

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: "Будівельних, дорожніх машин і будівництва"

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт

з дисципліни:

Будівельне матеріалознавство

для студентів спеціальності
192 "Будівництво та цивільна інженерія"
усіх форм навчання

ЦНТУ
2020

Кафедра: "Будівельних, дорожніх машин і будівництва"

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт

з дисципліни:

Будівельне матеріалознавство

для студентів спеціальності
192 "Будівництво та цивільна інженерія"
усіх форм навчання

"Ухвалено"

на засіданні кафедри:

"Будівельних, дорожніх машин і будівництва"

Протокол № 2 від 15.09.2020 р.

Будівельне матеріалознавство : метод. вказ. до виконання практичних робіт для студ. спец. 192 - Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання / [уклад. : В. В. Дарієнко, І. О. Скриннік, О. А. Плотніков, В. В. Пукалов] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. будівельних, дорожніх машин і будівництва. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. - 28 с.

Рецензент:

В.В. Яцун – канд. техн. наук, доцент

© Будівельне матеріалознавство: методичні вказівки до виконання практичних робіт
/Укладачі: В.В. Дарієнко, І.О. Скриннік, О.А. Плотніков, В.В. Пукалов. 2020.

© РВЛ ЦНТУ, тиражування, 2020 р.

Вступ

У кожній практичній роботі наводяться загальні відомості та короткі характеристики з теми роботи, сформульована мета досліджень.

Основна увага приділяється методам виконання конкретної практичної роботи, орієнтованим на самостійне їх застосування окремими групами.

Одержані результати студенти заносять у зошит для практичних робіт і після аналізу роблять висновки з теми досліджень, проводять порівняння з вимогами ГОСТ та стандартів.

Виконання практичних робіт сприяє кращому засвоєнню студентами теоретичного матеріалу з дисципліни „Будівельне матеріалознавство” та розвитку навиків проведення науково-дослідницьких робіт і їх оформлення.

Практична робота № 1

Загальні характеристики будівельних матеріалів

Мета роботи – вивчити загальні характеристики будівельних матеріалів.

Загальні відомості

Для оцінки властивостей будівельних матеріалів їх піддають різним випробуванням у лабораторіях, використовуючи для цього спеціальні прилади, механізми й вимірювальну апаратуру. Порівнюючи одержані показники з відповідними величинами, встановленими нормативними документами (стандартами, технічними умовами, будівельними нормами), роблять висновок про технічну можливість, а враховуючи економічні показники, і економічну доцільність використання даного будівельного матеріалу в конкретних умовах.

Вибір матеріалів відповідної якості й вартості для будівництва кожного об'єкта є одним з основних елементів будівельного проектування.

Усі властивості будівельних матеріалів за сукупністю ознак поділяють на фізичні, механічні, хімічні й технологічні.

1.1. Фізичні властивості

До фізичних властивостей матеріалів належать: істинна та середня густина, пористість, вологість, водопоглинення, водопроникність, морозостійкість та ін.

Істинна густина ρ – це маса одиниці об'єму матеріалу в «абсолютно» щільному стані (без пор, пустот), найчастіше її визначають у г/см^3 або кг/м^3 .

Щоб визначити «абсолютний» об'єм випробовуваного матеріалу, його висушують до сталої маси m_c й тонко подрібнюють, щоб кожна частинка не мала пор. Одержаний порошок засипають у спеціальний прилад (об'ємомір), заповнений інертною рідиною по відношенню до речовини, що випробовується (водою, гасом тощо), і за об'ємом витісненої ним рідини встановлюють «абсолютний» об'єм матеріалу V_a . Істинну густину визначають за формулою

$$\rho = m_c / V_a.$$

Показник ρ – довідкова величина, яка застосовується для виконання деяких розрахунків, наприклад, визначення показника пористості. Істинна

густина одного й того самого матеріалу в звичайних умовах залишається сталою.

Середня густина ρ_o - це маса одиниці об'єму матеріалу в природному стані (разом з порами, пустотами), найчастіше її визначають у г/см^3 або кг/м^3 .

Для визначення середньої густини масу випробовуваного матеріалу знаходять зважуванням, а об'єм для зразків правильної геометричної форми – звичайним вимірюванням, неправильної форми – в об'ємомірі за об'ємом витісненої інертної рідини. Середню густину сипких матеріалів (цементу, вапна, піску, щебеню, гравію тощо) називають насипною густиною.

Насипна густина ρ_n – це відношення маси сипкого матеріалу до його об'єму, включаючи простір між пластинками.

Пористість Π – це ступінь заповнення об'єму матеріалу порами. Її виражають у відсотках або в частках одиниці (коли загальний об'єм матеріалу приймають за одиницю).

Пористість визначають за формулою

$$\Pi = (\rho - \rho_o) / \rho.$$

Вологість – вміст вільної води в порах і на поверхні матеріалу. Вологість визначають у відсотках за масою або об'ємом. Вона може бути абсолютною або відносною.

Абсолютну вологість визначають як відношення маси вологи, яка знаходилась у матеріалі, до маси сухого матеріалу, а *відносну* – як відношення маси вологи до маси матеріалу у вологому стані.

Вологість матеріалу в будівельних конструкціях залежить від вологості навколишнього середовища, атмосферних явищ (дощ, танення снігу). Із зволоженням погіршуються теплозахисні властивості, морозостійкість та інші показники.

Гігроскопічність – це властивість матеріалу поглинати і конденсувати водяну пару з повітря. Вбирання вологи з повітря обумовлюється адсорбцією водяної пари на внутрішній поверхні пор і капілярною конденсацією. Коли цей процес супроводжується хімічною взаємодією з матеріалом, його називають

хемосорбцією. Наприклад, портландцемент при тривалому зберіганні, внаслідок хемосорбції поступово грудкується і втрачає свою активність.

Морозостійкість – це здатність матеріалу витримувати у водонасиченому стані навіперемінне заморожування і відтавання без суттєвих втрат міцності й маси.

1.2. Механічні властивості

Механічні властивості вказують на здатність матеріалу чинити опір руйнуванню або деформаціям (зміна форми і розмірів) під дією зовнішніх навантажень.

