

Міністерство освіти і науки України
Харківська національна академія міського господарства

О.В. Кондращенко
В.А. Юшко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт

«Оцінка якості заповнювачів для бетонів», «Проектування складу важкого бетону», «Проектування складу цементного газобетону»
з курсу **"Будівельне матеріалознавство"**
(для студентів 2 курсу напрямку 6.060101 «Будівництво»)

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт «Оцінка якості заповнювачів для бетонів», «Проектування складу важкого бетону», «Проектування складу цементного газобетону» з курсу "Будівельне матеріалознавство" (для студентів 2 курсу напряму підготовки 6.060101 «Будівництво»).– / Укл. Кондращенко О.В., Юшко В.А. – Харків: ХНАМГ, 2009. - 28 с.

Укладачі: О.В. Кондращенко
В.А. Юшко

Рецензент: к.т.н., доц. В.О. Бондарь (ХДТУБА)

Рекомендовано кафедрою ТБВ та БМ, протокол № 3 від 20.11.2008 р.

ВСТУП

Ці методичні вказівки призначені для виконання студентами лабораторних робіт: "Заповнювачі для бетонів", "Проектування складу важкого бетону", "Проектування складу цементного газобетону" з курсу "Будівельне матеріалознавство".

Метою їх є вивчення студентами загальних властивостей бетонів, підходу до вибору основних компонентів і знайомство з методиками розрахунків складів бетонів різної структури та призначення.

При вивченні дисципліни «Будівельне матеріалознавство» особливе місце займають матеріали на основі мінеральних в'язучих речовин. Найголовнішими серед таких матеріалів є бетони. Бетон – композиційний матеріал, який отримують шляхом формування і твердіння раціонально підібраної суміші, що складається з в'язучої речовини, дрібного і великого заповнювачів і спеціальних добавок. Бетони класифікують за різними показниками.

За густиною бетони поділяють на:

- особливо важкі ($\rho_0 \geq 2500 \text{ кг/м}^3$);
- важкі ($2200 < \rho_0 < 2500 \text{ кг/м}^3$);
- полегшені ($1800 < \rho_0 < 2200 \text{ кг/м}^3$);
- легкі ($1200 < \rho_0 < 1800 \text{ кг/м}^3$);
- особливо легкі ($500 < \rho_0 < 1200 \text{ кг/м}^3$).

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

За видом заповнювача бетони розрізняють:

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

Бетони в сучасному будівництві знайшли самий високий попит і займають найбільш поважне місце серед інших будівельних матеріалів, тому що мають наступні переваги:

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

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

Для того, щоб отримати бетон, який відповідає всім необхідним вимогам за місцем його використання, треба правильно підібрати вихідні компоненти, точно розрахувати склад бетонної суміші, вибрати раціональний спосіб його укладання, забезпечити належний догляд під час твердіння. Кожен компонент, який входить до складу бетону, впливає на його якість і довговічність, тому зроблені жорсткі вимоги до кожного із складових компонентів бетону.

Ці методичні вказівки дають можливість студентам під час вивчення курсу «Будівельне матеріалознавство» на лабораторних роботах ознайомитися з методиками оцінки якості заповнювачів бетону, бо вони за масою і об'ємом складають близько 80 % всього складу бетону, а також засвоїти методики розрахунку складів звичайного важкого цементного бетону і легкого ніздрюватого газобетону.

У кінці кожної лабораторної роботи є контрольні запитання, що допоможуть закріпити вивчений матеріал і підготують студента до самостійного виконання робіт. Для відповідей на контрольні запитання студенти використовують конспект лекцій, підручники, нормативну документацію. Завершенням роботи є звіт, що повинен включати: мету роботи, результати дослідів та їх аналіз, а також висновки

Лабораторна робота № 1

Оцінка якості заповнювачів бетонів

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

Заповнювачі дозволяють різко скоротити витрату цементу або інших в'язучих, що є найбільше дорогою і дефіцитною складовою частиною бетону.

Цементний камінь при твердінні зазнає об'ємних деформацій, через що виникають внутрішні напруження і тріщини. Усадка його досягає 0,02 мм/м. Заповнювач створює в бетоні жорсткий скелет, сприймає усадочні напруження і зменшує усадку звичайного бетону приблизно в 10 разів порівняно з усадкою цементного каменю.

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

Основними ознаками стандартизованої класифікації різноманітних заповнювачів для бетону (ГОСТ 25137) є: походження, крупність зерен, характер форми зерен, густина (табл. 1).

