

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

БЕТОНИ І БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів, які навчаються за спеціальністю
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
спеціалізація «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»

Київ 2020

УДК 691.32 (075.8)
Б54

Укладачі: В.І. Гоц, д-р. техн. наук, професор
О.В. Ластівка, канд. техн. наук, доцент

Рецензент А.А. Майстренко, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск В.І. Гоц, д-р. техн. наук, професор

В авторській редакції

Затверджено на засіданні кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, протокол № від

Бетони і будівельні розчини: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / Б54 уклад.: В.І. Гоц, О.В. Ластівка. – Київ: КНУБА, 2020. – 30 с.

Розглянуто зміст і порядок виконання лабораторних робіт. Показано основні методики випробувань, передбачених нормативними документами.

Призначено для студентів, які навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізація «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»

© КНУБА, 2020

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Мета лабораторних робіт з дисципліни "Бетони і будівельні розчини" закріпити та поглибити знання, одержані студентами в процесі вивчення теоретичного курсу, прищепити студентам навички виконання експериментальних досліджень, застосування лабораторного обладнання та вимірювальної техніки, обробки та оформлення результатів дослідження.

Інформаційною базою для виконання лабораторних робіт є матеріал лекцій, підручники, учбові посібники та рекомендовані до самостійного вивчення літературні та нормативно-довідникові джерела, державні стандарти, інструкції та рекомендації, які пов'язані із застосуванням бетонів і розчинів в будівництві.

Для виконання лабораторних робіт академічну групу ділять на 4 - 5 бригад, кожна з яких виконує роботу відповідно завданню, що видає викладач.

Завдання на кожну наступну роботу студенти отримують на попередньому занятті для того, щоб мати час самостійно підготуватися по даній темі. На початку кожного заняття викладач перевіряє як студенти засвоїли матеріал курсу з даної теми.

Кожна лабораторна робота складається з таких трьох частин:

- теоретична підготовка, виконання необхідних розрахунків;
- експериментальна частина;
- аналітична частина, що включає одержання результатів експериментальних досліджень і випробувань, їх обробку, формулювання висновків та захист роботи.

Закінчену роботу студенти оформляють відповідно вимогам даних методичних вказівок і подають до захисту.

Студенти, які не захистили попередню роботу, до виконання наступної не допускаються.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Технологія отримання та визначення властивостей бетонної суміші. Визначення середньої міцності та класу бетону

Мета роботи – є засвоєння методики визначення властивостей бетонної суміші і бетону. Завдання роботи – визначити легкоукладальність, середню густину, об'єм втягнутого в бетонну суміш повітря, коефіцієнт ущільнення бетонної суміші, середню міцність і клас бетону.

Прилади, обладнання та матеріали:

- портландцемент;
- щебінь гранітний фракції 5...20 мм;
- пісок кварцовий;
- вода;
- пластифікуючі добавки;
- ваги технічні;
- стандартний конус для вимірювання рухливості бетонної суміші, металева плита та блокувальне арматурне кільце з металевими стержнями для визначення розпливання конуса бетонних сумішей, здатних до самоущільнення, а також спеціальний прилад (установка типу Вебе або прилад Красного) для вимірювання її жорсткості у комплекті з лабораторним стандартним вібростолом;
- металічна лінійка та сталевий прут (стержень) діаметром 16 мм і довжиною 600 мм із заокругленими кінцями;
- лабораторний бетонозмішувач;
- штангенциркуль;
- металічні форми для виготовлення бетонних кубів розмірами 100x100x100 мм;
- гідравлічний прес для випробування міцності бетону на стиск;
- лабораторна пропарювальна камера.

Короткі теоретичні відомості та методика виконання

Бетонна суміш являє собою багатокомпонентну систему, що складається з частинок в'язучого, новоутворень, які виникають при взаємодії в'язучого з водою, зерен заповнювача, води, введених в ряді випадків спеціальних добавок, втягнутого повітря. В результаті наявності взаємодії між дисперсними частинками твердої фази і води ця система може розглядатися як єдине фізичне тіло з

визначеними фізичними і хімічними властивостями. Ще до початку тужавіння і твердіння в'язучого бетонна суміш утворює просторові структури, яким притаманна пластична міцність і які не змінюють свого стану без застосування енергетичного впливу зовні.

Основну структуроутворювачу роль в бетонній суміші виконує цементне тісто - тонкодисперсна система, яка складається з твердих частинок в'язучого, спеціально введених тонкомолотих добавок, пилоподібних глинистих домішок в заповнювачах і води. Завдяки величезній площі поверхні розподілу фаз, між частинками виникають сили молекулярного впливу, капілярні сили поверхневого натягу, внутрішнього тертя і т.п. Сили капілярної взаємодії спричиняють стиснення системи, що підвищує зв'язаність і сприяє утворенню умов для пластичної деформації (без розривів і тріщин), а також підвищенню однорідності суміші. До певного значення водомісткості суміш не розшаровується, що залежить від водоутримуючої здатності в'язучого та інших тонкодисперсних компонентів.

В результаті дії цих внутрішніх сил формуються фізико-механічні властивості бетонної суміші, що характеризують її як об'єкт технологічних дій в процесі приготування, транспортування, ущільнення і формозмінення. Бетонні суміші характеризуються широким діапазоном зміни властивостей: залежно від складу, якостей компонентів і, особливо, від водоутримання бетонної суміші, вони бувають різноманітної консистенції і умовно поділяються на високорухливі, рухливі і жорсткі.

Для оцінки технологічних властивостей бетонної суміші в виробничих умовах користуються методами кількісного визначення міри рухливості, розпливання конуса і жорсткості суміші по ДСТУ Б В.2.7-114-2002 та ДСТУ -Н Б В.2.7-299-2013.

Визначення рухливості бетонної суміші. Усічений конус із листової сталі товщиною 1 мм, відкритий з обох сторін, має висоту 300 мм, діаметр нижньої основи 200 мм і верхньої 100 мм [2, 4, 12, 13]. Внутрішню поверхню форми-конуса і піддон перед випробуванням змочують водою. Потім конус встановлюють на піддон і заповнюють бетонною сумішшю, яка випробовується в три прийоми (шарами), при ущільненні суміші штикуванням - по 25 разів кожний шар.

Після ущільнення бетонної суміші насадку для завантаження знімають і

надлишок суміші зрізають кельмою врівень з верхніми краями конуса. Потім конус плавно знімають з відформованої суміші, піднімаючи його за ручки вертикально вгору, і ставлять поряд з нею. Осідання конуса (ОК) визначають, укладаючи металеву лінійку ребром на верх конуса і вимірюючи відстань від нижньої грані лінійки до верху бетонної суміші з точністю до 0,5 см.

Осідання конуса бетонної суміші вираховують з точністю до 1 см, як середнє арифметичне результатів двох визначень із однієї проби (рис.1).