Такими властивостями є твердість, міцність, пружність, розтяжність, пластичність, крихкість.

Міцність – це здатність матеріалу чинити опір руйнуванню від внутрішніх напружень, що виникають під дією різних зовнішніх навантажень. У процесі експлуатації будівель і споруд будівельні матеріали найчастіше зазнають напружень стиску, згину, розтягу, зрізу та удару.

Зразки будівельних матеріалів випробовують на спеціальних пресах до руйнування, а межу міцності при стиску, МПа, обчислюють за формулою

$$R_{ст} = P / F,$$

де P – руйнівне навантаження (сила), МН; F – площа поперечного перерізу зразка до випробування, m^2 .

Межа міцності на згині, МПа, якщо навантаження зосереджене й прикладене в центрі,

$$R = 3P / 2bh^2.$$

Якщо два навантаження прикладені симетрично відносно осі балки, то

$$R = 3P (1 - a) / 2bh^2,$$

де P – руйнівне навантаження (сила), l – відстань між опорами, м; b , h – ширина й висота поперечного перерізу зразка, м; a – відстань між точками прикладання двох навантажень, м.

Твердість – це здатність матеріалу чинити опір місцевим деформаціям, які виникають тоді, коли в нього проникають інші, твердіші тіла.

Твердість металів, бетону, деревини та деяких інших матеріалів визначають, вдавлюючи у зразки з певним зусиллям кульку або наконечник (конус, піраміду). Ступінь твердості встановлюють за розміром відбитка. Число твердості за Брінеллем (НВ) визначають відношенням прикладеного навантаження Р до площі поверхні відбитка F і обчислюють за формулою, МПа,

$$\text{НВ} = \text{Р} / \text{F}.$$

Ступінь твердості мінералів гірських порід визначають за шкалою порівняльної твердості Мопса, яка складається з десяти мінералів – еталонів: тальк – 1; гіпс – 2; кальцит – 3; плавиковий шпат – 4; апатит – 5; ортоклаз – 6; кварц – 7; топаз – 8; корунд – 9; алмаз – 10.

Стиранність – це властивість матеріалу чинити опір впливу стиральних зусиль. Стиранність залежить від твердості матеріалу і характеризується зменшенням маси на одиницю площі поверхні зразка, що стирається, і визначається за формулою, кг/м²

$$\text{И} = (\text{m}_1 - \text{m}_2) / \text{F},$$

де m_1 і m_2 – маси зразка відповідно до й після стирання, кг; F – площа стиранок поверхні, м².

Практична робота № 2

Вивчення основних властивостей та оцінювання якості цементу

Мета роботи – вивчити діючі методи визначення фізико-механічних властивостей цементу.

Загальні відомості

Серед мінеральних в'язучих речовин найбільше застосування в будівництві мають портландцемент, шлакопортландцемент і портландцемент із мінеральними добавками. Цементи – гідралічні в'язучі речовини, які відзначаються здатністю до гідралічного твердіння на повітрі й у воді. За обсягами виробництва і застосування портландцемент (ПЦ) посідає перше місце серед інших в'язучих речовин.

Портландцемент – продукт тонкого подрібнення цементного клінкеру, що утворюється випалюванням до спікання при $+1450^{\circ}\text{C}$ вапнякових мергелів або штучної суміші з 75 % вапняку і 25 % глини. Під час помелу до клінкеру іноді додають активні мінеральні добавки (до 15%), а також інші речовини, які регулюють властивості цементу (двоводний природний гіпс, пластифікатори). Цемент виготовляється відповідно до ДСТУ Б В.2.7 – 46 – 96. За речовинним складом і міцністю на стиск цемент поділяється на такі типи й марки :

- тип I – портландцемент (від 0 до 5% мінеральних добавок), марки 300, 400, 500, 550, 600;
- тип II – портландцемент із добавками (від 6 до 35% мінеральних добавок), марки 300, 400, 500;
- тип III – шлакопортландцемент (від 36 до 80% доменного гранульованого шлаку), марки 300, 400, 500;
- тип IV – пуцолановий цемент (від 21 до 55% мінеральних добавок), марки 300, 400, 500;
- тип V – композиційний цемент (від 36 до 80% мінеральних добавок), марки 300, 400, 500.

Найважливіші будівельні властивості ПЦ залежать від мінерального та хімічного складу клінкеру, тонкості помелу цементу і питомої поверхні. Установлення фізико-механічних властивостей цементів виконують за ГОСТ 310.1 – 76 та ГОСТ 310.4- 81.

2.1. Визначення тонкості помелу

Тонкість помелу цементу характеризує ступінь його подрібнення і визначається ситовим аналізом. За ГОСТ 310.2 – 76 залишок на ситі № 008 має становити не більше ніж 15 %. Однак точнішою характеристикою тонкості помелу є питома поверхня, тобто сумарна площа поверхні всіх частинок цементу, які містяться в одному грамі або кілограмі. Для звичайного ПЦ вона дорівнює 2500 – 3000 $\text{см}^2/\text{г}$, або 250 – 300 $\text{м}^2/\text{кг}$. Установлено, що подальше подрібнення, вище за 6000 $\text{см}^2/\text{г}$, знижує міцність цементного каменю внаслідок перекристалізації гідратних сполук.

Із збільшенням тонкості помелу скорочуються строки тужавлення цементного тіста, зменшується ступінь гідратації цементу, що підвищує міцність портландцементного каменю (до визначених меж). Приріст питомої поверхні ΔS у $1000 \text{ см}^2/\text{г}$ приводить до збільшення міцності на 20 – 25%.

Для визначення тонкості помелу беруть сито із сіткою № 008, відважують на технічних вагах 50 г цементу, попередньо висушеного протягом 2 год при температурі $105 - 110 \text{ }^\circ\text{C}$, і висипають на сито, яке закривають кришкою та встановлюють у прилад для механічного просіювання.

Через 5 – 7 хв просіювання прилад зупиняють, забирають денце і висипають цемент, котрий пройшов крізь сито. Для того щоб сітка менше забивалась при подальшому просіюванні, її прочищають із нижнього боку м'яким пензлем, встановлюють денце та продовжують просіювання.

