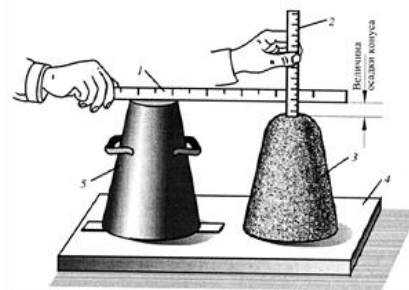
5. Після ущільнення бетонної суміші воронку знімають, надлишок суміші зрізають і вирівнюють поверхню кельмою врівень із верхнім краєм конуса.

6. Конус плавно вертикально піднімають (протягом 3...7 с) і встановлюють поруч з відформованим конусом із бетонної суміші.

7. Осідання конусу із бетонної суміші визначають, вимірюючи відстань по вертикалі між нижнім краєм лінійки, яка укладена ребром горизонтально на верхній зріз конуса, і верхньою основою конуса бетонної суміші (рис. 2.3). Визначають (вимірюють) осідання конусу бетонної суміші у сантиметрах (євро-стандарт передбачає вимірювання осідання конусу в міліметрах (рис. 2.4)).



а)



б)

Рис. 2.3. Визначення рухливості бетонної суміші за допомогою стандартного конуса:
а – осідання рухливої бетонної суміші; б – визначення величини осадки конуса ОК, см

Осадку конуса бетонної суміші обчислюють з округленням до 1 см як середнє арифметичне результатів двох визначень з однієї проби, що відрізняються між собою не більше ніж на 1 см при $OK < 4$ см, на 2 см при

$OK = 5...9$ см і на 3 см при $OK > 10$ см.

При максимальній крупності зерен заповнювача більше 40 мм пластичність бетонної суміші визначають за допомогою збільшеного конусу висотою 450 мм з внутрішнім діаметром нижньої основи 300 мм і верхньої – 150 мм, а кожний шар у цьому конусі штикують 56 разів. У залежності від величини осідання конусу пластичні суміші поділяють на марки (табл. 2.1).

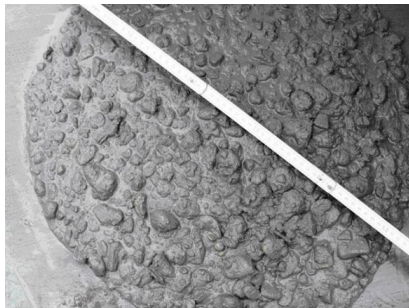


Рис. 2.4. Визначення рухливості бетонної суміші за євро-стандартом за діаметром розпливу конусу

Таблиця 2.1

Пластичні бетонні суміші (рухливі суміші)

Національний стандарт		Євро-стандарт EN 206-1	
Марка суміші	Осідання конусу, см	Марка суміші	Розплив конусу, мм
П1	1...4	S1	10...40
П2	5...9	S2	50...90
П3	10...15	S3	100...150
П4	16...20	S4	160...210
П5	21 і більше	S5	220 і більше

Якщо визначена величина осадки конуса рівна нулю, легкоукладальність суміші визначають за показником жорсткості.

Жорсткість бетонної суміші в секундах визначають за допомогою установки типу Вебе (рис. 2.5), яка складається із форми (циліндра з фланцем у основі) висотою 200 мм і внутрішнім діаметром 240 мм із закріпленим на ньому пристроєм у вигляді штатива, штанги і металевого диска діаметром 230 мм з отворами по периметру діаметром 10 мм (рис. 2.5).

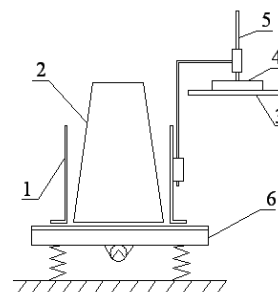


Рис. 2.5. Установка типу Вебе:

- 1 – форма (циліндр з фланцем у основі); 2 – нормальний конус; 3 – диск;
4 – шайба-привантажувач; 5 – штанга; 6 – віброплощадка

Загальна маса диска, штанги і шайби повинна складати при випробуванні жорстких сумішей 2,75 кг, а при випробуванні наджорстких – 13 кг.

Методика випробування

1. Форму (циліндр) встановлюють на стандартну віброплощадку (частота коливань 50 Гц, амплітуда – 0,5 мм) і жорстко закріплюють.

2. У технічний віскозиметр встановлюють стандартний конус і заповнюють його у три шари бетонною сумішшю, ущільнюючи штикуванням (25 раз кожний шар), потім вирівнюють верхню поверхню конусу кельмою.

3. Після цього конус виймають, повертають штатив і установлюють на поверхню бетонної суміші диск з шайбою і вмикають віброплощадку (рис. 2.6 а). Вібрування продовжують до того часу, доки диск припинить осідання і із його любух двох отворів не почне виступати цементне тісто (рис. 2.6 б).

4. Фіксують час, за який бетонна суміш вирівняє свою поверхню. Тривалість вібрування і є показником жорсткості бетонної суміші у секундах.

За показник жорсткості приймають середнє значення двох визначень, якщо розбіжність між ними не перевищує 20 %.

За показником жорсткості наджорсткі та жорсткі бетонні суміші поділяються на марки (табл. 2.2).