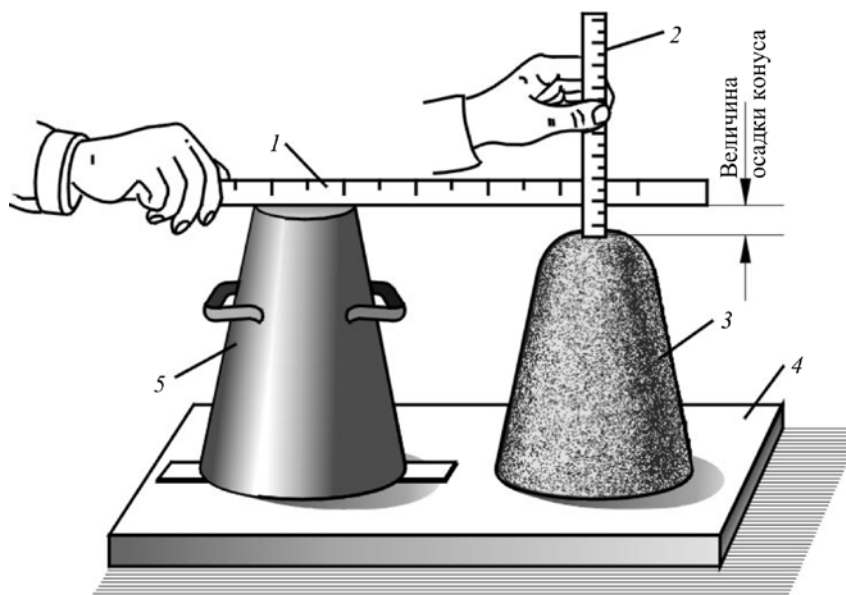


Рис. 1. Вимірювання осадки конуса бетонної суміші: 1- допоміжна лінійка, 2 – лінійка для вимірювання осадки конуса, 3 – конус бетонної суміші після підйому форми-конуса, 4 – металевий лист, 5-металева форма-конус

Якщо найбільша крупність заповнювача перевищує 40 мм, для визначення рухливості використовують збільшений конус висотою 450, діаметром нижньої основи 300 мм і верхньої основи 150 мм. Кількість штикувань в цьому випадку - 56 разів для кожного шару.

Якщо осідання конуса бетонної суміші дорівнюватиме нулю, суміш визначається як така, якій не властива рухливість, і повинна характеризуватися жорсткістю, що визначається за відповідною методикою.

Визначення розпливання конуса бетонної суміші. Розпливання конуса бетонної суміші (РК) оцінюють за нижнім діаметром коржа (у см), який утворився в результаті розпливання бетонної суміші при визначенні рухливості за

осадкою нормального конуса.

Розпливання конуса бетонної суміші визначають вимірюванням металевою лінійкою діаметра коржа, який розплився, у двох взаємно перпендикулярних напрямках з похибкою не більше 0,5 см.

Для імітації наявності в бетонній суміші арматурних стержнів при проведенні випробувань розпливання конуса бетонних сумішей, які самоущільнюються, в центрі металевої плити встановлюється блокувальне кільце діаметром 300 мм з металевими стержнями завдовжки 125 мм і діаметром 18 або 14 мм, при числі стержнів 22 і 28 шт, відповідно (рис. 2). Число стержнів у блокувальному кільці залежить від крупності заповнювача і може змінюватись від 10 до 28 шт.

Перевернутий конус заповнюється свіжоприготовленою бетонною сумішшю без ущільнення і після підняття конуса секундоміром фіксується час досягнення бетонною сумішшю діаметра розпливу не менше 500 мм. Після завершення розтікання (рис. 2) визначається діаметр розпливу бетонної суміші в двох перпендикулярних напрямках. При здійсненні цих вимірювань результати повинні відрізнитись між собою не більше ніж на 30 мм. Середнє арифметичне значення розпливу конуса обчислюється з двох вимірювань в мм.

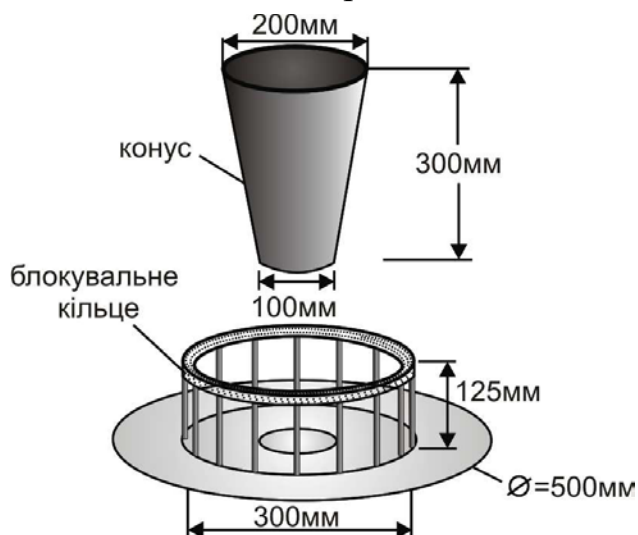


Рис. 2. Схема і розміри лабораторного обладнання для визначення розпливу конуса бетонних сумішей, здатних до самоущільнення

При проведенні випробувань із блокувальним кільцем максимальний діаметр розпливу конуса бетонної суміші повинен бути не менше 650 мм, без блокувального кільця – 700 мм. Час досягнення діаметра 500 мм повинен знахо-

дитись в діапазоні від 3 до 6 с, загальний час розтікання – більше 45 с.

Якщо осадка і розплив конуса буде дорівнювати нулю, то суміш вважають нерухливою (жорсткою) і її легкоукладальність повинна характеризуватися жорсткістю, яка визначається за відповідною методикою.

Визначення жорсткості суміші. Жорсткість бетонної суміші (Ж) характеризується часом вібрації в секундах, потрібним для вирівнювання і ущільнення попередньо сформованого конуса бетонної суміші з використанням приладу «Вебе» для визначення жорсткості (рис. 3). Загальна маса диска, штанги і шайби приладу повинна бути (2750 ± 50) г. Диск має отвори діаметром 10 мм. Прилад встановлюють і жорстко закріплюють на лабораторному вібростолі, який створює вертикально направлені коливання з частотою (2900 ± 100) коливань за хвилину і амплітудою $(0,5 \pm 0,01)$ мм. Фланець циліндричного кільця приладу повинен щільно прилягати до поверхні вібростола, щоб запобігти витіканню цементного тіста.