Цей процес вважають закінченим, якщо протягом 1 хв крізь сито при ручному просіюванні проходить не більше 0,5 % цементу. Тонкість помелу цементу обчислюють із похибкою, не більшою ніж 0,1%, як залишок на ситі із сіткою № 008 до початкової маси проби.

2.2. Розрахунок питомої поверхні

Для визначення питомої поверхні цементу використовують прилад ПСХ – 4. Принцип дії приладу базується на відношенні Козені – Кармона, що встановлює залежність між дисперсністю часток, пористістю шару і його проникливістю для повітря.

Для проведення аналізу пробу цементу висушують у сушильній шафі при температурі $105 - 110 \text{ }^\circ\text{C}$, а потім із неї беруть наважку 10 г, зважуючи на технічних вагах із точністю до 0,01 г.

У кювету приладу на дно, що має отвори, укладають кружок фільтрувального паперу, вирізаного по внутрішньому діаметру кювети, висипають на нього наважку і накривають її другим кружком фільтрувального паперу зверху. Після ущільнення шару проби плунжером шляхом тиску на нього рукою за допомогою конуса на планці плунжера та шкали на поверхні кювети вимірюють товщину шару цементу.

Потім видаляють плунжер, відкривають кран і за допомогою гумової груші створюють розрідження під шаром цементу. При цьому треба стежити, щоб рідина в манометрі піднялась до рівня верхньої колби. При закритому крані секундоміром вимірюють час проходження меніска рідини між двома рисками (при швидкому осіданні стовпчика рідини – між рисками 3 – 4, при повільному – між рисками 1 – 2). За допомогою термометра визначають і записують температуру повітря.

Розрахунок питомої поверхні здійснюють за формулою

$$S = K * \frac{M \sqrt{T}}{P}, \text{ см}^2/\text{г},$$

де K – постійна (за паспортом приладу), $K = 25,2$;

P – маса проби, г ;

T – час проходження повітря, с;

M – величина, що визначається за паспортом приладу залежно від температури повітря і товщини шару цементу;

S – питома поверхня цементу, $\text{см}^2/\text{г}$.

2.3. Визначення нормальної густини цементного тіста

Розрахунок нормальної густини цементного тіста здійснюється відповідно до ГОСТ 310.3 – 76. Установлюється кількість води у відсотках від маси взятого цементу, необхідної для надання цементному тісту відповідного ступеня пластичності. Ці дані потрібні для наступних визначень термінів тужавіння. Нормальну густину цементного тіста визначають на приладі „ВІКа”. У цьому випадку голку приладу заміняють металевим товкачиком діаметром 10 і довжиною 50 мм. Маса рухомого стрижня разом із товкачиком має становити 300 ± 2 г.

Перед початком випробування переконуються, що рухомий стрижень приладу падає вільно, товкачик чистий, стрілка при стиканні із скляною пластинкою знаходиться на нулі. Кільце і пластинку змащують тонким шаром машинного масла.

Для приготування цементного тіста відважують 400 г цементу, висипають його у сферичну металеву чашу, попередньо протерту вологою тканиною. У цементі роблять заглиблення, в яке за один прийом вливають попередньо відміряну воду в кількості, необхідній для одержання цементного тіста нормальної густини. Кількість води для першого пробного замішування цементу орієнтовно $100 - 112 \text{ см}^3$, тобто 25 – 28 % маси цементу. Заглиблення, в котре була налита вода, за допомогою лопатки заповнюють цементом і через 30 с після цього обережно перемішують, а потім енергійно розтирають тісто лопаткою у взаємно перпендикулярних напрямках, періодично повертаючи чашу на 90° . Тривалість перемішування і безперервного розтирання з моменту замішування цементу водою дорівнює 5 хв. Після закінчення перемішування цементне тісто укладають за один прийом у форму – кільце, яке п’ять – шість разів струшують, постукуючи пластинкою з притиснутим до неї кільцем об поверхню стола. Надлишок цементного тіста зрізують ножом, котрий попередньо протирають вологою тканиною. Кільце на скляній пластинці ставлять під стрижень приладу „ВІКа”, товкачик приводять у стикання з поверхнею тіста в центрі кільця і закріплюють у такому положенні затискним гвинтом. Швидко відпускають затискний гвинт, і стрижень разом із товкачиком вільно занурюється в тісто. Через 30 с із моменту звільнення стрижня фіксують глибину занурення товкачика за шкалою приладу.

Густина цементного тіста вважається нормальною, якщо товкачик не доходить до скляної пластинки на 5 – 7 мм. Якщо він, занурюючись у цементне тісто, зупиниться, дослід повторюють із більшою кількістю води, а якщо нижче – з меншою, домагаючись занурення товкачика на глибину, що відповідає нормальній густині тіста. Кількість води, яка додається для одержання тіста нормальної густини, вираженої у відсотках від маси цементу, визначають із похибкою до 0,25 %.

2.4. Визначення термінів тужавлення

Згідно з ГОСТ 310.3 – 76 початок і кінець тужавлення цементу визначають на цементному тісті нормальної густини за допомогою приладу „ВІКа”, але замість товкачика закріплюють сталю голку перерізом 1 мм² і довжиною 50 мм. Терміни тужавлення розраховують при температурі 20±5°С. Голку приладу доводять до зіткнення з поверхнею тіста, вкладеного в кільце, та закріплюють стрижень гвинтом. Звільняють стрижень і дають голці вільно занурюватися у цементне тісто через кожні 5 хв до початку тужавлення й через 10 хв після цього процесу. За початок тужавлення приймають час, що минув від початку замішування до моменту, коли голка не буде доходити до дна на 2 – 4 мм. Кінцем тужавлення вважають час від початку замішування до моменту, коли голка опускається в тісто не більше ніж на 1 – 2 мм. Початок тужавлення цементного тіста нормальної густини має наставати не раніше 45 хвилин для марок цементу 550 і 600 та не раніше 60 хвилин для марок цементів 300, 400, 500, а кінець тужавлення – не пізніше 10 годин після початку замішування. Ці строки тужавлення забезпечують можливість транспортування і застосування розчинових та бетонних сумішей до моменту втрати ними пластичності й легкоукладальності. Для регулювання термінів тужавлення до ПЦ додають гіпс природний мелений до 5%. З підвищенням температури тужавлення ПЦ прискорюється та навпаки.