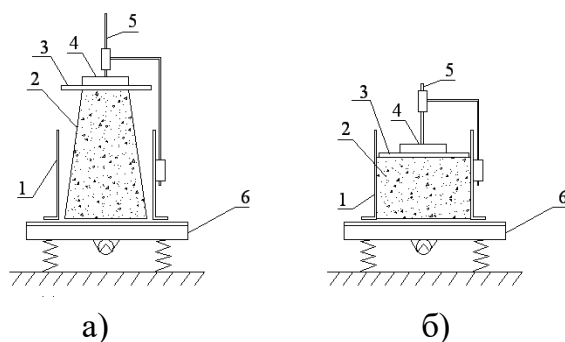


Рис. 2.6. Визначення жорсткості бетонної суміші з використанням установки типу Вебе:

а) установка перед вмиканням віброплощадки; б) теж, у кінці випробування; 1 – форма (циліндр); 2 – бетонна суміш; 3 – диск; 4 – шайба-привантажувач; 5 – штанга; 6 – віброплощадка

Таблиця 2.2

Наджорсткі та жорсткі бетонні суміші

Національний стандарт		Євро-стандарт EN 206-1	
Марка суміші	Жорсткість, секунди	Марка суміші	Час Вебе, секунди
НЖ3	більше 100		
НЖ2	51...100		
НЖ1	50 і більше		
Ж4	31...50	V0	31 і більше
Ж3	21...30	V1	21...30
Ж2	11...20	V2	11...20
Ж1	5...10	V3	6...10
		V4	3...5

2.3. Визначення густини бетонної суміші

Середня густина бетонної суміші характеризується масою одиниці об'єму після ущільнення (ручним або механічним способом) та визначається в мірних ємкостях місткістю 1 л (якщо крупність заповнювача ≤ 20 мм), 5 л (якщо крупність заповнювача до 40 мм) і 10 л (при крупності заповнювача > 40 мм).

Рухливі суміші вкладають у три шари, штикуючи кожен 16 разів для ємкості 5 л і 35 разів для ємкості 15 л. Нижній шар штикують на всю товщину, наступні так, щоб стрижень проникав у нижчий шар на 2...3 см.

Жорсткі суміші ущільнюють на лабораторній віброплощині до появи на її поверхні цементного молока (1...1,5 хв), доповнюючи у разі необхідності суміш до верху мірного циліндра.

Після ущільнення надлишок суміші зрізають сталевією лінійкою врівень із краями ємкості, поверхню вирівнюють.

Густина бетонної суміші ρ (кг/м³) обчислюється за формулою:

$$\rho = \frac{m - m_1}{V},$$

де m – маса мірної ємкості з бетонною сумішшю, г;

m_1 – маса мірної ємкості без суміші (форми), г;

V – об'єм мірної ємкості, дм³.

Остаточне значення обчислюють з округленням до 10 кг/м³ як середнє арифметичне результатів двох визначень з однієї проби, що відрізняються між собою не більше ніж на 5 %.

2.4. Коригування складу бетонної суміші

Якщо фактична легкоукладальність бетонної суміші розрахованого складу не відповідає необхідній, виконують коригування складу.

Для збільшення легкоукладальності додають по 5...10 % води та цементу (без зміни V/C); для зменшення легкоукладальності додають по 5...10 % піску та щебеню (без зміни співвідношення P/Π). У разі необхідності, коригування повторюють декілька разів, до отримання заданої легкоукладальності.

Під час коригування складу бетонної суміші розрахункове співвідношення між її компонентами порушується. Фактичний склад отриманої бетонної суміші визначають у такому порядку і заносять до таблиці 2.3:

- для відкоригованого за легкоукладальністю складу визначають фактичну густину бетонної суміші ρ_f .
- за визначеною фактичною густиною бетонної суміші визначають фактичну витрату матеріалів на 1 м³ бетону:

$$C_f = \frac{C_n}{\Sigma m} \cdot \rho_f;$$

$$\Pi_f = \frac{\Pi_n}{\Sigma m} \cdot \rho_f;$$

$$P_{\phi} = \frac{P_n}{\Sigma m} \cdot \rho_{\phi};$$

$$V_{\phi} = C_{\phi} \cdot \frac{V}{C};$$

де C_n, W_n, P_n – витрата відповідно цементу, щебеню та піску на пробний заміс, кг;
 Σm – загальна витрата матеріалів на пробний заміс, кг;
 ρ_{ϕ} – фактична густина бетонної суміші.

Таблиця 2.3

Витрати матеріалів на лабораторний заміс та на 1м³ бетону

Матеріали	Розрахунковий склад, кг		1-е коректування		2-е коректування		Уточнені витрати матеріалів на 1м ³ бетону, кг
	На 1м ³	На лабораторний заміс	Додано матеріалів	Загальні витрати матеріалів	Додано матеріалів	Загальні витрати матеріалів	
Цемент							
Пісок							
Щебінь							
Вода							
Загальні витрати, кг							
Осідання конусу, см							

2.5. Виготовлення дослідних (контрольних) зразків

Бетонну суміш вкладають з надлишком у змащені металеві форми не пізніше 15 хв після перемішування для визначення міцності бетону у віці 28 діб та визначення класу бетону.

Ущільнюють на лабораторній віброплощині з частотою 3000 ± 200 коливань за хвилину та амплітудою 0,3...0,6 мм до появи на поверхні бетону цементного молока.

Таблиця 2.4

Розміри зразків у залежності від крупності заповнювача

Найбільша крупність зерен заповнювача, мм	Найменший розмір зразків, мм	
	Ребро куба, сторона поперечного перетину балочки (призми)	Діаметр циліндра
10	70,7	71,4
20	100	100
40	150	150
70	200	200

Надлишок бетонної суміші зрізають, поверхню загладжують і вкривають вологою тканиною.