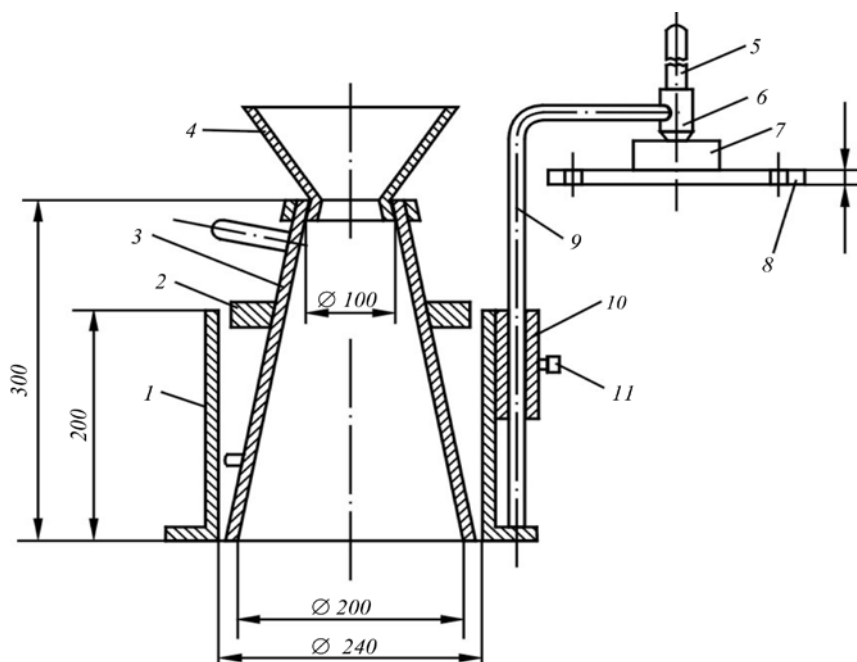


Рис. 3. Схема приладу «Вебе» для визначення жорсткості бетонної суміші: 1 – циліндр з флянцем, 2 – кільце тримач з ручками, 3 – форма-конуса, 4 – завантажувальна лійка, 5-штанга, 6 – напрямна втулка, 7 – втулка диска, 8 – диск з шістьма отворами, 9 – штатив, 10 – втулка штатива, 11 – затискач штатива.

Випробування виконують у такій послідовності. Встановлюють і жорстко закріплюють за фланці циліндричне кільце 1 приладу на вібростолі. В кільце вставляють конус 3 і закріплюють його ручками 2, заводячи їх у пази кільця,

після чого встановлюють завантажувальну лійку 4. Заповнення конуса приладу бетонною сумішшю, ущільнення її і знімання конуса із сформованої суміші виконують так, як і при визначенні рухливості бетонної суміші. Потім звільняють штангу 5, поворотом штатива 9 диск 8 встановлюють над сформованим конусом бетонної суміші і плавно опускають його на поверхню конуса суміші.

Штатив закріплюють у втулці 10 затискним гвинтом 11 і вмикають одночасно вібростіл і секундомір, спостерігаючи за вирівнюванням і ущільненням бетонної суміші під диском, що опускається. Вібрування продовжується доти, доки не почнеться виділення цементного тіста із будь-яких двох отворів диска. У цей момент вимикають секундомір і вібростіл. Тривалість вібрування в секундах і характеризує жорсткість бетонної суміші.

Випробування проводять двічі. Жорсткість бетонної суміші визначають з округленням до 1 с як середнє арифметичне двох визначень з однієї проби суміші, які різняться між собою не більш як на 20 %. При більшій розбіжності результатів випробування повторюють на іншій пробі бетонної суміші.

Визначення середньої густини бетонної суміші.

Перед випробуванням мірну посудину 1000...5000 см³ зважують з похибкою не більше 1 г. Далі бетонну суміш укладають в мірну посудину і ущільнюють у відповідності до ДСТУ Б В.2.7-214:2009, у залежності від легкоукладальності суміші. Після ущільнення надлишок суміші зрізають сталевною лінійкою і поверхню ретельно вирівнюють врівень з краями мірної посудини. Потім посудину з бетонною сумішшю зважують з похибкою не більше 1 г.

Для кожної проби бетонної суміші середню густину кг/м³ визначають за формулою:

$$\rho_{cm} = \frac{m - m_1}{V} \cdot 1000$$

де m - маса мірної посудини з бетонною сумішшю, г; m_1 - маса мірної посудини без суміші, г; V - місткість мірної посудини, см³.

Середню густину бетонної суміші визначають двічі для кожної проби суміші і обчислюють з округленням до 10 кг/м³, як середньоарифметичне значення результатів двох визначень з однієї проби, які відрізняються між собою не більше ніж на 5 % середнього значення. При більшій розбіжності результатів визначення повторюють на новій пробі бетонної суміші.

Визначення об'єму втягнутого повітря в бетонній суміші. Об'єм втягнутого повітря визначають експериментальним або розрахунковим методом.

Розрахунковий вміст втягнутого повітря бетонної суміші V_n , %, обчислюють з округленням до 0,1 % за формулою:

$$V_n = \frac{1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_n} + \frac{Щ}{n\rho_{щ}} + B + B_1 \right)}{10},$$

де $Ц, П, Щ, B$ і B_1 - фактична маса, кг, відповідно, цементу, сухих піску і щебеню (гравію), води і розчину добавок у 1 м^3 ущільненої бетонної суміші;

$\rho_{ц}$ - дійсна густина цементу, г/см^3 , яку визначають за ДСТУ Б В.2.7-46:2010 або приймають такою, що дорівнює 3,1 для портландцементу і його різновидностей, і 3,0 - для шлакопортландцементу;

$\rho_n, \rho_{щ}$ - середня густина зерен піску і щебеню (гравію), г/см^3 , яку визначають для щільного заповнювача, відповідно до ДСТУ Б В.2.7-71:2008.

n - коефіцієнт, який враховує збільшення середньої густини зерен крупного заповнювача у результаті його часткового дроблення при перемішуванні бетонної суміші у змішувачі примусової дії, приймається таким, що дорівнює 1 для щільного заповнювача; 1,05 - для пористого заповнювача з маркою за міцністю П75 і більше; 1,1 - для пористого заповнювача з маркою за міцністю менше П75.

Визначення середньої міцності бетону. За середню міцність бетону при стисненні приймається середня межа міцності в мегапаскалях при стисненні трьох зразків розміром $10 \times 10 \times 10$ см, виготовлених із бетонної суміші робочого складу.

Зразки, призначені для твердіння в нормальних умовах, після виготовлення до розпалублювання зберігають у формах, покритих вологою тканиною або іншим матеріалом, що виключає можливість випару з них вологи у приміщенні з температурою повітря $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$.

При визначенні міцності бетону на стиск зразки розпалублюють не раніше ніж через 24 г для бетонів класу В7,5 (М100) і вище, і не раніше ніж через 48 г - для бетонів класу В5 (М75) і нижче, а також для бетонів з добавками, що сповільнюють їхнє твердіння в ранньому віці.