2.5. Визначення нормальної консистенції цементно-піщаного розчину і виготовлення зразків-балочок

Для визначення нормальної густини цементно-піщаного розчину відважують 1500 г нормального вольського піску й 500 г цементу, висипають їх у сферичну чашу і перемішують лопаткою протягом 1 хв. У центрі сухої суміші роблять заглиблення та вливають у неї не менше 200 г води (В/Ц = 0,4).

Через 0,5 хв після того, як вода всотається, ще раз перемішують суміш протягом 1 хв. Розчин переносять у мішалку, де його механічно перемішують 2,5 хв.

Для визначення консистенції цементно-піщаного розчину використовують струшувальний столик і металеву форму-конус. Перед укладанням суміші внутрішню поверхню конуса та скляний диск зволожують. Розчинову суміш укладають у форму-конус двома шарами рівної товщини. Кожий шар ущільнюють. Нижній штикують 15, а верхній – 10 разів. Під час укладання й ущільнення розчину конус притискають рукою до скляного диска. Надлишок розчину зрізують ножем і форму-конус повільно піднімають. Далі, повертаючи рукоятку маховика, струшують столик 30 разів протягом 30±5 с, при цьому конус цементного розчину розпливається. Штангенциркулем або металевою лінійкою вимірюють розплив конуса по нижній основі у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Консистенцію розчину вважають нормальною, якщо розплив конуса становить 106 – 115 мм. При меншому розпливі конуса розчин готують заново, дещо збільшуючи кількість води для замішування. Якщо розплив конуса виявиться понад 115 мм, кількість води зменшують до одержання розпливу конуса в межах 106 – 115 мм.

Водопотребу розчину виражають у водоцементному відношенні, його значення записують до журналу і надалі використовують, готуючи розчин для виготовлення зразків-балочок.

Зразки-балочки формують у трьох гніздових металевих формах. Форму збирають, внутрішню поверхню стінок та піддону злегка змащують машинним маслом. На зібрану форму одягають металеву насадку.

Для ущільнення розчину підготовлену форму з насадкою закріплюють на стандартній віброплощадці, яка створює вертикальні коливання амплітудою 0,35 мм і частотою 2800 – 3000 коливань за 1 хв.

Готовий розчин укладають у гнізда форми шаром приблизно 1 см та вмикають віброплощадку. Протягом вібрації всі три гнізда форми рівномірно невеликими порціями заповнюють розчином. Через 3 хв від початку вібрації віброплощадку вимикають і з неї знімають форму. Готові зразки у формах витримують у ванні з гідравлічним засувом протягом 24 ± 1 год або у шафі, що забезпечує відносну вологість повітря не менше 90 %. Потім зразки розформовують та вкладають у горизонтальному положенні у ванну з водою, де зберігають до випробування.

Зразки із тривалістю твердіння 28 діб із моменту їх виготовлення випробовують на згин, а потім кожну з одержаних половинок – на стиск.

2.6. Визначення марки цементу

Марку цементу визначають за показниками границь міцності при стиску зразків-балочок розміром 40x40x160 мм, виготовлених із цементного розчину нормальної консистенції складу 1:3 (за масою) з нормальним вольським піском і випробуваних через 28 діб із моменту виготовлення.

Активність портландцементу – це границя міцності при стиску половинок балочок, випробуваних у віці 28 діб.

Пісок нормальний вольський для випробування цементів – це природний кварцовий пісок із зернами кулеподібної форми розміром 0,5 – 0,9 мм, який має SiO_2 98%, глинистих і пилоподібних частинок не більше 1%.

Випробування на згин проводять на машині "МІІІ-100". Балочку розміром 4 x 4 x 16 см поміщають у захват на дві опори, відстань між якими 10 см. Маховичок захвату загвинчують так, щоб стрілка коромисла знаходилася приблизно проти цифр 4 та 5 на шкалі приладу. Зразок навантажують за рахунок переміщення тарованого вантажу за напрямною коромисла. Кількість обертів лічильника пропорційна переміщенням вантажу і навантаженню на зразок. У кожний момент навантаження зразка лічильник фіксує напругу, кгс/м^2 . Машина вмикається опусканням рукоятки тумблера. У момент руйнування зразка коромисло падає, вдаряючись кінцем у шайбу гідравлічного пружинного амортизатора. Електродвигун при цьому вимикається, а лічильник фіксує результат випробування – границю міцності при згині матеріалу, кгс/м^2 . Якщо міцність зразка перевищує граничне навантаження, переміщення вантажу автоматично припиняється.

Границю міцності при згині цементно-піщаного розчину обчислюють як середнє арифметичне з двох найбільших результатів випробування трьох зразків-балочок.

На стиск половинки балочок випробовують гідравлічним пресом. Границю міцності при стиску визначають випробуванням шести половинок балочок, одержаних при випробуванні зразків на згин. Для передачі навантаження на половинки балочок використовують плоскі металеві пластинки розміром 40 x 62,5 мм площею 25 см². Кожну половинку балочки поміщають між двома пластинками так, щоб бічні грані, які при виготовленні розташовувалися біля поздовжніх стінок форми, збігалися з робочими поверхнями, а упори пластинок щільно прилягали до торцевої гладкої стінки зразка. За кінцевий результат приймають середнє арифметичне із чотирьох найбільших результатів випробування шести зразків-половинок. Випробування зразків-балочок на згин і їх половинок на стиск проводять через 28, 7 або 2 доби. Для переведення міцності балочок до 28-добового віку користуються логарифмічним законом зростання міцності, який має вигляд

$$R_{28} = R_n \cdot (\lg 28 / \lg n), \text{ кгс/см}^2.$$

Зразки-балочки та їх половинки при випробуванні повинні мати границю міцності при згині й стиску, не нижчу від указаних у табл. 1.

За результатами випробування визначається марка цементу.