Таблиця 1- Класифікація заповнювачів для бетонів

Походження	Вид, крупність, характер форми зерен	Спосіб виробництва (опрацювання)
Щільні (істинна густина > 2000 кг/м³)		
Природні	Щебінь	Роздрібнення і сортування гірських скельних порід
	Гравій	Сортування гравійно-піщаної суміші
	Щебінь з гравію	Те ж, і роздрібнення
	Пісок: збагачений фракціонований	Гідромеханізований або екскаваторний видобуток
	з відсівів роздрібнення	Гідрокласифікація, класифікація, промивання, зневоднювання
	Декоративні щебінь І пісок	класифікація, промивання, зневоднювання
Природні відходи збагачення	Щебінь і пісок	Роздрібнення і сортування
З відходів промисловості	Щебінь з доменного шлаку	Те ж
Пористі (густина зерен < 2000 кг/м³)		
Природні	Щебінь і пісок з пористих гірських порід	Роздрібнення і сортування
З відходів промисловості	Щебінь і пісок з пористих шлаків, із цегельного бою Золо-шлакові суміші, грубодисперсні золи-виносу	Те ж
Штучні (спеціально приготвлені)	Керамзит-гравій, пісок і його різноманітності: глинозольний керамзит; шунгізит – гравій, пісок; зольний гравій; спучені аргіліт і трепел Азурит Термоліт – щебінь, гравій Аглопорит – щебінь, гравій і пісок Безвипальний зольний гравій (БЗГ) Жужільна пемза – щебінь (гравій), пісок Спучений перліт, щебінь (гравій), пісок	Неопрацьовані Випал із спучуванням підготовлених гранул (зерен) з природної сировини, відходів промисловості або їхньої суміші Підготування шихти плавленням, швидким охолодженням і помелом Випал без спучування Спінання при випалі підготовлених гранул піщано-глинистих порід, присків ТЕС, відходів вугілля збагачення Гідратаційне твердіння гранул із підготовленої суміші приску і в'язучого Поризація розплаву шлаків і охолодження Спучування при випалі підготовлених зерен із вулканічних порід

1. Дрібний заповнювач

Дрібний заповнювач для виготовлення бетону називають піском. Пісок для будівельних робіт повинен відповідати вимогам ДСТУ 8736-93. «Методи випробувань» (відповідно ГОСТ 8735-88). Піски – це уламкові осадові гірські породи або штучні продукти подрібнення гірських порід з розмірами зерен 0,16

- 5 мм. Найчастіше для одержання звичайних важких бетонів використовують кварцові піски. Щоб забезпечити кращу адгезію з в'язучою речовиною перевагу віддають піскам з гострими крайцями, тобто піски гірські, ярові. Для пісків, які використовують для звичайного бетону, існують такі вимоги:

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

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

- вміст органічних домішок теж обмежується і контролюється за кольором забарвлення розчину NaOH, в якому замочують пісок.

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

1.1. Визначення зернового (гранулометричного) складу й модуля крупності піску

Для визначення зернового складу використовують стандартний набір сит за ГОСТ 6613-83 з номерами № 10; 5; 2,5 1,25; 0,63; 0,315; 0,16. Сита розташовують на піддон у порядку знизу до верху від меншого до більшого.

Відібрану середню пробу піску вагою 1000 г просіюють через набір сит. Просіювання можна вважати закінченим, якщо при інтенсивному струшуванні кожного сита над аркушем паперу практично не спостерігається падіння зерен піску.

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

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100 \quad \% , \quad (1)$$

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 даного сита і всіх часткових залишків верхніх над ним, за формулою

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

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

Результати випробування заносять до табл. 2.

Таблиця 2 – Зерновий склад піску

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

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

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100} \quad (3)$$

За ДСТУ 10268 «Бетон важкий. Технічні вимоги до заповнювачів» модуль крупності піску повинен знаходитися в межах 1,5-3,25, причому для бетонів із межею міцності 20 МПа і вище модуль крупності піску має бути не менше 2, а для бетонів із межею міцності 35 МПа і вище - не менше 2,5. У табл. 3 наведені групи піску за крупністю зерен.

Таблиця 3 - Групи піску за крупністю зерен

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

Для оцінки зернового складу піску за результатами просіювання будують криву, яку порівнюють з граничними кривими графіка зернового складу дрібного заповнювача (рис. 1).

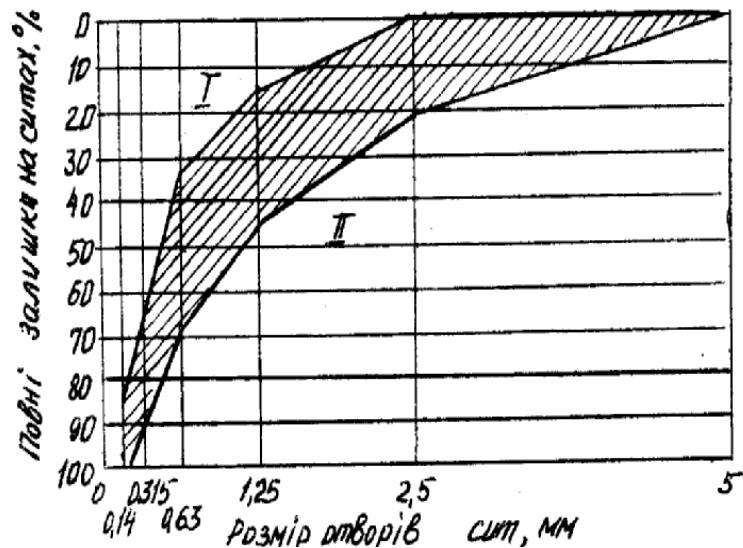



Рис. 1 - Графік зернового складу піску:

-  – область допустимих значень;
- I – область дрібних пісків;
- II – область крупних пісків.