Після розпалублення зразки повинні бути поміщені в камеру, що забезпечує нормальні умови, тобто температуру $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і відносну вологість повітря $95 \pm 5\%$. Зразки укладають на підкладки так, щоб відстань між зразками, а також між зразками й стінками камери була не менше 5 мм. Зразки в камері нормального твердіння не повинні безпосередньо зрошуватися водою.

Зразки, призначені для твердіння в умовах теплової обробки, повинні бути поміщені у формах у пропарювальну камеру і твердіти там разом за прийнятним режимом. Після закінчення теплової обробки зразки розпалублю-

ють і випробовують.

При випробуванні на стиск зразки-куби встановлюють однієї з обраних граней на нижню опорну плиту преса центрально щодо його поздовжньої осі, використовуючи риски, нанесені на плиту преса.

Навантаження зразків роблять беззупинно зі швидкістю, що забезпечує підвищення розрахункової напруги у зразку до його повного руйнування в межах $(0,6 \pm 0,4)$ МПа/с при випробуваннях на стиск й у межах $(0,05 \pm 0,02)$ МПа/с при випробуваннях на розтягання. При цьому час навантаження одного зразка повинен бути не менш 30 с.

Міцність бетону, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$), розраховується з точністю до 0,1 МПа (1 $\text{кгс}/\text{см}^2$) при випробуваннях на стиск і до 0,01 МПа (0,1 $\text{кгс}/\text{см}^2$) при випробуваннях на розтяг для кожного зразка за формулою:

$$f_{c,cube} = (\alpha \cdot F k_w) / A;$$

де F – руйнівне навантаження, Н (кгс); A – площа робочого перерізу зразка, мм^2 (см^2); a – ширина поперечного перерізу зразка, мм (см); α , – масштабний коефіцієнт для приведення міцності бетону до міцності бетону в зразках базового розміру та форми; k_w – поправочний коефіцієнт для ніздрюватого бетону, який враховує вологість зразків на момент випробування.

Порядок виконання роботи

1. Визначення легкоукладальності бетонної суміші.
2. Розрахунок середньої густини бетонної суміші.
3. Розрахунок об'єму втягнутого в бетонну суміш повітря.
4. Визначення коефіцієнта ущільнення бетонної суміші.
5. Формування бетонних зразків розміром 10x10x10 см.
6. Випробування бетонних зразків, визначення середньої міцності та класу бетону.
7. Складання таблиці 1.
8. Формулювання висновків, ознайомлення з результатами роботи інших бригад.

Таблиця 1

Результати вимірювань і випробувань

Показник	Одиниця	Номер бригади				
		1	2	3	4	5
1. Витрати матеріалів на 1 м ³ бетону: в'язуче щебінь пісок вода добавка	кг кг кг кг кг					
1. Витрати матеріалів на заміс: в'язуче щебінь пісок вода добавка	кг кг кг кг кг					
3. Результати визначення технологічних властивостей бетонної суміші: рухливість розплив конуса жорсткість	см см с					
4. Середня густина бетонної суміші	кг/м ³					
5. Об'єм втягнутого повітря в бетонну суміш	%					
6. Коефіцієнт ущільнення бетонної суміші						
7. Середня міцність бетону на стиск	МПа					
8. Клас бетону	В					

Лабораторна робота №2

Вплив технологічних факторів на властивості бетонної суміші і бетону

Мета роботи - придбати практичні навички визначення впливу основних технологічних факторів на властивості бетонної суміші і бетону.

Завдання роботи - визначення впливу вмісткості і величини водоцементного відношення, тривалості змішування суміші і вібраційного ущільнення на властивості бетонної суміші і затверділого бетону.

Прилади, обладнання та матеріали:

- портландцемент;
- щебінь гранітний фракції 5...20 мм;
- пісок кварцевий;
- вода;
- пластифікуюча добавка;
- ваги технічні;
- стандартний конус для вимірювання рухливості бетонної суміші та спеціальний прилад (установка типу Вебе або прилад Красного) для вимірювання її жорсткості у комплекті з лабораторним стандартним вібростолом;
- металічна лінійка та сталевий прут (стержень) діаметром 16 мм і довжиною 600 мм;
- лабораторний бетонозмішувач;
- штангенциркуль;
- металічні форми для виготовлення бетонних кубів розмірами 100x100x100 мм;
- гідравлічний прес для випробування міцності бетону на стиск;

Короткі теоретичні відомості та методика виконання

Властивості бетонної суміші формуються під впливом ряду технологічних факторів: водовмісту суміші, властивостей і витрати в'язучого, фізико-механічних і геометричних властивостей заповнювачів, параметрів складу суміші, хімічних добавок, температури, фактора часу та ін. Усі ці фактори діють одночасно, що значно ускладнює як прогнозування властивостей бетонної суміші, так і керування ними. Тому управління властивостями бетонної суміші, регулювання її параметрів відбуваються за відповідних обмежень.

Спрямована зміна реологічних характеристик бетонної суміші повинна відповідати можливостям і особливостям технологічних систем для ущільнення і формування суміші при виробництві бетонних і залізобетонних виробів.

Водовміст бетонної суміші в початковій стадії після приготування є важливим фактором формування його реологічних властивостей.

Вода утримується в порах і капілярах бетонної суміші і чинить на систему структуроутворюючу дію завдяки великій поверхні контакту з частинками різної крупності. Система знаходиться під впливом внутрішніх напружень стиснення, що забезпечує її зв'язаність, збереження форм у певних умовах і здатність суміші до пластичних деформацій.

Поряд із фізико-механічною і фізично зв'язаною водою в прошарках між частинками твердої фази бетонної суміші знаходиться вільна вода, яка безпосередньо впливає на реологічні властивості в цілому. Чим товстішими є ці заповнені водою прошарки, тим нижчою є межа опору зсуву і в'язкість, тим більш рухливою і легко укладальною є бетонна суміш. Однак підвищення рухливості суміші шляхом збільшення місткості вільної води є можливим тільки до певної межі, яка називається водоутримувальною здатністю бетонної суміші і залежить від складу суміші і властивостей її компонентів. Вище цієї межі спостерігаються деструктивні явища: зменшуються сили капілярної взаємодії, суміш починає розшаровуватися, стає неоднорідною.

Зміна водомісту бетонної суміші у певних межах є ефективним технологічним прийомом для управління її властивостями.

В технології бетону ефективним способом керування властивостями бетонної суміші є застосування хімічних добавок, в основному це регулятори реологічних властивостей бетонних сумішей.

Поверхнево-активні речовини, що входять до складу цих добавок, адсорбуються на поверхні зерен цементу, ліквідують згинання і зменшують тертя між ними, в результаті чого бетонна суміш стає більш рухливою, тягучою. Витрата пластифікуючих добавок складає 0,15...0,25 % від витрати цементу.

Вібраційний вплив на бетонну суміш викликає зміну її фізичного стану, що виявляється у відносному русі шарів структурованого середовища, руйнуванні зв'язків у структурі, зниженні сил твердіння, а також межі текучості. Вібрація ніби пластифікує бетонну суміш.