Таблиця 2.1

Вимоги до міцності цементу

Марка цементу	Міцність при стиску, Н / мм ² , не менше		
	2 доби	7 діб	28 діб
300	-	15,0	30,0
400	-	20,0	40,0
400Р	15,0	-	40,0
500	15,0	-	50,0
500Р	25,0	-	50,0
550	20,0	-	55,0
600	25,0	-	60,0

Практична робота № 3

Підбір складу важкого бетону з хімічною добавкою

Мета роботи – на основі завдання, виданого викладачем, розрахувати склад важкого бетону з хімічною добавкою, приготувати бетонну суміш, виготовити зразки і визначити марку бетону.

Загальні відомості

Знаючи потрібні характеристики складових бетону, можна проектувати його склад, аби встановити таке співвідношення між компонентами, яке забезпечило б потрібну легкоукладальність бетонної суміші, а після затвердіння у задані строки – гарантовану міцність бетону за найменших витрат цементу.

Таким чином розв'язується комплексне завдання: технологічне, технічне й економічне.

Для регулювання властивостей бетону, а також для економії цементу все ширше застосовують різного роду добавки, що вводять у суміш на стадії перемішування. Розрізняють такі їх види: тонкомелені, які використовують для економії цементу, і хімічні – для змінювання властивостей бетону.

Значного розповсюдження набувають численні хімічні добавки, котрі класифікуються за функціональним призначенням та основним ефектом дії. Наприклад, пластифікуючі добавки, які регулюють легкоукладальність бетонної суміші, добавки-прискорювачі твердіння, протиморозні добавки або добавки поліфункціональної дії.

Особливо вигідно у виробництві збірного залізобетону використовувати суперпластифікатори. Це добавки нового типу, синтетичні полімерні речовини. Вони характеризуються значним розріджувальним ефектом і не сповільнюють твердіння бетону. Одним із таких суперпластифікаторів є С - 3.

Розрахунок складу бетону

Для заданої марки бетону за міцністю, легкоукладальністю бетонної суміші та характеристиками вихідних матеріалів (цементу, піску, щебеню) розраховуємо склад бетону.

Витрата цементу на 1 м^3 бетонної суміші визначається, виходячи з рекомендованої СНиП 3.01.23-83 його кількості для виготовлення бетонних виробів і відповідних коефіцієнтів за формулою

$$Ц_1 = Ц * K_1 * K_2 * K_3,$$

де $Ц$ – витрати цементу за СНиП 3.01.23-83, $\text{кг}/\text{м}^3$;

K_1 – коефіцієнт, що враховує крупність щебеню;

K_2 – коефіцієнт, який враховує крупність піску;

K_3 – коефіцієнт, що враховує найменшу густину цементного тіста.

Дані коефіцієнти знаходимо, користуючись [4, с.73, табл.9.7].

Таблиця 3.1

Коефіцієнти зміни витрат цементу залежно від нормальної густини цементного тіста

Нормальна густина цементного тіста, %	Коефіцієнт для бетону проектних марок		
	До М300	М350-М400	М450-М600
Менше 25	0,97	0,95	0,92
Від 25 до 27	1	1	1
Від 27 до 30	1,03	1,05	1,08
Більше 30	1,05	1,08	1,12

Таблиця 3.2

Коефіцієнти зміни витрат цементу при використанні щебеню і гравію з різною крупністю зерен

Найбільша крупність зерен заповнювача, мм	Коефіцієнт для бетону проектних марок	
	До М350 включно	М400 і вище
10	1,1	1,07
20	1	1
40	0,93	0,95
70	0,9	0,92

Водоцементне відношення (В/Ц) розраховуємо із закону міцності бетону Боломея-Скрамтаєва

$$R_o = AR_u (\text{Ц/В}-0,5),$$

де R_o – марка бетону;

R_u – активність цементу, кгс/см²;

Ц/В – цементоводне відношення;

A – коефіцієнт якості заповнювачів.

Даний коефіцієнт знаходимо, користуючись [4, с.82, табл. 9.17].

Таблиця 3.3

Коефіцієнти, котрі враховують якість заповнювачів бетону

Якість матеріалів	Коефіцієнт	
	A	A ₁
високоякісні	0,65	0,43
рядові	0,6	0,4
зниженої якості	0,55	0,37

Після перетворень визначаємо Ц/В, а наведена вище формула має такий вигляд:

$$\frac{\text{Ц}}{\text{В}} = \frac{R_o}{A * R_u} + 0,5.$$

Водоцементне відношення розраховується за формулою

$$\frac{\text{В}}{\text{Ц}} = 1 : \frac{\text{Ц}}{\text{В}},$$

а далі визначаються витрати води

$$B = C_1 * \frac{B}{C}, \text{ л/м}^3.$$

Витрати щебеню за масою на 1м³ бетонної суміші розраховуються за формулою

$$\text{Щ} = \frac{1000}{V_{\text{щ}} * \frac{\alpha}{P_{\text{щн}}} + \frac{1}{P_{\text{щ}}}},$$

де $V_{\text{щ}}$ – пустотність щебеню, в частках одиниць;

α – коефіцієнт розсунення зерен щебеню, приймається залежно від витрат цементу і водоцементного відношення за [4, с.82, табл.9.18];

$P_{\text{щн}}$ – насипна густина щебеню, кг/м³;

$P_{\text{щ}}$ – істинна густина цементу, кг/м³.

Таблиця 3.4

Значення коефіцієнта α для рухливих бетонних сумішей

Витрати цементу, кг/м ³	α при В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	1,3	1,36	1,42	-
350	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,4	1,46	-	-	-
500	1,52	1,56	-	-	-
600	1,56	-	-	-	-

Після визначення витрат щебеню розраховуються витрати піску, кг/м³,

$$П = \left[1000 - \left(\frac{C}{P_c} + \frac{\text{Щ}}{P_{\text{щ}}} + \frac{B}{P_v} \right) \right] * P_p,$$

де $\rho_c, \rho_{\text{щ}}, \rho_v$ – істинна густина відповідно цементу, щебеню, води, кг/м³;

$C, \text{Щ}, B$ – витрати цементу, щебеню, води, кг.

Кількість добавки С-3, л/м³, відповідної концентрації та щільності розраховується за формулою

$$A = \frac{C * C}{K * П}, \text{ л/м}^3,$$

де C – витрати цементу, кг;

C – дозування добавки, % ;

K – концентрація розчину добавки, %;

Π – щільність розчину добавки, г/см³.