Через добу зразки розпалублюють і поміщають у камеру повітряно-вологого твердіння з температурою 20 ± 2 °С і відносною вологістю

95...100 %.

Розміри зразків вибирають (назначають) у залежності від найбільшої крупності зерен заповнювача (табл. 2.4).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Визначення міцності бетону неруйнівними методами

Мета роботи: Ознайомитись з методами неруйнівного контролю міцності бетону.

Прилади та матеріали: прилад УК-14П, прилад ХПС, молоток Шмідта МШ, зразки-куби бетону з розміром ребра 100 мм.

Сутність роботи: визначити міцність зразків-кубів неруйнівними методами контролю міцності бетону.

Загальні відомості

Найбільш затребуваними методами є методи неруйнівного контролю. Сучасні прилади контролю дозволяють отримувати об'єктивну інформацію без значних тимчасових фінансових витрат.

На точність вимірювання міцності при вимірюванні неруйнівними методами можуть впливати такі фактори як: тип цементу, склад цементу, тип заповнювача, умови твердіння, вік бетону, вологість і температура поверхні, тип поверхні, карбонізація поверхневого шару бетону та ще ряд менш значущих факторів.

а) Метод пластичної деформації заснований на вимірюванні розмірів відбитка, який залишився на поверхні бетону після зіткнення з ним сталеві кульки. Метод застарілий, але досі його використовують через дешевизну обладнання. Найбільше широко для таких випробувань використовують молоток Кашкарова, молоток типу ХПС (рис. 3.1 а).

б) Метод пружного відскоку полягає у вимірюванні величини зворотного відскоку ударника при зіткненні з поверхнею бетону. Типовим представником приладів для випробувань з цього методу є склерометр Шмідта (молоток Шмідта) та його численні аналоги. Метод пружного відскоку, як і метод пластичної деформації, заснований на вимірюванні поверхневої твердості бетону (рис. 3.1 б).

в) Метод ударного імпульсу полягає в реєстрації енергії удару, що виникає в момент зіткнення бойка з поверхнею бетону. Представники ряду приладів для випробувань цим методом – склерометри (рис. 3.1 в).

г) Метод відриву зі сколюванням і сколювання ребра конструкції полягає в реєстрації зусилля, необхідного для сколювання ділянки бетону на ребрі конструкції, або місцевого руйнування бетону при вириві з нього анкерного пристрою. Це найточніші з методів неруйнівного контролю міцності бетону. До недоліків цього методу слід віднести його високу трудомісткість та неможливість його використання у густоармованих ділянках, а також те, що він частково ушкоджує поверхню конструкції (рис. 3.1 г).

д) **Метод відриву сталевих дисків** полягає в реєстрації напруги, необхідної для місцевого руйнування бетону при відриві від нього металевого диска, рівного зусиллю відриву, поділеному на площу проекції поверхні відриву бетону на площину диска. В даний час метод використовується дуже рідко.

е) **Ультразвуковий метод** полягає у реєстрації швидкості проходження ультразвукових хвиль. По техніці проведення випробувань можна виділити наскрізне ультразвукове прозвучування, коли датчики розташовують з різних сторін зразка, і поверхневе прозвучування, коли датчики розташовані з одного боку (рис. 3.1 е).

Метод наскрізного ультразвукового прозвучування дозволяє, на відміну всіх інших методів неруйнівного контролю міцності, контролювати міцність не тільки у приповерхневих шарах бетону, а й міцність в об'ємі бетону конструкції.



а) Метод пластичної деформації (молоток Кашкарова)



б) Метод пружного відскоку (склерометр Шмідта)



в) Метод ударного імпульсу (ОНІКС 2.5)



в) Метод ударного імпульсу (ПС-МГ4.01)



г) Метод відриву зі сколюванням (ОНІКС-1.0С)



г) Метод відколу ребра (ОНІКС-1.СР)



е) Ультразвуковий метод (УКС-МГ4)



е) Ультразвуковий метод (Пульсар-1.0)



е) Ультразвуковий метод (Пульсар 2.2 (дефектоскоп))



е) Ультразвуковий метод (УК-39)



е) Ультразвуковий метод (УК-14ПМ)



е) Ультразвуковий метод (УК-10ПМС)

Рис.3.1. Методи та прилади неруйнівного контролю міцності

3.1. Механічні методи неруйнівного контролю міцності бетону

Визначаються згідно з ДСТУ Б.В.2.7-220-2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю.

Міцність бетону визначають за попередньо встановленими кореляційними залежностями між міцністю бетонних зразків та побічними (непрямими) характеристиками міцності (число випробувань на одні ділянці, відстань між місцями випробувань та від краю конструкцій, товщина конструкції на ділянці випробування повинні бути не меншими значень, наведених у табл. 3.1):

Таблиця 3.1

Метод	Число випробувань на ділянці	Відстань, мм		Товщина конструкції
		між місцями випробувань	від краю конструкції до місця випробування	
Пружний відскок	5	30	50	100
Пластична деформація	5	30	50	70
Відрив зі сколюванням	1	5 глибин видриву	150	Подвоєна глибина встановлення анкера

Метод пластичних деформацій

Сутність методу пластичних деформацій полягає в тому, що про міцність бетону судять за пластичними деформаціями (відбитками, отриманими від вдавлювання в поверхню бетону сталевих кульок, дисків або штампів) зі сталою енергією удару. Для визначення міцності за цим методом використовують ударний молоток ХПС.