При відповідності параметрів вібрації (амплітудно-частотна характеристика) реологічним властивостям малорухливої або жорсткої бетонної суміші дося-

гається особливий ефект вібраційного впливу (як фактора легкоукладальності). Енергія вібраційних імпульсів повинна бути достатньою для руйнування первинно початково створеної в процесі перемішування і транспортування структури бетонної суміші.

При вібруванні зменшується внутрішнє тертя між частками бетонної суміші, а також відбувається зниження в'язкості суміші одночасно з її ущільненням.

Вібрування тим більше впливає на рухливість бетонної суміші, чим ширшим є діапазон крупності зерен заповнювача, втягнутого в коливальний рух, оскільки зернам різної крупності властива неоднакова власна частота коливань.

Вібрування з високою частотою (більше 100 Гц) і малою амплітудою коливань дає високий ефект тиксотропного розрідження цементного тіста і розчину в бетонній суміші. Однак при цьому частки крупного заповнювача слабо втягуються в коливальний рух. В результаті розрідження цементне тісто і розчин швидко стікають донизу, а крупні заповнювачі дуже повільно занурюються в нього, і рухливість суміші в цілому збільшується несуттєво. Тому для підвищення ефективності вібраційного впливу доцільно викликати в бетонній суміші одночасно коливання більш низької частоти - різночастотне вібрування. Декілька накладених одна на одну частот вимушених коливань значно підвищують градієнт швидкості зсувних деформацій.

Якщо бетонна суміш, що складається з розчину й великих заповнювачів, буде піддана вібруванню при низьких частотах (порядку 500 об/хв), то розчин і заповнювачі набувають практично однакової амплітуди (можливо, заповнювач навіть більшої, у силу резонансу). У результаті заповнювачі будуть коливатися, не викликаючи розрідження розчину.

При збільшенні частоти коливань амплітуда заповнювачів значно зменшується. Майже вся кінетична енергія коливань акумулюється в такому разі в розчині, ефект вібрування значно збільшується, і розрідження розчину призводить до розрідження бетонної суміші в цілому (виникає ніби змащення між зернами крупного заповнювача).

Визначення впливу технологічних факторів на властивості бетонної суміші і затверділого бетону розподіляється між бригадами студентів таким чином:

бригада №1 визначає вплив водовмісту і величини водоцементного відношення;

бригада №2 визначає вплив хімічної добавки - пластифікатора;

бригада №3 визначає вплив температури води затворювання;
бригада №4 визначає вплив тривалості і умов переміщування;
бригада №5 визначає вплив тривалості вібрування при формуванні дослідних зразків.

Методику визначення властивостей бетонної суміші і бетону наведено в лабораторній роботі №1.

При визначенні впливу водовмісту і водоцементного відношення необхідно врахувати, що водоутримувальна здатність бетонної суміші залежить від нормальної густоти цементного тіста (НГЦТ). Для портландцементу границя водоутримувальної здатності характеризується показником 1,65 НГЦТ. Тому величину даного показника необхідно змінювати в інтервалі 1,50...1.80.

Нормальна густота цементного тіста НГЦТ визначається за методикою у відповідності до ДСТУ Б В.2.7-185:2009.

Величину водоцементного відношення необхідно змінювати в інтервалі 0,3...0,7.

Для визначення впливу хімічної добавки-пластифікатора необхідно взяти добавку з I групи - так званих суперпластифікаторів (СП). Наприклад: С-3, полікарбосилат (ПК), ЛСТМ. Кожна з добавок повинна вводитися в бетонну суміш у кількості 0,1...1,2 % від маси цементу.

Для визначення впливу температури води затворювання бетонної суміші її величину необхідно змінювати в інтервалі 20...80 °С.

Для визначення впливу тривалості перемішування бетонної суміші даний період необхідно змінювати в інтервалі 2...10 хв.

Для визначення впливу тривалості вібрування бетонної суміші при формуванні дослідних зразків даний період необхідно змінювати в інтервалі 1,5...4 хв.

Порядок виконання роботи

1. Формування бетонних зразків розміром 10x10x10 см (по три зразки для кожного випробування).
2. Випробування зразків на гідравлічному пресі.
3. Складання табл. 2.

Результати вимірювань і випробувань

Властивості бетонної суміші і бетону	Одиниця вимірювання	Технологічні фактори									
		Водомісткість л/м ³		Хімічні добавки, кг/м ³		Температура води за творювання, t C		Час перемішування б.с.		Тривалість віброуцільнення	
Рухливість бетонної суміші	см										
Жорсткість бетонної суміші	с										
Середня міцність бетону	МПа										

4. За результатами вимірювання і випробувань побудова графічних залежностей:

- рухливість (жорсткість) бетонної суміші від водомісткості, водоцементного відношення і тривалості перемішування бетонної суміші;

- середня міцність бетону від величини водоцементного відношення, тривалості і умов перемішування та вібраційного ущільнення при формуванні зразків-кубів.

5. Ознайомлення з результатами, отриманими іншими бригадами.

6. Висновки.

Лабораторна робота №3

Технологія отримання ніздрюватого бетону

Мета роботи - ознайомлення з методикою приготування пінобетонної і газобетонної сумішей.

Завдання роботи - визначити фізико-механічні властивості пінобетонної і га-

зобетонної сумішей, а також властивості ніздрюватого бетону.

Прилади, обладнання та матеріали:

- портландцемент;
- пісок кварцевий молотий;
- піноутворювач;
- газоуворювач;
- ваги технічні;
- мірні циліндри;
- віскозиметр Сутгарда
- лабораторний змішувач;
- штангенциркуль;
- металічні форми для виготовлення бетонних кубів розмірами 70x70x70 мм;
- гідравлічний прес для випробування міцності бетону на стиск.

Короткі теоретичні відомості та методика виконання

Для отримання ніздрюватого бетону застосовують портландцемент або шлакопортландцемент, молоте вапно, змішане в'язуче із цементу і вапна, вапна і молотого гранульованого шлаку, а також шлаколужне в'язуче із високоосновної золи, розчинного скла, гіпсу і фосфогіпсу. В якості кремнеземного компонента суміші використовують кварцевий або польвошпатний пісок, тонкодисперсні вторинні кремнеземоутримуючі продукти, кислу золу-виносу ТЕС [6].

Пориста структура ніздрюватих бетонів утворюється двома способами: механічним, коли тісто в'язучого змішують з окремо приготованою стійкою піною; хімічним, коли вводяться спеціальні газоутворюючі добавки і в тісті в'язучого проходять реакції, які супроводжуються виділенням газу.