Ураховуючи введення в суміш добавки С-3, в розчині відповідної концентрації необхідно відкоригувати кількість води для змішування. Пластифікуюча добавка зменшує витрати води на ту кількість, яка прийде у суміш із розчином добавки.

Витрати води в даному випадку розраховуються за формулою

$$B_1 = B - A * П * (1 - \frac{K}{100}),$$

де В – витрата води на 1 м³ бетону, л;

К – концентрація розчину добавки, %;

П – щільність розчину добавки, г/см³;

А – кількість добавки, л/м³.

Номінальний лабораторний склад бетону за масою визначаємо за формулою

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{П}{Ц} : \frac{Щ}{Ц} : \frac{В}{Ц}.$$

Коефіцієнт виходу бетонної суміші розраховуємо діленням об'єму бетонної суміші (1000 л) в ущільненому стані на суму об'ємів сухих складових, витрачених на її виготовлення,

$$\beta = \frac{1000}{\frac{Ц}{P_{ци}} + \frac{П}{P_{пн}} + \frac{Щ}{P_{щн}}},$$

де $P_{ци}, P_{пн}, P_{щн}$ – густина відповідно цементу, піску, щебеню, кг/м³.

Ураховуючи вологість піску і щебеню, вносять поправку на їх витрати та витрати води

$$П_1 = П + П * W_n;$$

$$Щ_1 = Щ + Щ * W_{щ};$$

$$B_2 = B_1 - (П * W_n + Щ * W_{щ}),$$

де $П_1, Щ_1, B_2$ – відкориговані витрати відповідно піску, щебеню, води;

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

Далі визначають витрати складових на один заміс бетонозмішувача з об'ємом барабана 1,2 м³ (1200 л) за формулами:

$$Ц_3 = Ц_1 * \frac{V_{б.з}}{1000} * \beta;$$

$$П_3 = П_1 * \frac{V_{б.с}}{1000} * \beta;$$

$$Щ_3 = Щ_1 * \frac{V_{б.з}}{1000} * \beta;$$

$$B_3 = B_2 * \frac{V_{б.з}}{1000} * \beta.$$

За визначеним складом готуємо заміс бетонної суміші об'ємом 7 л.

Він готується у такому порядку. Спочатку зважений пісок і цемент ретельно перемішують у зволоженому металевому кориті, додають щебінь та знову перемішують, поступово вливаючи воду з уведеною в неї добавкою. Змішування продовжують не менше 3 хвилин.

Після приготування бетонної суміші визначають її легкоукладальність за допомогою стандартного конуса. Зволожений конус ставлять на зволожену водою поверхню, притискають його, ставши ногами на нижні упори конуса. Заповнюють бетонною сумішшю форму конуса у три шари, ущільнюючи

кожний шар штикуванням металевим прутом. Кількість штикувань кожного шару – 25 разів.

Ущільнену суміш вирівнюють кельмою врівень із верхом зрізаного конуса, після чого піднімають його вертикально вгору і ставлять поряд для визначення осідання конуса, вимірюючи відстань від верхнього обрізу форми конуса до верха бетонної суміші з точністю до 0,5 см.

Потім формують 2 контрольних куби – зразки розміром 150x150x150 мм, маркують і витримують добу у формі, накривши вологою тканиною, у приміщенні з температурою $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$.

До випробувань зразки знаходяться в камері нормального твердіння при температурі $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 95–100 %. Марка бетону за міцністю визначається згідно з ГОСТ 10180 – 90.

Практична робота № 4

Вивчення факторів, які впливають на легкоукладальність бетонної суміші

Мета роботи – дослідити залежність легкоукладальності бетонної суміші від водовмісту та витрат цементу.

Загальні відомості

Під час формування виробів для забезпечення потрібної якості бетону після його затвердіння бетонна суміш повинна мати консистенцію, що відповідає умовам її укладення. Мірою консистенції є так звана легкоукладальність – здатність бетонної суміші заповнювати форму чи опалубку з найменшими затратами зовнішньої енергії.

Легкоукладальність бетонної суміші характеризується показниками рухливості або жорсткості. Рухливість бетонної суміші визначається у сантиметрах осідання бетонного конуса (ОК) за ГОСТ 10181.1 – 81, а жорсткість (Ж) – у секундах за допомогою спеціального приладу для визначення жорсткості.

Таблиця 4.1

Норма легкоукладальності бетонної суміші за різними показниками

Марка за легкоукладальністю	Норма легкоукладальності за показником	
	рухливості, см	жорсткості, с
П1	4 і менше	1 – 4
П2	5 – 9	-
П3	10 – 15	-
П4	16 і більше	-
Ж1	-	5 – 10
Ж2	-	11 – 20
Ж3	-	21 – 30
Ж4	-	31 і більше

Жорсткі суміші характеризуються відносно невеликим умістом води. Для їх формування потрібна механічна дія, наприклад вібрування. Рухливі суміші містять більше води й легко ущільнюються.

Факторами, що регулюють легкоукладальність, є: витрати води та цементу, характер заповнювачів.

Поліпшити легкоукладальність можна за рахунок уведення до складу суміші пластифікуючих добавок.

4.1. Залежність легкоукладальності бетонної суміші від її водовмісту при постійній витраті цементу

Із заданої кількості одних і тих же матеріалів готується декілька замісів об'ємом по 7 л кожний при постійній витраті цементу.

Замість бетонної суміші готується у такому порядку. Спочатку зважений пісок та цемент ретельно перемішують у зволоженому металевому кориті, додають щебінь і знову перемішують, поступово вливаючи воду. Змішування продовжують не менше 3 хвилин.

Після приготування бетонної суміші визначають її легкоукладальність за допомогою стандартного конуса. Зволожений конус ставлять на змочену водою поверхню, притискають, ставши ногами на його нижні упори. Заповнюють бетонною сумішшю форму конуса у три шари, ущільнюючи кожний шар штикуванням металевим прутом. Кількість штикувань кожного шару – 25 разів.

Ущільнену суміш вирівнюють кельмою врівень із верхом зрізаного конуса, після чого піднімають його вертикально вгору і ставлять поряд для визначення осідання конуса – рухливості бетонної суміші, вимірюючи відстань від верхнього обрізу форми конуса до верха бетонної суміші з точністю до 0,5 см.