Прилад типу ХПС – пружинний напіваавтомат ударної дії з двома заданими енергіями удару. Конструкція приладу наведена на рис. 3.2. Накопичення потенціальної енергії відбувається внаслідок стиснення ударної

пружини при вдавлюванні ударника всередину корпусу. На результати випробування міцності бетону впливають підвищена вологість і його вік.

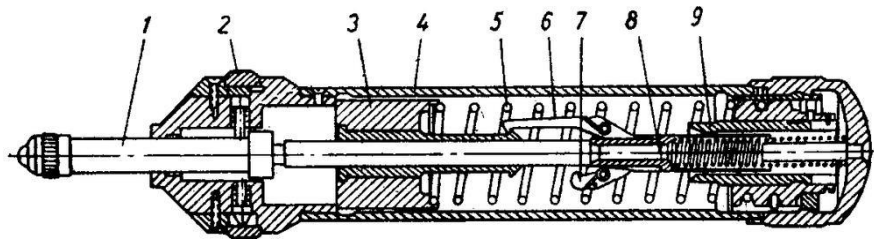


Рис. 3.2. Конструкція портативного приладу ХПС:

1 - ударний стрижень; 2 - стрижень для перемикання; 3 - бойок; 4 - корпус приладу; 5 - ударна пружина; 6 - заскочка для вмикання сегмента в положення 1/2; 7 - заскочка для вмикання сегмента в положення 1/1; 8 - тримач заскочок; 9 - конічна гільза

Порядок визначення міцності бетону приладом типу ХПС

При випробуванні методом пластичної деформації відстань від місць проведення випробування до арматури повинна бути не менше 50 мм.

1. Встановлюють прилад на гладку підготовлену поверхню.

2. Натискають на корпус приладу, при цьому бойок виходить із зачеплення і через кульку-штамп передає удар на поверхню бетону. На одній ділянці (зразку) виконують не менше п'яти ударів. При сферичному інденторі випробування допускається проводити, для полегшення вимірювань діаметрів відбитків, через листи копіювального та білого паперу (в цьому випадку зразки для встановлення градуювальної залежності випробовують із застосуванням такого ж паперу).

3. З використанням градуйованої лупи (мікроскопа Бріннеля) вимірюють діаметри відбитків з точністю до 0,1 мм. Діаметр відбитка повинен становити від 20 % до 70 % від діаметра індентора.

4. Визначають для кожного зразка (ділянки) середнє арифметичне значення відбитку з результатів, що відрізняються між собою не більше ніж на 20%.

5. Перехід від середнього значення відбитку до міцності бетону зразка здійснюють, використовуючи кореляційну (тарировочну) залежність $f_{ct} = f(d)$.

6. Визначають середню міцність бетону з серії зразків.

Для побудови кореляційної залежності попередньо випробовують не менше 15 серій зразків бетону різної міцності (по три зразки в серії) методом пластичних деформацій, потім визначають їх міцність випробуванням на стиск на гідравлічному пресі. Отримані результати випробувань наносять у вигляді крапок на кореляційне поле, а потім будують залежність міцності бетону від діаметру відбитку у вигляді лінії або кривої, яка розрахована методом найменших квадратів. Приклад побудованої залежності (на основі даних заводу ЗБК) наведений на рис. 3.3. По цій кореляційній залежності можна одержати тільки орієнтовну міцність бетону. Дійсну або фактичну міцність бетону визначають методом руйнування.

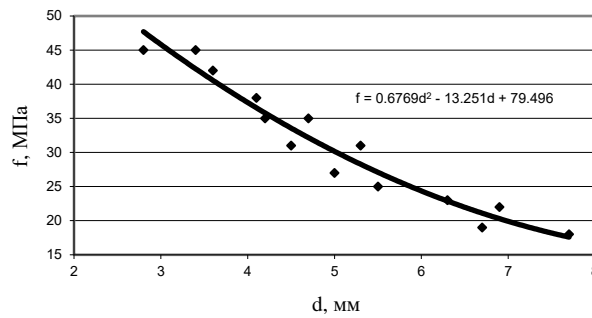


Рис. 3.3. Приклад кореляційної залежності для приладу типу ХПС

Молоток Шмідта є механічним пристроєм для швидкого неруйнівного контролю якості матеріалів, переважно бетону (рис. 3.4). Це портативний прилад, який використовується для невеликих об'ємів бетону або кам'яних поверхонь. Принцип роботи цього приладу полягає в ударному впливі на поверхню матеріалу і вимірюванні ступеню відскоку.

Вимірювання міцності на стиск відбувається без руйнування матеріалів. Міцність бетону визначається за попередньо встановленою градуальною залежністю між міцністю бетонних зразків і значенням відскоку від поверхні бетону притисненого до неї ударника (непрямою характеристикою міцності) згідно з ДСТУ Б В.2.7-220:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю, ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Бетони. Правила контролю міцності).



Рис. 3.4. Молоток Шмідта МШ (склерометр)

Молоток дозволяє також оцінювати фізико-механічні властивості будівельних матеріалів у зразках і виробках (міцність, твердість, пружно-пластичні властивості), виявляти неоднорідності, зони поганого ущільнення та ін.

Область застосування – визначення міцності матеріалів на підприємствах будіндустрії та об'єктах будівництва, а також при обстеженні експлуатованих будівель та споруд.