При підборі складу бетону потрібно установити оптимальну температуру і текучість розчину при відповідному водотвердому відношенні (В/т), величину пористості, співвідношення між кремнеземистим компонентом і в'язучим, витрату пороутворювача, а також витрату матеріалів на заміс ніздрюватого бетону.

Залежно від потрібної середньої густини ніздрюватого бетону приймають текучість розчинної суміші і відповідно їй водотвердого відношення В/Т (табл. 3).

Результати вимірювань і випробувань

Задана середня густина ніздрюватого бетону	Діаметр розпливу суміші по Саттарду, см, при звичайному формуванні		
	На цементному, вапняно-цементному, шлаколужному в'язучому	На вапняному, вапняно-шлаковому в'язучому	На високоосновній золі
300	38	30	-
400	34	25	25
500	30	23	23
600	26	<u>21</u>	21
700	22	19	20
800	18	17	18
900	16	16	16
1000	14	14	14
1100	12	12	12
1200	10	10	10

Приготування ніздрюватої бетонної суміші.

А. Пінобетонну суміш готують в такій послідовності. В пінозбивач лабораторного пінобетонозмішувача вливають приготовлений розчин піноутворювача в кількості 5...6 % від об'єму барабана пінозбивача і включають двигун. Час збивання піни, як правило, не перевищує 5...6 хв. Потім розраховану кількість отриманої піни вводять в задалегідь приготовану суміш в'язучого, кремнеземистої складової та води і безперервно перемішують до отримання однорідної маси.

Визначення фізико-механічних характеристик піни. Після збивання піни її вивантажують в попередньо зважену 10-літрову посудину і визначають її об'єм та масу. Вихід піни (кратність):

$$B = \frac{V_1}{V}$$

де V_1 - об'єм піни, см^3 , визначений в 10-літровій посудині; V - об'єм робочого складу піноутворювача.

Об'єм пор:

$$K = \frac{V_1}{P},$$

де V_1 - об'єм піни, л; P - маса піни, кг.

Стійкість піни визначається на приладі ЦНПС-1, який складається із скляної посудини і трубки, яка закінчується краном. Трубка має шкалу для вимірювання відходу рідини в см^3 .

Стійкість піни характеризують такі показники: час з моменту отримання піни і початку відокремлення рідини, кількість рідини, яка відокремилась за 1 год, см^3 . Середня густина пінобетонної суміші визначається так само, як і для звичайного бетону.

Б. Газобетонну суміш готують в такій послідовності.

Свіжоприготовану водно-алюмінієву суспензію вводять в заздалегідь приготовану суміш в'язучого, кремнеземистої складової і води при безперервному перемішуванні маси протягом 2...2,5 хв. Для депарафінізації пудри і кращого її змішування з водою додають 5 % маси пудри поверхнево-активної речовини - каніфольного масла і т.п.

Для визначення середньої густини газобетонної суміші її укладають у зважені посудини місткістю 0,5...1 л. Після закінчення вспучування (через 1 год) ножом відрізають надлишок вспученої піни, зважують посудину із масою, яка залишилася, і обчислюють її середню густина.

Визначення фізико-механічних властивостей ніздрюватих бетонів. Із ніздрюватих мас виготовляють зразки з розмірами 7,07x7,07x7,07см, по три форми.

Після тепловологої обробки зразків визначають такі властивості ніздрюватих бетонів:

межу міцності на осьове стиснення

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

середню густина

$$V_{\text{ср}} = \frac{m_1}{V},$$

водопоглинання

$$c = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 \%$$

де P - навантаження на зразок; S - площа зразка, що випробовується; m_1 - маса висушеного зразка при $t = 105$ °С, V - об'єм зразка; m_2 - маса зразка, який зберігався у воді 48 год, - межа міцності при стисненні еквівалентного зразка, що зберігався на повітрі.

Порядок виконання роботи

1. Складання таблиці 4.
2. Виконання перерахунку компонентів ніздрюватої суміші на 1 лабораторний заміс.
3. Приготування пороутворювача і визначення його фізико-механічних властивостей.
4. Приготування ніздрюватої бетонної суміші, визначення її фізико-механічних властивостей і формування зразків.
5. Здійснення теплової обробки зразків із ніздрюватого бетону.
6. Визначення фізико-механічних властивостей ніздрюватих бетонів.
7. Складання таблиці 5.
8. Побудова графіку залежності середньої густини, міцності, водопоглинення від величини співвідношення кремнеземистого компонента до в'язучого.
9. Аналіз результатів, формулювання висновків по роботі.

Таблиця 4

Склад ніздрюватих бетонів

Складові і витрати матеріалів на 1 м ³ ніздрюватого бетону	Одиниця вимірювання	Номер бригади				
		1	2	3	4	5
В'язуче	КГ					
Кремнеземистий компонент	КГ					
Пороутворювач	КГ					
Вода	Л					
Добавки	Л					

Результати випробувань

№ бригади	Складові і витрати матеріалів на заміс бетону					Фізико-механічні властивості					
						ніздрюватої суміші		ніздрюватою бетону			
	В'язуче, кг	Кремнез. ком-понент, кг	Пороутво-рювач, г	Вода, л	Добавки, л	Ф, розпливу	$V_{\text{ср}}$, кг/м ³	$R_{\text{ст}}$, кг/м ³	$V_{\text{ср}}$, кг/м ³	с, %	F, %
1.											
2.											
3.											
4.											
5.											

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Визначення властивостей будівельного розчину

Мета роботи – є засвоєння методики визначення властивостей будівельного розчину

Завдання роботи – визначення рухливості, середньої густини, водоутримувальної здатності розчинової суміші та міцності розчину на стиск.

Прилади, обладнання та матеріали:

- портландцемент;
- пісок кварцовий;
- вода;
- пластифікуюча добавка;
- ваги технічні;
- стандартний конус для вимірювання рухливості розчинової суміші (СтройЦШЛ);
- металічна лінійка та сталевий прут (стержень) діаметром 12 мм і довжиною 300 мм;
- лабораторний змішувач;
- штангенциркуль;
- роз'ємні сталеві форми з піддоном і без піддона (ГОСТ 22665);
- гідравлічний прес для випробування міцності будівельного розчину на;

Порядок виконання роботи

Визначення рухливості розчинової суміші. Рухливість суміші визначають у сантиметрах за глибиною занурювання в неї еталонного (стандартного) конуса (рис. 4).

Крім зазначеного приладу, необхідно мати сталевий стержень діаметром 12 мм і довжиною 300 мм та кельму.