Потім із кожного замісу формують по 2 контрольних куби – зразки, маркують та витримують добу у формі, накривши вологою тканиною, у приміщенні з температурою $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$.

До випробувань зразки знаходяться в камері нормального твердіння при температурі $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 95 – 100 %.

Міцність бетону визначається згідно з ГОСТ 10180 – 90. За отриманими даними випробувань будують графік залежності легкоукладальності (ОК або Ж) від витрат води та графік залежності міцності бетону від В / Ц.

4.2. Залежність легкоукладальності бетонної суміші від витрат цементу при постійному вмісті води

Із заданої кількості одних і тих же матеріалів готується декілька замісів об'ємом по 7 л кожний при постійному вмісті води замішування. Приготування замісів, визначення легкоукладальності бетонної суміші, формування контрольних кубів – зразків та випробування їх проводиться аналогічно викладеному в п. 4.1.

За отриманими даними випробувань будують графік залежності легкоукладальності (ОК або Ж) від витрат цементу і графік залежності міцності бетону від В / Ц.

Практична робота № 5

Вплив зернового складу заповнювачів на водопотребу бетонної суміші

Мета роботи – вивчити вплив зернового складу заповнювачів на водопотребу бетонної суміші.

Загальні відомості

Зерновий склад заповнювачів характеризується кількісним співвідношенням, % (за масою), зерен різного розміру, який визначається при просіюванні проби даного матеріалу через стандартний набір сит. Із точки зору витрат цементу доцільно збільшувати крупність використовуваних заповнювачів, але найбільша крупність заповнювача регламентується умовами укладання бетонної суміші у форми.

При оцінюванні якості заповнювачів велике значення має крупність, зерновий склад піску, через те що його питома поверхня у багато разів більша за питому поверхню крупного заповнювача, а це суттєво відбивається на витратах цементного тіста.

Оптимальний уміст піску в суміші залежить від багатьох факторів: пустотності крупного заповнювача, якості піску, витрат води та цементу в суміші.

Особливу увагу при підборі складу бетону має бути приділено вибору оптимального вмісту води в суміші, оскільки і раціональний склад заповнювача, і вміст води визначають значною мірою економічність складу бетону. Витрати цементу в бетоні є похідною від умісту в суміші, котра у свою чергу залежить від крупності та зернового складу заповнювачів.

Оптимальними будуть такі витрати води, при яких щільність укладання буде найбільшою, а коефіцієнт виходу суміші – найменшим.

Конгломератна будова бетону, що визначається концентрацією крупного заповнювача в об'ємі бетону, впливає також на його міцність.

Розрізняють два типи конгломератної будови бетону:

- з „плаваючим” крупним заповнювачем, коли його зерна та шматки відокремлені один від одного товстими прошарками розчину;
- з „контактним” розміщенням зерен і шматків крупного заповнювача, які утворюють неначе неперервний каркас чи скелет у бетоні.

У першому випадку міцність бетону в основному визначається міцністю цементно-піщаного розчину, в другому – відносним умістом крупного заповнювача в бетоні, стійкістю кам'яного каркаса й міцністю породи заповнювача.

5.1. Залежність водопотреби бетонної суміші від крупності піску

Із заданої кількості матеріалів готується декілька замісів об'ємом по 7 л кожний при постійних витратах цементу, піску, щебеню і різній кількості води.

При цьому в кожному замісі використовується пісок різної фракції (5; 1,25; 0,315), його готують шляхом просіювання через відповідні сита, а щебінь – постійної фракції для всіх замісів (5 – 20).

Експериментальним методом для замісу з найбільшою фракцією піску підбираємо кількість води, що забезпечує нормальне ОК, і фіксуємо дане значення ОК. У наступних варіантах заміси (з іншими фракціями піску) готуються з витратами води, які забезпечують замісу раніше фіксоване значення ОК, тобто всі заміси повинні мати одне й те ж значення ОК. Зважений цемент і пісок ретельно змішують у металевому кориті, додають щебінь та знову перемішують, поступово доливаючи необхідну кількість води для кожного замісу.

З кожного замісу формується по два контрольних куби-зразки розміром 15x15x15 см, котрі маркують, витримують добу у формі, накривши вологою тканиною, у приміщенні з температурою $+20^0 \pm 2^0 \text{C}$. До випробувань зразки знаходяться у камері нормального твердіння при температурі $+20^0 \pm 2^0 \text{C}$ і відносній вологості 95 – 100%.

Міцність бетону визначається згідно з ГОСТ 10180-90. За отриманими даними будують графік залежності міцності бетону від витрат води, а також витрат води від використаної фракції піску.

5.2. Залежність водопотреби бетонної суміші від найбільшого розміру крупного заповнювача

Із заданої кількості матеріалів, як і в попередньому випадку, готується декілька замісів об'ємом 7 л кожний при постійних витратах цементу, піску, щебеню і різній кількості води. При цьому в кожному замісі використовується щебінь різної фракції (5 – 10, 10 – 20, 20 – 40), а пісок кварцовий – змішаний.

Експериментальним методом для замісу з найменшою фракцією щебеню підбираємо кількість води, що забезпечує замісу раніше фіксоване значення ОК, тобто всі заміси мають одне і те ж значення ОК.

Зважений цемент та пісок ретельно змішують у металевому кориті, додають необхідну фракцію щебеню і знову перемішують, поступово доливаючи необхідну кількість води для кожного замісу.

З кожного замісу формується по два контрольних куби-зразки розміром 15x15x15 см, які маркують, витримують добу у формі, накривши вологою тканиною, у приміщенні з температурою $+20^0 \pm 2^0 \text{C}$. До випробувань зразки знаходяться у камері нормального твердіння при температурі $+20^0 \pm 2^0 \text{C}$ і відносній вологості 95 – 100%.

Міцність бетону визначається згідно з ГОСТ 10180-90. За отриманими даними будують графік залежності міцності бетону від витрат води, а також витрат води від використаної фракції щебеню.

Практична робота № 6

Вплив ступеня ущільнення бетонної суміші на міцність бетону при постійному В/Ц

Мета роботи – вивчити вплив ступеня ущільнення бетонної суміші на міцність бетону при постійному В/ Ц.