Молоток вимірює значення відскоку R_m . Існує певне співвідношення між зазначеним значенням і міцністю бетону. При визначенні значення відскоку R завжди необхідно враховувати наступні фактори: напрям удару: горизонтально, вертикально вгору або вниз; вік бетону; розмір і форма

еталонного зразка (куб, циліндр). При випробуванні вертикальних поверхонь (наприклад стін) положення молотка відносно землі повинно бути горизонтально-паралельним.

Визначення міцності бетону молотком Шмідта МШ (склерометром)

Випробування проводяться на ділянці розміром не менше 100 см² виробу (конструкції) і при його товщині відповідно до технічних характеристик молотка. Конструкція склерометра Шмідта наведена на рис. 3.5.

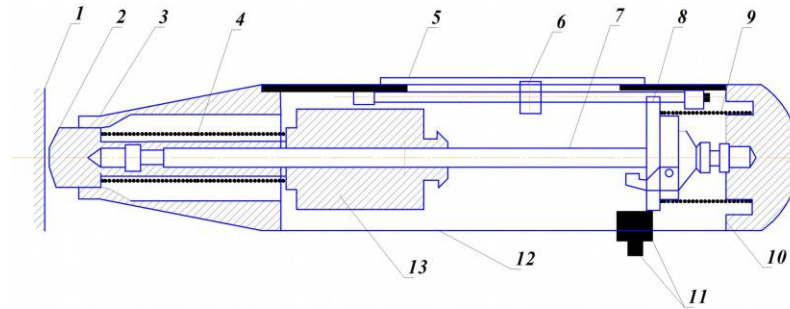


Рис. 3.5. Конструкція склерометра Шмідта:

- 1 – бетонна поверхня; 2 – ударний стрижень; 3 – ковпачок; 4 – ударна пружина;
5 – вікно зі шкалою; 6 – движок зі стрижнем; 7 – напрямний стрижень; 8 – напрямна шайба;
9 – пружина; 10 – кришка; 11 – стопорна кнопка; 12 – корпус; 13 – молот

Шорсткість поверхні бетону на ділянці випробувань повинна бути не більше $R_a=40$ мкм, що відповідає шорсткості поверхні бетонних кубів, випробуваних під час калібрування приладу. При необхідності для зачистки використовувати шліфувальний камінь із комплектації приладу з подальшим очищенням поверхні від пилу.

Для проведення вимірювання необхідно вибирати контрольовані ділянки (поверхню) без попадання в арматуру, гранули щебеню, повітряні бульбашки або великі раковини.

Кількість та розташування контрольованих ділянок при випробуванні конструкцій має відповідати ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Бетони. Правила контролю міцності. При визначенні міцності бетону обстежуваних конструкцій число і розташування ділянок повинно прийматися за програмою обстеження, але не менше трьох.

Границі ділянки випробування повинні бути не ближче 50 мм від краю конструкції. Відстань між точками випробування (місце завдання удару) має бути не менше 30 мм. Відстань від місць проведення випробувань до арматури має бути не менше ніж 50 мм.

Порядок проведення випробування

1. Відкрутити захисний ковпачок з кнопки–стопора.
2. Надавити на плунжер (індентор), після чого він вискочить з молотка, а також вискочить кнопка стопор.

3. Встановити індентор молотка в обрану точку контрольованої поверхні перпендикулярно до неї, слідкуючи, щоб не було відхилення від прямого кута.

4. Повільно прижати молоток до контрольованої поверхні (плунжер буде заходить всередину корпусу молотка), поки не спрацює механізм запуску ударного плунжера.

5. Нажати кнопку-стопор для закріплення плунжера та фіксації повзунка на шкалі.

6. Рахувати і записати значення відскоку R_m , позначене повзунком на шкалі.

7. Використовуючи таблицю визначити вірне значення R_m , виходячи з положення молотка у момент вимірювання.

Для кожної контрольованої поверхні необхідно зробити не менш 10 ударів молотком.

На основі цих даних, спеціальний алгоритм обчислює значення твердості бетону, яке виражається в одиницях, відомих як "робочі одиниці". Це число може бути переведене в інші широко використовувані шкали твердості, такі як МПа (мегапаскалі) або psi (фунти на квадратний дюйм).

Молоток Шмідта знаходить широке застосування в будівництві та інженерному контролі:

1. Контроль якості бетону: вимірювання твердості бетону допомагає визначити, чи відповідає бетон заданим стандартам твердості. Це важливо для забезпечення безпеки та надійності будівельних конструкцій.

2. Оцінка структурної інтегритету: молоток Шмідта може бути використаний для перевірки структурною інтегритету старих будівель або мостів. Він допомагає виявити дефекти та нещільності в бетоні.

3. Моніторинг старіння матеріалів: прилад також використовується для моніторингу твердості бетону з часом, що дозволяє вчасно виявляти необхідність ремонту.

4. Контроль якості ремонтних робіт: після ремонту бетонних поверхонь молоток Шмідта може бути використаний для перевірки якості виконаних робіт і порівняння їх з вимогами.

Електронний склерометр ОНКС-2.5 призначений для оперативного контролю міцності й однорідності бетону (ДСТУ Б В.2.7-220:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю) під час технологічного контролю, обстеження будівельних об'єктів, а також для контролю цегли, легких бетонів тощо. Переваги: вперше реалізований двопараметричний метод контролю міцності – одночасно за ударним імпульсом і відскоком, що істотно підвищує вірогідність результатів.