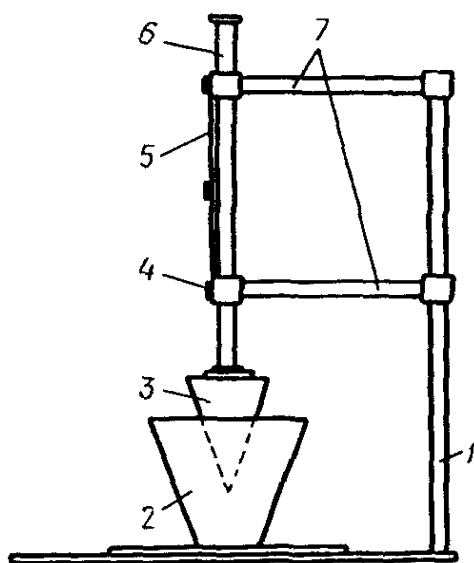


Рис. 4 Прилад для визначення рухливості розчинової суміші.
1 – штатив; 2 – посудина для щойно приготовленої розчинової суміші (висота 180 мм, діаметр основи 150 мм); 3 – конус (висота 145 мм, діаметр основи 75 мм, маса разом зі стержнем і баластом 300 ± 2 г); 4 – пусковий гвинт; 5 – шкала для відліку; 6 – ковзний стержень; 7 – направляючі ковзного стержня;

Для визначення рухливості посудину 2 наповнюють розчинною сумішшю на 1,0 см нижче від її країв і ущільнюють штикуванням сталевим стержнем 25 разів та 5...6 – кратним постукуванням об стіл після чого посудину ставлять на майданчик приладу.

Вістря конуса доводять до поверхні розчину, закріплюють штангу затримувачем 5 і роблять перший відлік по шкалі. Потім відпускають затримувач. Конус має занурюватися у розчинну суміш вільно. Другий відлік знімають по шкалі через 1 хв після початку занурювання конуса. Глибину занурювання визначають як різницю між першим і другим відліками. Цей показник оцінюють за результатами двох вимірів як середнє арифметичне. Різниця між двома вимірюваннями не повинна перевищувати 20 мм. У інших випадках випробування необхідно повторити.

Визначення середньої густини розчинової суміші. Середня густина – це

відношення маси ущільненої суміші до її об'єму, (г/см³).

Для випробування використовують сталеву циліндричну посудину місткістю 1000 см³ (висота 100 мм, діаметр 113 мм), сталевий стержень діаметром 12 мм і довжиною 300 мм, сталеву лінійку довжиною 400 мм.

Перед випробуванням посудину (циліндр) зважують з точністю до 2 г, потім заповнюють сумішшю „з верхом”.

Суміш ущільнюють штикуванням сталевим стержнем 25 разів і 5...6 – кратним постукуванням легко об стіл. Після ущільнення надлишок суміші зрізують лінійкою і ретельно загладжують в рівень із краями циліндра. Стінки циліндра зовні очищають вологою тканиною. Потім циліндр із сумішшю зважують з точністю до 2 г.

Середню густина розчину, г/см³:

$$\rho = \frac{m - m_1}{1000},$$

де m , m_1 – маса циліндра відповідно з розчином і без розчину. Середню густина розчину визначають як середнє арифметичне двох випробувань з однієї проби; результати не повинні, відрізнитися більш ніж на 5% від меншого значення, у інших випадках випробування повторюють.

Визначення водоутримувальної здатності розчинової суміші. Визначають випробуванням шару розчинової суміші товщиною 12 мм, укладеного на промокальний папір (рис. 5).

Для випробування необхідно мати матеріали та обладнання:

- 1) промокальний папір розміром 150x150 мм;
- 2) прокладки з марлі розміром 250x250 мм;
- 3) металеве кільце з внутрішнім діаметром 100 мм, висотою 12 мм і товщиною стінки 5 мм;
- 4) скляна пластина 150x150 мм, товщиною 5 мм.

Перед випробуванням 10 листів промокального паперу зважують з точністю до 0,1 г, кладуть на скляну пластину, зверху кладуть прокладку з марлі, встановлюють металеве кільце і ще раз зважують.

Ретельно змішану суміш укладають врівень з краями кільця, вирівнюють, зважують і залишають на 10 хв. Потім кільце з розчином обережно знімають разом з марлею. Промокальний папір (10 листів) зважують з точністю до 0,1 г.

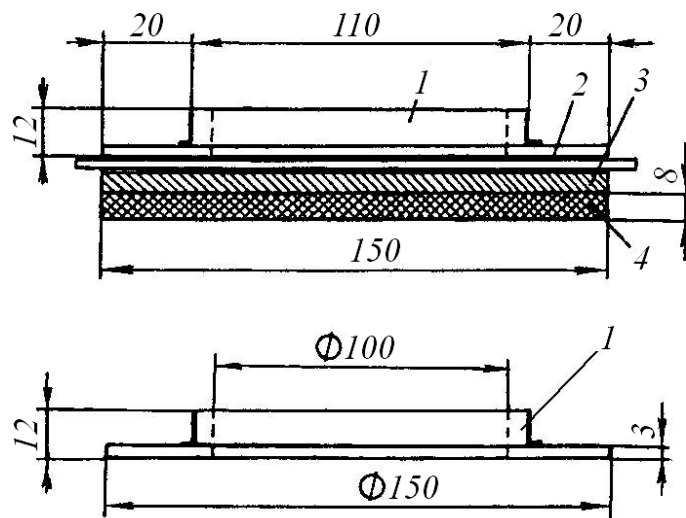


Рис. 5 Схема пристрою для визначення водоутримувальної здатності розчинової суміші: 1 – металеве кільце; 2 – шар марлевої тканини; 3 – 10 шарів фільтрувального паперу; 4 – скляна пластинка

Водоутримуючу здатність розчинової суміші визначають як процентний вміст води у пробі до і після експерименту за формулою:

$$V = \left(100 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} \cdot 100\right),$$

де m_1 і m_2 – маса промокального паперу відповідно до та після випробування, г; m_3 та m_4 – маса установки відповідно без та з розчиновою сумішшю, г.

Результат визначають як середнє арифметичне двох випробувань, показники не повинні відрізнятись між собою більш, ніж на 20%. В інших випадках експеримент повторюють.

Визначення міцності розчину на стиск. Випробування виконують на зразках-кубах розмірами 70,7x70,7x70,7 мм у віці, який встановлено стандартом або технічними умовами на даний вид розчину. На кожний термін випробування готують по три зразки.

Зразки розчину з рухливістю до 5 см готують у формах з піддоном. Форму заповнюють у два шари. Ущільнення шарів у кожному відділенні форми виконують 12 натисками шпателя: 6 натисків вздовж однієї сторони і 6 у перпендикулярному напрямку. Надлишок розчину зрізують врівень з краями форми змоченою водою сталеву лінійкою.

Зразки суміші з рухливістю понад 5 см формують у формах без піддона. Форму укладають на цеглину, покриту змоченим у воді газетним або іншим не проклеєним папером. Папір має покривати бокові грані цеглини. Вологість цегли менше 2 мас.%, водопоглинання 10...15 мас.%.

Форми заповнюють за один прийом з деяким надлишком і ущільнюють штикуванням 25 разів сталевим стержнем по концентричних колах від центра до країв.