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

1.2 Визначення вмісту органічних домішок

Вміст органічних домішок визначають колориметричною пробою.

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

Реактив _____

Колір рідини над піском _____

Колір еталону _____

Результат порівняння з еталоном _____

1.3. Визначення вмісту пілуватих, глинистих і мулистих часток у піску

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

1.3.1 Метод відмулення

Вміст пилюватих і глинистих часток визначають за зменшенням маси піску після відмулення часток крупністю до 0,05 мм. Для цього частину піску висушують до постійної маси і просіюють через сито з отворами розміром 5 мм. Пробу вагою 1000 г висипають у посуд об'ємом 2-2,5 л; заливають водою так, щоб висота стовбура води над піском була 20 см, і енергійно перемішують. Мутну воду зливають. Промивку піску повторюють, доки вода не стане прозорою. Пісок висушують до постійної маси.

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

$$O_{тм} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \% , \quad (4)$$

де $O_{тм}$ – вміст у піску відмулених часток, %; m_1 - проба піску, г; m_2 – маса чистого сухого піску, г.

1.3.2. Метод мокрого просіювання

Вміст пилюватих і глинистих часток визначають мокрим просіюванням піску і визначенням різниці за масою до і після випробування.

Випробування проводять за ГОСТ 8269-87, використовуючи наважку піску масою 1000 г і сито № 0315.

1.4. Визначення вологості піску

Проба вологого піску: $m_1 = 1000$ г.

Маса сухого піску: $m =$

Наважку масою 1000 г піску насипають на противень і зважують, потім висушують до постійної маси й знову зважують.

Вологість визначають порівнянням маси піску природної вологості і після висушування за формулою

$$W = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100\% , \quad (5)$$

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

1.5. Визначення насипної густини піску.

За методикою пісок насипають у металевий циліндр (ємністю 1 л), який попередньо зважують. Циліндр заповнюють матеріалом, використовуючи стандартний конус (рис. 2) з надлишком, який зрізають лінійкою і повторно зважують.

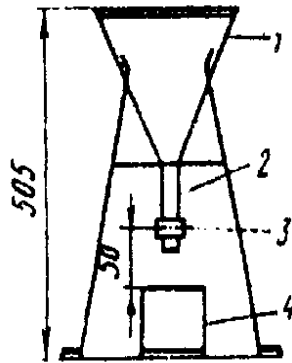


Рис. 2 - Стандартний конус

Насипну густину піску визначають за формулою

$$\rho_{\text{он}} = (m_2 - m_1)/V, \quad (6)$$

де m_1 - маса циліндра, г; m_2 - маса циліндра з матеріалом, г; V - об'єм циліндра, см³.

2. Крупний заповнювач

До крупного заповнювача відносять гравій (пухкий матеріал - продукт природного руйнування гірських порід) або щебінь (продукт подрібнення гірських порід) з розмірами зерен 70 – 5 (3) мм. Максимальна крупність може досягати 150 мм (для великих об'ємних конструкцій). Найбільшу перевагу мають малоокаті щибеневі зерна з шорсткою поверхнею. Максимальну крупність зерна заповнювача визначають залежно від розміру бетонної конструкції (не більше 1/4 мінімального розміру перерізу конструкції).

2.1 Визначення зернового складу

Для визначення зернового складу крупного заповнювача використовують стандартний набір сит з круглими отворами діаметром 5; 10; 20; 40; 70 мм.

Масу проби заповнювача беруть залежно від розміру зерен щебеню (гравію). При величині зерен до 10, 20, 40, 70 мм і більше маса проби відповідно

складає 5, 10, 20, 30 і 50 кг. Після просіювання залишки на кожному ситі зважують, визначаючи тим самим часткові залишки (a_i) у грамах, а потім у відсотках від маси проби. Після цього визначають повні залишки (A_i) на кожному ситі за формулами, які застосовувались при просіюванні дрібного заповнювача.

Дані визначення зернового складу крупного заповнювача заносять до табл. 4.

Таблиця 4 – Ситовий аналіз щебеню

Номер сита	Часткові залишки, a_i		Повні залишки, A_i , %
	г	%	
70			
40			
20			
10			
5			

За даними ситового аналізу криву просіювання наносять на стандартний графік (рис. 3).