Особливості: не потрібна допомога другої руки під час зведення, зручне зведення і спуск ударника великим пальцем; висока швидкість і точність нанесення ударів; підвищена енергія удару; немає поршневого ефекту;

стійкість до зовнішніх впливів; найстійкіша та найзручніша 4-точкова периметральна опора; конструкція, що забезпечує ефективну працездатність у широкому діапазоні температур (-10...+40 °С) див. рис. 3.1 в.

3.2. Ультразвуковий метод визначення міцності бетону

Виконується за ДСТУ Б.В.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності.

Ультразвуковий метод базується на зв'язку між швидкістю поширення ультразвукових коливань в бетоні та його міцністю. Швидкість поширення коливань залежить від щільності бетону, тому для даного методу побічною характеристикою міцності є щільність бетону.

Також ультразвуковий метод може використовуватись для визначення неоднорідності щільності бетону в виробі (наявності пустот, внутрішніх дефектів).

Ультразвукові вимірювання в бетоні проводять способами наскрізного або поверхневого пропускання звуку (рис. 3.6 та рис. 3.7) приладами, призначеними для вимірювання часу поширення ультразвуку в бетоні (УК-14П; УКС-МГ4; УК-39; Пульсар 1.0 (рис. 3.1) та ін.)



Рис. 3.6. Прозвучування конструкції приладом УК-39

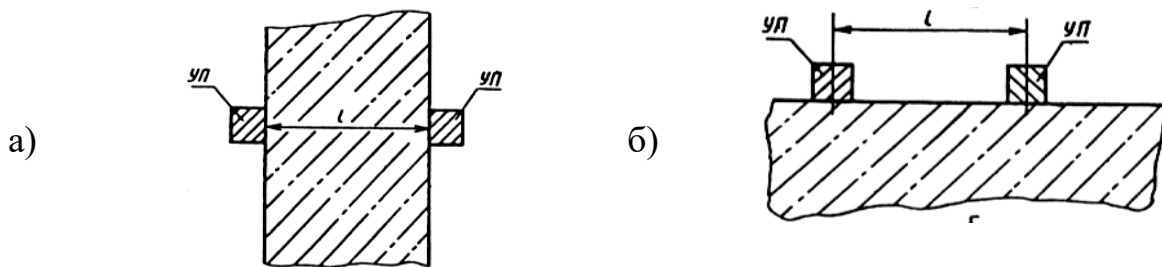


Рис. 3.7. Схеми прозвучування під час проведення ультразвукового контролю міцності бетону: а – наскрізне; б – поверхневе

Орієнтовну міцність бетону в конструкціях визначають за експериментально встановленою кореляційною залежністю „швидкість поширення ультразвуку – міцність бетону”, яка будується аналогічно за методом пластичних деформацій та наведена на рис. 3.8.

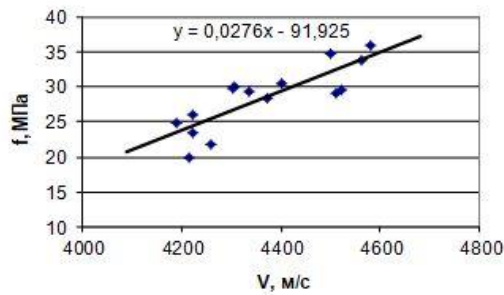


Рис. 3.8. Приклад кореляційної залежності «швидкість-міцність»

Порядок проведення випробування:

Випробують зразки-куби бетону з розміром ребра 100 мм. Використовують наскрізне прозвучування приладом УК-14П, схема роботи якого представлена на рис. 3.9.

1. Поверхні датчиків змазуються солідолом для більш повного прилягання до поверхні. У зоні контакту ультразвукових перетворювачів із поверхнею бетону не повинно бути раковин та пор глибиною більш 3 мм і діаметром більше 6 мм. Поверхня бетону повинна бути очищена від пилу.

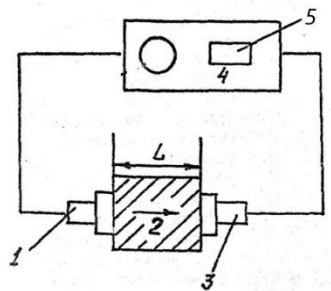


Рис. 3.9. Схема ультразвукових вимірювань:

1 – датчик-випромінювач; 2 – зразок бетону; 3 – датчик-приймач; 4 – прилад; 5 – дисплей

2. Датчики притискають до протилежних поверхонь зразків і визначають час проходження ультразвуку t (мкс) за схемою, представленою на рис. 3.10. Після цього визначають середнє значення t_c для кожного зразка.

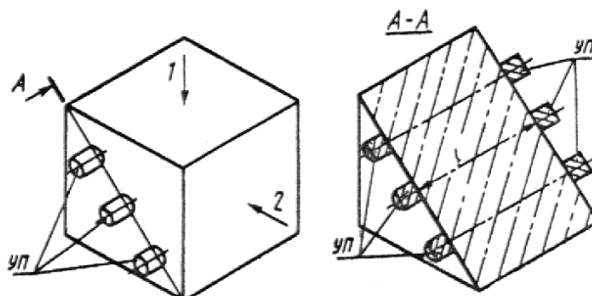


Рис. 3.10. Схема випробування кубів способом наскрізного прозвучування

3. Для кожного зразка по t_c обчислюють швидкість проходження ультразвуку V , м/с, за наведеною формулою:

$$V = \frac{l}{t_c} \cdot 10^3;$$

де t_c – середнє значення часу поширення ультразвуку, мкс;

l – відстань між центрами встановлення перетворювачів (база прозвучування), мм.