Форми із сумішшю на гідравлічних в'язучих витримують до розпалубки в камері нормального зберігання при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і відносній вологості 65%. Зразки відокремлюють від форми через 24 год після укладання суміші. Зразки, зроблені із суміші на шлакопортландцементях, пуцоланових і портландцементях з добавками-уповільнювачами тужавлення, а також зразки зимової кладки, що зберігалися на відкритому повітрі, відокремлюють від форми через 2...3 доби.

Після розпалубки зразки мають зберігатися при температурі 20°C . При цьому слід дотримуватися таких умов:

- зразки із сумішей на гідравлічних в'язучих речовинах протягом перших трьох діб зберігають у камері нормального твердіння при вологості 95...100%, а на час, що залишився до випробування їх заносять у приміщення з вологістю повітря 65%, якщо розчини у конструкції твердіють на повітрі, а якщо розчини твердіють у вологому середовищі то зразки занурюють у воду;

- зразки із розчинів на повітряних в'язучих речовинах зберігають у приміщенні з вологістю повітря 65%;

- зразки, що зберігаються у воді, витягують не раніше 10 хв до випробування і витирають вологою тканиною.

У разі відсутності камери нормального зберігання допускається зберігання зразків у вологому піску чи тирсі.

При випробуванні зразків руйнівне напруження має бути в інтервалі 20...80% від максимального навантаження на даній шкалі преса. Швидкість збільшення навантаження при випробуванні має бути постійною і складати 6...4 кгс/см² в секунду до руйнування.

Досягнуте в процесі випробування максимальне зусилля пресу приймають для розрахунку величини руйнівного напруження.

Границя міцності при стиску R визначається як середнє арифметичне значення результатів випробування трьох зразків:

$$R = \frac{P}{F},$$

де P – руйнівне навантаження, кгс; F – робоча площа перерізу зразка, см².

Порядок виконання роботи

1. Визначення рухливості розчинової суміші.
2. Визначення середньої густини розчинової суміші.
3. Визначення водоутримувальної здатності розчинової суміші.
4. Формування зразків розчину розміром 7,07x7,07x7,07 см.
5. Визначення міцності розчину на стиск.
6. Складання таблиці 6.
7. Формулювання висновків, ознайомлення з результатами роботи інших бригад.

Таблиця 6

Результати вимірювань і випробувань

Показник	Одиниця	Номер бригади				
		1	2	3	4	5
1. Витрати матеріалів на 1 м ³ будівельного розчину: в'яжуче пісок вода добавка	кг кг кг кг					
1. Витрати матеріалів на заміс: в'яжуче пісок вода добавка	кг кг кг кг					
3. Результати визначення технологічних властивостей розчинової суміші: рухливість середня густина водоутримувальна здатність	см кг/м ³ %					
7. Середня міцність будівельного розчину	МПа					
8. Марка будівельного розчину	М					

Список літератури

1. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини :/ підручник / В. І. Гоц, В. В. Павлюк, П. С. Шилюк; КНУБА. – [2-ге вид., допов. і перероб.]. – Київ: Основа, 2016. – 567 с.
2. Волянський О.А. Технологія бетону :/ навчальний посібник / Волянський Олександр Арсентійович. – К.: Вища шк., 1994. – 271 с.
3. Михайлов К.В. Производство сборных железобетонных изделий :/ справочник / под ред. К.В. Михайлова и К.М. Королева. – М. Стройиздат, 1989. – 148 с.
4. Дворкін Л.Й. Проектування складів бетону із заданими властивостями :/ навчальний посібник / Дворкін Л.Й., Дворкін Л.О., Гарніш Ю.В. – Рівне: вид-во Рівненського державного технічного університету, 2000. – 215 с.
5. Кривенко П.В. Будівельне матеріалознавство: підручник / П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, В.Б. Барановський та ін. - К.: ТОВ УВПК “ЕксОб”, 2006. – 704 с.
6. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-46-96. – [чинний від 1997-01-01]. –К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 15 с. – (Національний стандарт України).
7. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів конструкцій та робіт. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-75-98. – [чинний від 1999-01-01]. –К.: Держбуд України, 1999. – 14 с. – (Національний стандарт України).
8. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів конструкцій і робіт. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-32-95. – [чинний від 1996-01-01]. – К.: Держкоммістобудування України, 1995. – 17 с. – (Національний стандарт України).
9. Добавки для бетонів. Методи визначення ефективності. ДСТУ Б В.2.7-69-98. – [чинний від 1999-01-01]. –К.: Держбуд України, 1999. – 38 с. – (Національний стандарт України).
10. Правила застосування хімічних добавок у бетонах і розчинах. ДБН В.2.7-64-97. – [чинний від 1999-01-01]. –К.: Держбуд України, 1999.–60 с. – (Національний стандарт України).
11. Бетоны. Правила подбора составов. ГОСТ 27006 - 86 – [чинний від 1987-01-01]. –М.: Госстрой СССР, 1987.– 9 с.
12. Суміші бетонні. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-96-2000. – [чинний від 2000-07-01]. – К.: Держбуд України, 2000. – 16 с. – (Національний стандарт України).

13. Суміші бетонні. Методи випробувань. ДСТУ Б В.2.7-114-2002. – [чинний від 2002-07-01]. – К.: Держбуд України, 2002. – 27 с. – (Національний стандарт України).
14. Добавки активні мінеральні. Терміни та визначення. ДСТУ Б А.1.1-50-94. – [чинний від 1995-01-01]. – К.: Держбуд України, 1994. – 15 с. – (Національний стандарт України).
15. Добавки активні мінеральні для цементів. ДСТУ Б В.2.7-100-2000. – [чинний від 2000-07-01]. – К.: Держбуд України, 1999. – 10 с. – (Національний стандарт України).
16. Вапно будівельне. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-90-99. – [чинний від 2000-01-01]. – К.: Держбуд України, 1999. – 24 с. – (Національний стандарт України).
17. Цементи. Загальні технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-112-2002. – [чинний від 2002-07-01]. – К.: Держбуд України, 2002. – 39 с. – (Національний стандарт України).
18. Виробництво залізобетонних конструкцій і виробів: довідник / Амеліна Н.О., Азутов В.П., Бердник О.Ю., Гелевера О.Г., Кокшарьов В.М., Ковальчук О.Ю., Константиновський О.П., Ластівка О.В., Майстренко А.А., Павлюк В.В., Пальчик П.П., Петрикова Є.М., Рижанкова Л.М., Рунова Р.Ф. Рогозіна Н.В./ Під загальною редакцією Гоца В.І. –К.: Основа, 2019. – 464 с.

БЕТОНИ І БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів, які навчаються за спеціальністю
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
спеціалізація «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»

Укладачі **ГОЦ** Володимир Іванович

ЛАСТІВКА Олесь Васильович