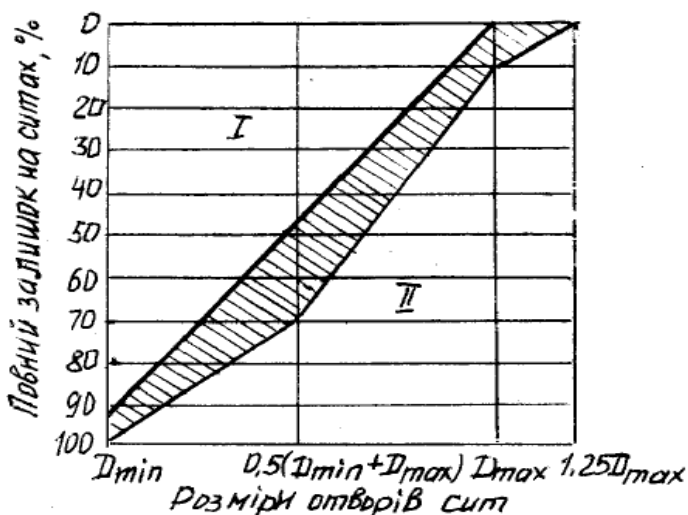


Рис. 3 - Графік зернового складу щебеню (гравію):

▨ – область припустимих значень; I – область дрібного щебеню (гравію); II – область крупного щебеню (гравію).

На осі абсцис графіка відкладають номери сит, що відповідають розмірам отворів сит у міліметрах, на осі ординат – величини повних залишків у відсотках. Якість зернового складу щебеню (гравію) оцінюють за значеннями повних залишків у % на ситах з контрольними отворами D_{min} , $0,5(D_{max} + D_{min})$, $1,25D_{max}$. Найбільша D_{max} і найменша D_{min} крупність щебеню (гравію) характеризується розмірами отворів сит, повні залишки на яких складають відповідно 95 (D_{min}) і 5 (D_{max}) %. На підставі отриманих результатів роблять висновок про крупність крупного заповнювача.

2.2. Визначення насипної густини щебеню (гравію)

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

$$\rho_{он.} = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (7)$$

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

2.3. Визначення істинної густини гранітного крупного заповнювача.

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

Розрахунки ведуть за формулою

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (8)$$

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

2.4. Визначення пустотності крупного заповнювача

Міжзерною пустотністю заповнювача називають виражене у відсотках відношення об'єму міжзернових пустот до всього об'єму, який займає заповнювач

у пухкому стані при вільному засипанні (без ущільнення). Пустотність – дуже важлива характеристика заповнювача. У щільному конструкційному бетоні всі порожнини повинні бути заповнені цементним тістом. Тому чим менша порожність заповнювача, тим менша витрата цементу при приготуванні бетону. У крупнопористому бетоні, навпаки, бажана підвищена порожність заповнювача.

Пустотність залежить від форми зерен заповнювача і зернового (гранулометричного) складу. Порожність визначають за формулою

$$P = (1 - \rho_{\text{он}} / \rho) \cdot 100 \% \quad (9)$$

2.5. Визначення вмісту в щебені пластинчастих і голчастих часточок

У чинних стандартах прийнято оцінювати форму зерен заповнювачів співвідношенням їхніх розмірів. Так, за ГОСТ 8269 визначають вміст у пробі щебеню або гравію пластинчастих (лещадних) і голчастих зерен, товщина або ширина яких менше довжини в 3 рази і більше. Вперше вплив форми і розмірів зерен заповнювача на щільність бетону показав Б. Миколаєв у роботі «Склад розчинів і бетонів залежно від розмірів і форми зерен матеріалів» у 1914 р.

У табл. 5 наведені результати розрахунків порожності для різноманітних правильних багатогранників і проток (за Б. Миколаєвим).

Таблиця 5- Порожність сипкого матеріалу залежно від форми зерен

Форма зерен	Порожність		
	найбільш щільна	середня	найменш щільна
Куби	0	43,55	87,1
Октаедри	12,1	48,05	83,9
Додекаедри	14,1	37,4	60,7
Ікосаедри	10,3	35,1	59,9
Протоки	26,2	36,9	47,6

Він показав, що найменш щільна укладка зерен буде, якщо укласти заповнювач рядами так, щоб лінії, які з'єднують їхні центри, утворили куби (рис. 4, а), а найбільш щільна відповідає такому взаємному розташуванню, коли лінії, що з'єднують їхні центри, утворять тетраедри (рис. 4, б).