4. Перехід від швидкості проходження ультразвуку до міцності бетону для кожного зразка здійснюють, використовуючи кореляційну залежність V - f (рис. 3.8).

5. Визначають середнє арифметичне значення міцності бетону з серії зразків.

Отримані за формулами результати випробувань заносять до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати визначення міцності бетону неруйнівними методами

№	Ультразвуковий метод					Метод пластичних деформацій		
	Час, мкс		V , м/с	f , МПа	\bar{f} , МПа	Діаметр відбитку d , мм (5 значень)	\bar{d} , мм	f , МПа
	t	t_c						
1								
2								
3								

Отримані орієнтовні міцності порівнюють із значенням дійсної (фактичної) міцності бетону, отриманої в результаті виконання лабораторної роботи № 2 та роблять відповідний висновок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Визначення міцності та класу бетону за контрольними зразками (руйнівний метод контролю міцності)

Мета роботи: Ознайомитись з методом визначення міцності бетону за контрольними зразками згідно ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.

Прилади та матеріали: прес гідравлічний ПСУ-100, зразки-куби бетону з розміром ребра 100 мм.

Сутність роботи: визначити міцність зразків-кубів руйнівним методом та визначити клас бетону.

Методика випробування:

Визначення міцності бетону полягає в визначенні мінімальних зусиль, руйнуючих контрольні зразки бетону під час їх статичного навантаження з постійною швидкістю зростання навантаження і наступному обчисленні напружень при цих зусиллях. Розміри бетонних зразків для випробувань залежать від найбільшого розміру крупного заповнювача (дивись лабораторна робота № 2, табл. 2.4). Стандарним «еталонним» зразком

вважаються куби розміром 150x150x150 мм.

Таблиця 4.1

Кількість зразків у серії для випробувань з визначення міцності бетону

Внутрішньосередній коефіцієнт варіації V_c , %	5 і менше	Більше 5 до 8 включно	Більше 8
Кількість зразків бетону в серії, шт., не менше	2	3	6

Зразки, виготовлені з бетонної суміші, для визначення проектної міцності випробовують на стиск через 28 діб після виготовлення.

Опорні грані відформованих зразків-кубів, призначених для випробування на стиск, вибирають так, щоб навантаження при випробуванні було спрямовано паралельно шарам укладання бетонної суміші у форми. Лінійні розміри зразків вимірюють із похибкою не більше 1 %.

При випробуванні на стиск зразки-куби або циліндри встановлюють однією з обраних граней на нижню опорну плиту преса, центруючи щодо його поздовжньої осі, використовуючи риски, що нанесені на плиту преса. Після встановлення зразка на опорні плити преса з'єднують верхню плиту преса з верхньою опорною гранню зразка так, щоб їх площини повністю прилягали одна до одної.

Під час випробування навантаження зразків здійснюють безперервно зі швидкістю, що забезпечує підвищення розрахункового напруження до руйнування в межах $0,6 \pm 0,4$ МПа/с при випробуванні на стиск. При цьому час навантаження одного зразка повинен бути не менше 30 с.

Максимальне зусилля, досягнуте в процесі випробування, яке призвело до руйнування, приймають за руйнівне навантаження.

1. Міцність при стиску визначають для кожного зразка окремо за формулою:

$$f_{cm}^i = \frac{P_i}{F_i} \cdot K_n$$

де P – руйнівне зусилля i -го зразка, кгс;
 F – площа грані зразка i -го зразка, см²;
 K_n – перевідний коефіцієнт.

Результати випробувань бетонних зразків суттєво залежать від їх розмірів. Тому використовують перевідні коефіцієнти для приведення границі міцності зразків кубів різних розмірів до кубікової міцності еталонного зразка – 150x150x150 мм:

$K_n = 0,85$ – для кубів з розміром ребра 70,7 мм;
 $K_n = 0,95$ – для кубів з розміром ребра 100 мм;
 $K_n = 1,00$ – для кубів з розміром ребра 150 мм;
 $K_n = 1,05$ – для кубів з розміром ребра 200 мм;

$K_n = 1,10$ – для кубів з розміром ребра 300 мм.

2. Середню міцність партії зразків визначають, як правило, за результатами випробування трьох зразків за формулою:

$$f_{cm} = (f_{cm}^1 + f_{cm}^2 + f_{cm}^3) / 3.$$

Якщо найменший результат випробування одного із зразків відхиляється від найбільшого результату зразка-близнюка більше ніж на 15 %, то найменший результат відкидають і вираховують середню міцність бетону за двома показниками, що залишилися.

3. У разі необхідності наближену 28-добову міцність бетону можна визначити в більш ранньому віці (не менше 7 діб) за формулою:

$$f_{28} = \frac{f_n \cdot \lg 28}{\lg n},$$

де f_n, f_{28} – міцність бетону на стиск у віці n і 28 діб;

$\lg n, \lg 28$ – десяткові логарифми віку бетону.