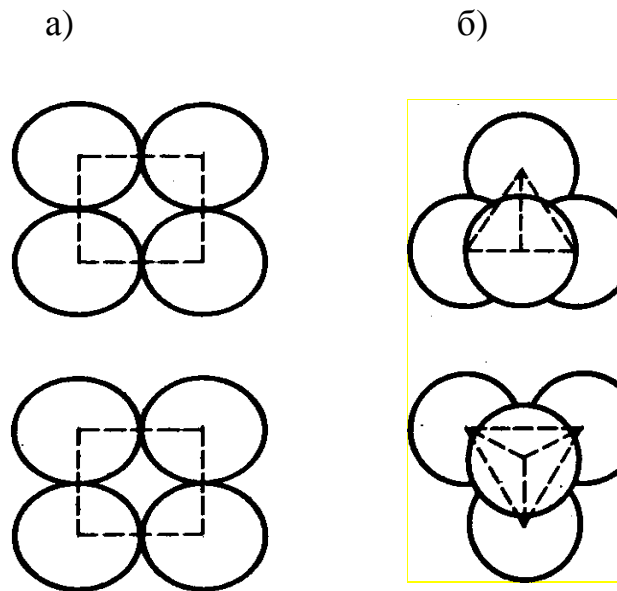


Рис 4 - Варіанти укладки заповнювача (у проекціях):

а) найменша щільність; б) найбільша щільність.

При виконанні експерименту достатньо розглянути найбільшу фракцію щебеню, отриману попереднім просіюванням.

Результати досліду записують у такій формі:

1. Назва матеріалу _____
2. Маса проби m , г _____
3. Маса зерен пластинчастої і голчастої форми m_1 , г _____
4. Формула визначення вмісту зерен пластинчастої та голчастої форми

$$Q_{nz} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot 100 \% . \quad (10)$$

5. Вміст пластинчастих і голчастих зерен, %: _____

У висновку порівнюють отримані показники якості піску і щебеню з вимогами стандартів і дають рекомендації щодо їх використання.

Контрольні питання для самостійної перевірки знань:

1. Наведіть вимоги до заповнювачів для бетонів?
2. Як визначити зерновий склад піску і щебеню?
3. Наведіть методику визначення вмісту органічних домішок у піску.
4. Наведіть методику визначення пластинчастих і голчастих зерен у щебені.

Лабораторна робота № 2

Проектування складу важкого бетону

Бетоном називають штучні камені, які одержують внаслідок затвердіння раціонально підібраної суміші, що складається з в'язучої речовини, крупного й дрібного заповнювачів, води і деяких добавок. Для того, щоб бетон мав всі необхідні властивості, треба ретельно підібрати вихідні компоненти і їх співвідношення.

При проектуванні бетонних і залізобетонних конструкцій призначають необхідні характеристики бетону, такі як клас (марку) за міцністю, марку за морозостійкістю і водонепроникністю. За проектну *марку бетону* за міцністю при стиску приймають величину, що відповідає опору стиску (МПа) зразків-кубів з ребром 15 см, віком 28 діб.

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

За міцністю бетони поділяють на такі класи: В1; В2; В2,5: 33,5; В7,5; В10, В 12,5; В15; В20; В25; В30; В40; В45; В50: В55: В60. За морозостійкістю важкі бетони поділяють на такі марки: F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800, F1000 (проектну марку призначають за умовами експлуатації). Для конструкцій, від яких вимагають непроникності встановлені марки з водонепроникністю: W2, W4, W6, W8, W10, W12.

До моменту затвердіння бетону його називають бетонною сумішшю. Ці суміші відносять до структурованих систем, тому що до їх складу входить цементне тісто. Для виконання бетонних робіт необхідно, щоб бетонна суміш мала необхідну консистенцію, відповідну умовам її укладання. Мірою консистенції є так звана легкоукладальність – здатність бетонної суміші заповнювати форму чи опалубку з найменшими затратами зовнішньої енергії. Звичайно консистенцію бетонної суміші оцінюють показником рухливості (см), або жорсткості бетонної суміші (с). Мірою рухливості є величина осадки суміші, яку визнача-

ють за допомогою стандартного конуса. Якщо суміш після зняття конуса не осідає, тобто ОК = 0 см, то використовують прилад для визначення жорсткості.

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

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

де Ц, П, Щ, В – витрати відповідно цементу, піску, щебеню, води, кг на 1 м³ бетонної суміші; $\rho_{ц}$, $\rho_{п}$, $\rho_{щ}$, $\rho_{в}$ – істинна густина цих компонентів, кг/ м³.

Порядок розрахунку

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

Таблиця 1 – Вихідні дані

№ п/п	Найменування показників, одиниця виміру	Позначення показника	Значення
1	Клас бетону, МПа	В	
2	Легкоукладальність суміші, см	ОК	
3	Властивості в'язучого: - активність цементу - істинна густина, кг/м ³ - насипна густина, кг/м ³	$R_{ц}$ $\rho_{ц}$ $\rho_{н.ц.}$	
4	Властивості дрібного заповнювача: - модуль крупності піску - істинна густина піску, кг/м ³ - насипна густина піску, кг/м ³ - вологість піску, %	$M_{к}$ $\rho_{п}$ $\rho_{н.п.}$ $W_{п}$	
5	Властивості крупного заповнювача - крупність зерна, мм - істинна густина, кг/м ³ - насипна густина, кг/м ³ - вологість, %	$\rho_{к}$ $\rho_{н.к.}$ $W_{к}$	
6	Об'єм бетонозмішувача, м ³	$V_{б}$	

При статистичному контролі якості бетону його склад проектують за міцністю R_6^T :

$$R_6^T = \frac{1,28 \cdot B \cdot K_T}{100}, \quad (2)$$

де K_T – коефіцієнт потрібної міцності, беруть $K_T = 100$.

Витрати води (В) визначають орієнтовно за табл. 2 або за графіком проф. Миронова, складеним за експериментальними даними, залежно від заданої легкоукладальності бетонної суміші і крупності зерен крупного заповнювача (Щ).

Таблиця 2 - Водопотреба бетонної суміші

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

Примітки:

1. Витрати води для суміші на портландцементі з НГЦТ 26-28 % і на піску з $M_{кр} = 2,5$.
2. При зміні НГЦТ на кожний процент витрати води змінюються на 3-5 л/м³.
3. При зміні модуля крупності піску на кожні 0,5 в меншу або більшу сторону витрати води відповідно зменшуються або збільшуються на 3-5 л.

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

$$Ц = V_{од} (Ц/V_{од}), \quad (3)$$

де $V_{од}$ - витрати води, л;

$Ц/V_{од}$ - цементно-водне відношення, визначають за формулою міцності бетону Болемея – Скрамтаєва (3), (4):

$$R_6^T = R_{ц} \cdot A(Ц/V - 0,5) \text{ при } Ц/V < 2,5; \quad (4)$$

$$R_6^T = R_{ц} \cdot A_1(Ц/V + 0,5) \text{ при } Ц/V > 2,5, \quad (5)$$

де R_6^T – необхідна міцність бетону у віці 28 діб, МПа;

R_c - активність цементу, МПа;

A, A_1 - коефіцієнти, що залежать від якості складових матеріалів (визначають за табл. 3).

Таблиця 3 - Коефіцієнти якості заповнювачів

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

Витрату крупного заповнювача знаходять відповідно до емпіричної залежності

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\frac{V_{\text{пуст}} \cdot K_{\text{разд}}}{\rho_{\text{н.щ.}}} + \frac{1}{\rho_{\text{ц}}}}, \quad (6)$$

де $V_{\text{пуст}}$ – відносний об’єм пустот (пустотність) крупного заповнювача;

$K_{\text{разд}}$ – коефіцієнт розсунення зерен щебеню (визначається за табл. 4) залежно від витрати цементу і В/Ц.

Таблиця 3 – Коефіцієнт розсунання

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

Витрату піску визначають з рівняння принципу абсолютних об’ємів:

$$\text{П} = \left[1000 - \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} - \text{В} - \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ}}} \right] \cdot \rho_{\text{п.}} \quad (7)$$

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

$$\rho_{об} = (Ц + П + Щ + В), \text{ кг/м}^3. \quad (8)$$

Склад бетону можна представити і у відносних одиницях:

$$1: В/Ц : П/Ц : Щ/Ц.$$

Уточнення розрахунків складу бетону

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

Для перевірки відповідності фактичної міцності бетону необхідній з пробного замісу виготовляють 3 стандартних зразки-куби з ребром 15 см і випробовують їх відповідно до ДСТУ.

Розрахунок виробничого складу бетону

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

$$В_{щ} = W_{щ} \cdot Щ/100; \quad (9)$$

$$В_{п} = W_{п} \cdot П/100, \quad (10)$$

де $W_{щ}$, $W_{п}$ - вологість щебеню і піску, %.

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

$$В_{вз} = В - (В_{щ} + В_{п}). \quad (11)$$

Відповідно збільшуються витрати заповнювачів.

Розрахунок витрати вихідних матеріалів на заміс бетонозмішувача

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

$$V_{бз} = V_{ц} + V_{п} + V_{щ}. \quad (12)$$

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:

$$\beta = \frac{1}{V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}} = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{\text{ониц}}} + \frac{П}{\rho_{\text{онп}}} + \frac{Щ}{\rho_{\text{ониц}}}} = 0,55-0,75. \quad (13)$$

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

$$V_{\text{б}} = \beta \cdot V_{\text{бз}}. \quad (14)$$

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

$$Ц = \frac{\beta \cdot V_{\text{бз}}}{1000} \cdot Ц; \quad (15)$$

$$П = \frac{\beta \cdot V_{\text{бз}}}{1000} \cdot П; \quad (16)$$

$$Щ = \frac{\beta \cdot V_{\text{бз}}}{1000} \cdot Щ; \quad (17)$$

$$В = \frac{\beta \cdot V_{\text{бз}}}{1000} \cdot В, \quad (18)$$

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

Контрольні питання для самостійної перевірки знань:

1. Дати визначення бетону.
2. Навести класифікацію бетонів.
3. Навести послідовність розрахунку складу бетону.
4. Що таке марка і клас бетону?
5. Як визначають рухливість бетонної суміші?
6. У чому різниця між лабораторним й виробничим складом бетону?