4. За середньою міцністю визначають клас бетону:

$$C = 0,778 \cdot f_{cm};$$

де C – клас бетону, МПа;

$$0,778 = (1 - 1,64 \cdot C_v);$$

1,64 – статичний коефіцієнт (коефіцієнт інженерної достовірності);

C_v – коефіцієнт варіації міцності бетону, який при проектуванні бетону складає 13,5 %.

$$C_v = \frac{\sqrt{\frac{\sum_1^n (f - f_i)^2}{n}}}{f};$$

Отримані результати випробувань заносять до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Результати випробувань зразків бетону на стиск

№	Площа перерізу зразка $F, \text{см}^2$	Руйнуюче навантаження, $P, \text{кгс}$	Міцність зразка, $f_{cm}, \text{МПа}$	Коеф. варіації v	Середня міцність $\bar{R}, \text{МПа}$	Перевідний коефіцієнт K_n	Приведена міцність для еталонних зразків, МПа	Клас бетону
1				0,135		0,95		
2								
3								
4								

Відповідно до вимог державного стандарту важкі бетони за міцністю при стиску поділяються на наступні класи, наведені у таблиці 4.3.

Класи міцності важкого бетону

Клас міцності бетону на стиск	Міцність, визначена на зразках-циліндрах, $f_{ck.cyl}$, МПа	Міцність, визначена на зразках-кубах, $f_{ck.cube}$, МПа
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/35	30	35
C 32/40	32	40
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95

Примітка: При цьому чисельник – клас бетону, визначений на зразках циліндрах діаметром 150 мм і висотою 300 мм, а знаменник – це клас бетону, визначений на зразках-кубах 150x150x150 мм.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. З яких компонентів складається бетонна суміш?
2. Що називається легкоукладальністю?
3. Якими показниками характеризується легкоукладальність?
4. Для яких бетонних сумішей легкоукладальність характеризують показником рухливості. Принцип визначення.
5. Для яких бетонних сумішей легкоукладальність характеризують показником жорсткості. Принцип визначення.
6. Як визначається густина бетонної суміші?
7. Для чого здійснюється коригування розрахованого складу бетонної суміші?
8. Співвідношення яких компонентів повинні зберігатись під час коригування складу бетонної суміші?
9. Які методи застосовують для визначення неруйнівного контролю міцності бетону?
10. В чому полягає сутність методу пластичних деформацій (ультразвукового методу)?
11. Принцип побудови та призначення кореляційних залежностей.
12. Наведіть формулу визначення швидкості проходження ультразвуку через товщу бетону.
13. Від чого залежить міцність бетону?

14. В чому полягає руйнівний метод контролю міцності бетону?
15. Наведіть формулу визначення міцності бетону при стиску та поясніть всі її значення.
16. Як встановити клас бетону?
17. Наведіть формулу визначення класу бетону та поясніть її значення.
18. За якою формулою можна визначити міцність бетону у часі?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ Б В.2.7-215:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу. На заміну ГОСТ 27006-86 ; чинний від 2010-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 18 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-114-2002. Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань (ГОСТ 10181-2000). На заміну ГОСТ 10181.0-81, ГОСТ 10181.1-81, ГОСТ 10181.2-81, ГОСТ 10181.3-81, ГОСТ 10181.4-81 ; чинний від 2002-07-01. Вид. офіц. Київ : Держ. ком. архітектури, буд-ва і житл. політики України, 2002. 32 с.
3. ДСТУ Б В.2.7-96-2000. Суміші бетонні. Технічні умови (ГОСТ 7473-94). На заміну ГОСТ 7473-85 ; чинний від 2000-07-01. Вид. офіц. Київ : Держ. ком. буд-ва, архітектури та житл. політики України, 2000. 20 с.
4. ДСТУ Б В.2.7-221:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Класифікація і загальні технічні вимоги. На заміну ГОСТ 25192-82 ; чинний від 2010-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 11 с.
5. ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013. Настанова щодо визначення складу важкого бетону. Чинний від 2014-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014. 91 с.
6. ДСТУ 9208:2022. Бетони важкі. Технічні умови. На заміну ДСТУ Б В.2.7-43-96 ; чинний від 2023-09-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 27 с.
7. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності. На заміну ГОСТ 18105-86 ; чинний від 2010-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 27 с.
8. ДСТУ Б В.2.7-226:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. На заміну ГОСТ 17624-87 ; чинний від 2010-09-01. Вид. офіц. Київ : М-во регіон. розвитку та буд-ва України, 2010. 26 с.
9. ДСТУ Б В.2.7-220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. На заміну ГОСТ 22690-88 ; чинний від 2010-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 34 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. На заміну ГОСТ 10180-90 ; чинний від 2010-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.

Навчально-методичне видання

Громова Олена Вячеславівна,
Зінкевич Андрій Миколайович,
Афанасьєва Тетяна Іванівна

БУДІВЕЛЬНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ПІДБІР ТА ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ВАЖКОГО БЕТОНУ ЗАДАНОГО КЛАСУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОННОЇ СУМІШІ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ-КУБІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ БЕТОНУ РУЙНУЮЧІ Й НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ МІЦНОСТІ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ МАРКИ ТА СКЛАДУ ВАЖКОГО БЕТОНУ

Навчально-методичні рекомендації
до лабораторних робіт

В авторській редакції

Комп'ютерна верстка Т. І. Афанасьєва

Експертний висновок склав канд. техн. наук, проф. Микола Біляєв

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 750 від 09.09.2024 р.)

Формат 60x84 ¹/₁₆. Ум. друк. арк. 1,92. Обл.-вид. арк. 1,36.
Тираж 2 пр. Зам. № 78

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010