Лабораторна робота №3

Проектування складу цементного газобетону

Мета даної лабораторної роботи – підбір складу ніздрюватого цементного газобетону із заданими властивостями і визначення його якісних показників.

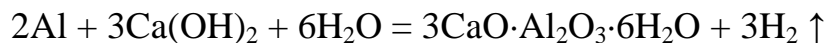
Ніздрюватими бетонами називають штучні кам'яні матеріали, які одержують внаслідок твердіння попередньо спученої суміші, що складається з в'язучої речовини, кремнеземистого компоненту і води.

За призначенням ніздрюваті бетони поділяють на:

- конструкційні ($1000 < \rho_0 \leq 1200 \text{ кг/м}^3$);
- конструкційно-теплоізоляційні ($600 < \rho_0 \leq 900 \text{ кг/м}^3$);
- теплоізоляційні ($300 < \rho_0 \leq 500 \text{ кг/м}^3$).

За способом одержання ніздрюваті бетони поділяють на:

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



За умовами твердіння ніздрюваті бетони поділяють на:

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

У ніздрюватих бетонах застосовують в'язучі: портландцемент (М400, М500), молоте негашене вапно, гіпс.

Показником якості ніздрюватих бетонів є класи за міцністю (В1,5; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10) й середньою густиною (D 300-500 – для теплоізоляційних; D 600-900 – для конструкційно-теплоізоляційних; D 1000 –1200 для конструкційних). Основні властивості ніздрюватих бетонів наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Основні властивості ніздрюватих бетонів

Властивості	Марка за густиною					
	D600	D700	D800	D900	D1000	D1100
Клас за міцністю на стиск, МПа	B1,5	B2,5	B3,5	B5	B7,5	B10
Пористість, %	79	70	67	63	60	56
Теплопровідність (у сухому стані), Вт/(м·°С)	0,14	0,16	0,2	0,23	0,25	0,3
Водопоглинання протягом 72 год (за об'ємом), %	28	30	33	35	38	40
Початковий модуль пружності, МПа	1700	2500	3800	5000	7500	10000

Порядок розрахунку

Мета розрахунку – одержання ніздрюватого бетону на цементному в'язучому заданої міцності й густини при раціональних витратах компонентів. Вихідні дані для проведення розрахунків наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Вихідні дані

№ п/п	Найменування показників, одиниця виміру	Позначення показника	Значення
1	Клас бетону за густиною, кг/м ³	D	
2	Клас бетону за міцністю	B	
3	Властивості в'язучого: - активність цементу - істинна густина, кг/м ³ - насипна густина, кг/м ³	R _ц ρ _ц ρ _{н.ц.}	
4	Властивості кремнеземистого компоненту: - істинна густина піску, кг/м ³ - насипна густина піску, кг/м ³	ρ _п ρ _{н.п.}	
5	Алюмінієва пудра: - газоутворююча здатність, кг/л	H	

1. Встановлюють співвідношення між кількістю в'язучого і кварцового піску в залежності від середньої густини ніздрюватого бетону за табл. 3.

2. Встановлюють **витрату цементу**, кг

$$Ц = \frac{\rho_0}{K_1(a + b)},$$

де ρ_0 – середня густина газобетону, $\text{кг}/\text{м}^3$;

K_1 – коефіцієнт, що враховує частину зв'язаної води в бетоні (приймають за табл. 3);

a, b – частини співвідношення в'язучого і кварцового піску (визначають за табл. 3).

3. Визначають **витрату кварцового піску**, кг

$$П = Ц \cdot b,$$

де b - частина кварцового піску (з табл. 3).

4. Визначають **витрату води** на 1 м^3 газобетону за формулою

$$В = \frac{\rho_0}{K_1} \cdot В/Т,$$

де $В/Т$ назначають залежно від середньої густини газобетону за табл. 3.

5. **Витрату газоутворювача** на 1 м^3 газобетону назначають залежно від середньої густини бетону і газоутворюючої здатності газоутворювача (H):

$$A = \frac{V_{\text{п}}}{K_2 \cdot H},$$

де A – витрата газоутворювача, кг ;

K_2 – коефіцієнт використання робочої здатності газоутворювача (визначають за табл. 3);

H - газоутворююча здатність газоутворювача (визначають за табл. 4);

$V_{\text{п}}$ – об'єм пор газобетону, л.

Об'єм пор газобетону визначають за формулою

$$V_{\text{п}} = 1000 - \left[\frac{Ц}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{П}{\rho_{\text{п}}} + \frac{В}{\rho_{\text{в}}} \right],$$

де $Ц, П, В$ – витрати відповідно в'язучого, піску і води на 1 м^3 , кг ;

$\rho_{\text{ц}}, \rho_{\text{п}}, \rho_{\text{в}}$ – густина відповідних компонентів газобетону, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Таблиця 4 – Газоутворююча здатність газоутворювача

$T, ^\circ\text{C}$	0	40	45	50
$H, \text{л}/\text{кг}$	1254	1390	1460	1480

Порядок виготовлення зразків з газобетону

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

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

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

Форми заливають не повністю, а так, щоб залишити вільний об'єм для спучування газобетону. Залежно від густини бетону висота спучування буде різною (табл. 5).

Таблиця 5 – Залежність висоти спучування газобетонної суміші від густини

Властивість бетону	Густина, кг/м ³							
	300-400	500	600	700	800	900	1000	1100-1200
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 (горбушку) зрізають ножом через 3-4 год. Для прискорення твердіння форми з газобетоном вміщують до пропарки при $T = 90 \pm 5$ °С на 14-18 год.

Визначення властивостей цементного газобетону

1. **Г у с т и н у** газобетону визначають шляхом випробування зразків з природною вологістю за ГОСТ 12730.1-78. Виготовляють зразки-куби з довжиною ребра 10 см, витримують 28 діб при $T = 25 \pm 10^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості повітря $50 \pm 20\%$. Густина знаходять за формулою

$$\rho_o = \frac{m}{V} \cdot 1000,$$

де m – маса зразка, г; V – об'єм зразка, см^3 .

2. **В о л о г і с т ь** газобетону за масою визначають з похибкою до 0,1 % за формулою

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

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

3. **М і ц н і с т ь** газобетону при стиску визначають при випробуванні серії зразків-кубів у кількості не менше 3 штук, висушених до постійної маси. Міцність визначають з точністю до 0,1 МПа за формулою

$$R = \alpha \cdot K_w \cdot \frac{F}{A},$$

де α – масштабний коефіцієнт:

при $\rho_o < 400 \text{ кг/м}^3$ $\alpha = 1,0$ незалежно від розмірів зразка;

при $\rho_o \geq 400 \text{ кг/м}^3$ $\alpha = 0,90$ для зразків з розмірами $7,07 \times 7,07 \times 7,07 \text{ см}$;

при $\rho_o \geq 400 \text{ кг/м}^3$ $\alpha = 0,95$ для зразків з розмірами $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$;

F – руйнівне навантаження, кгс;

A – площа перерізу зразка, см^2 ;

K_w – погоджувальний коефіцієнт для ніздрюватого бетону залежно від вологості зразка (приймають за даними табл. 6).

Таблиця 6 – Коефіцієнт міцності ніздрюватого бетону K_w

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

Контрольні питання для самостійної перевірки знань.

1. Які бетони називають ніздрюватими?
2. За якими ознаками класифікують ніздрюваті бетони?
3. Назвати основні властивості ніздрюватих бетонів.
4. Який показник визначає якість ніздрюватих бетонів?
5. Як визначають міцність ніздрюватих бетонів?

Список літератури

1. Ицкович С. М. Заполнители для бетона. – Минск: Вышэйш. шк., 1983. – 214 с.
2. Искусственные пористые заполнители и бетоны на их основе: Справ. пособие/ Под ред. проф. Ю.П. Горлова. – М.: Стройиздат, 1987. – 302 с.
3. Онацкий С.П. Производство керамзита. – М.: Стройиздат, 1987. – 335 с.
4. Фокин Г.С., Кондращенко Е.В. Справочник строителя. – Харьков: Алеф Инфотрейд, 2008. – 425 с.
5. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М: Стройиздат, 1978. – 455 с.
6. Захарченко П.В., Долгий Е.М., Галаган Ю.О. та ін. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали. – К.: Інтертехнологія, 2005. – 511 с.
7. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения . – СПб: ООО Строй бетон, 2006. – 689 с.
8. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. – М.:Стройиздат, 1986.
9. СН 2706-80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. – М.: Стройиздат, 1981.
10. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт «Оцінка якості заповнювачів для бетонів», «Проектування складу важкого бетону», «Проектування складу цементного газобетону» з курсу "Будівельне матеріалознавство" (для студентів 2 курсу напряму підготовки 6.060101 «Будівництво»).

Укладачі: Олена Володимирівна Кондращенко,
Володимир Андрійович Юшко

Редактор: М.З. Аляб'єв

План 2009, поз. 94М

Підп. до друку 23.02.2009	Формат 60x84 1/6	Папір офісний
Друк на ризографі.	Умовн.-друк. арк.1,5	Обл.-вид. арк. 1,8
Замовл. №_____	Тираж 200 прим.	

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12

Сектор оперативної поліграфії ЦНІТ ХНАМГ
61002, Харків, вул. Революції, 12