Загальні відомості

Відомо, що міцність бетону прямо пропорційна активності цементу і Ц/В. Разом із тим на міцність бетону впливає також ступінь ущільнення бетонної суміші. Оптимальне значення Ц/В бетонної суміші може змінюватися залежно від ступеня її ущільнення. Так, із збільшенням інтенсивності ущільнення бетонної суміші оптимальне значення Ц/В зменшується, міцність бетону одного складу при одних і тих же витратах цементу зростає, та, навпаки, при зменшенні інтенсивності ущільнення бетонної суміші міцність бетону зменшується при інших рівних умовах.

Це відбувається внаслідок того, що в міру збільшення цементоводного відношення, а відповідно і жорсткості суміші (при постійній кількості води в ній) прийнятий ступінь ущільнення вже не забезпечує необхідної щільності бетону.

Зв'язок між міцністю бетону при стиску та ступенем ущільнення оцінюється коефіцієнтом ущільнення

$$K_{\text{ущ.}} = \rho_m^{\Phi} / \rho_m^T,$$

де ρ_m^{Φ} – фактична середня густина бетонної суміші, яка встановлюється експериментально;

ρ_m^T – теоретична середня густина бетонної суміші, що визначається за абсолютними об'ємами.

6.1. Залежність міцності бетону від ступеня ущільнення бетонної суміші (при постійному В/Ц)

Матеріали : цемент – ПЦ 400, $\rho_a = 3,15 \text{ г/см}^3$;

пісок – кварцовий, $\rho_a = 2,65 \text{ г/см}^3$;

щебінь – гранітний, фракції 10 – 20 мм, $\rho_a = 2,67 \text{ г/см}^3$.

Розраховують чи призначають витрати матеріалів на один заміс об'ємом 3,5 л при В/Ц = 0,4. Потім здійснюється розрахунок витрат матеріалів на загальний заміс 14 л. Далі визначається загальна маса бетонної суміші об'ємом 3,5 л. Виходячи з витрат матеріалів на один заміс об'ємом 3,5 л, установлюється сума абсолютних об'ємів складових матеріалів бетонної суміші.

Визначається теоретична середня густина бетонної суміші із залежності

$$\rho_m^T = m / V,$$

де m – загальна маса бетонної суміші об'ємом 3,5 л ;

V – сума абсолютних об'ємів складових матеріалів бетонної суміші.

Формування кубів-зразків для дослідження проводиться окремими ланками. Кожна ланка формує по 3 куби розміром 100x100x100 мм загальним об'ємом 3 л.

Маса бетонної суміші, яка підлягає укладанню у форми, розраховується за визначеною раніше середньою густиною бетонної суміші з урахуванням $K_{уш.}$.

Приймаються такі значення $K_{уш.}$ за даними:

ланка № 1 – $K_{уш.} = 0,99$;

ланка № 2 – $K_{уш.} = 0,95$;

ланка № 3 – $K_{уш.} = 0,93$;

ланка № 4 – $K_{уш.} = 0,90$.

Розрахувавши кількість бетонної суміші для заповнення однієї форми, укладають її у форми врівень з її краями при різних способах ущільнення:

ланка № 1 – вібруванням ($K_{уш.} = 0,99$);

ланка № 2 – вібруванням ($K_{уш.} = 0,95$);

ланка № 3 – штикуванням ($K_{уш.} = 0,93$);

ланка № 4 – вільним укладанням ($K_{уш.} = 0,90$).

Для визначення міцності бетону при стиску згідно з ГОСТ 10180-90 виготовляють зразки-куби. Зразки виготовляють у розбірних формах.

Перед укладанням бетонної суміші форми очищують від залишків бетону, внутрішню поверхню покривають мастилом. Метод укладання й ущільнення бетонної суміші у формах залежить від її рухливості. При рухомій суміші форму заповнюють одним шаром. Жорстку суміш заповнюють декількома шарами при штикуванні кожного шару окремо. Кількість штикувань приймається з розрахунку 10 занурювань на кожні 100 см² поверхні. Після закінчення штикування верхнього шару надлишок бетону зрізують металевою лінійкою врівень із краями форми, поверхню зразка загладжують.

При ущільненні вібруванням бетонну суміш укладають у форму з деяким надлишком, після чого форму ставлять на вібромайданчик і закріплюють зажимами. Вібрування повинне продовжуватися до повного ущільнення, що характеризується відсутністю просідання бетонної суміші у формі. Орієнтовний час вібрування дорівнює показнику жорсткості, збільшеному на 30 с.

Після ущільнення зразки у формах, накритих вологою тканиною, зберігають у приміщенні при температурі 16 – 20 °С протягом 1 доби, потім виймають із форми, маркують і до моменту випробувань поміщають у камеру нормального твердіння при температурі 20±2°С із відносною вологістю не менше 95%.

Міцність на стиск зразків-кубів визначають таким чином. Зразки виймають із камери вологого зберігання, оглядають, а виявлені раковини заповнюють густим цементним розчином. Під час випробувань зразок кладуть на нижню опорну плиту преса центрально по осі останнього. Навантаження на зразок при випробуваннях повинне зростати неперервно із швидкістю 0,4 – 0,8 МПа/с до руйнування зразка.

Результати випробувань заносять до таблиці та будують графіки залежності міцності бетону від коефіцієнта ущільнення й міцності бетону від густини бетонної суміші.

Міцність при стиску визначається як відношення руйнівного навантаження до площі поперечного перерізу зразка.

Куби-зразки тверднуть за нормальних умов. Міцність бетону встановлюється згідно з ГОСТ 10180 – 90. Результати випробувань заносять до таблиці та будують графіки залежності міцності бетону від коефіцієнта ущільнення й міцності бетону від густини бетонної суміші.

Практична робота № 7

Вплив режимів ущільнення бетону на його міцність

Мета роботи – вивчити вплив режимів ущільнення бетону на його міцність.

Загальні відомості

Ступінь віброоброблення бетонної суміші полягає в тому, що за допомогою вібраторів їй передаються часті імпульси, які періодично повторюються. Під дією цих імпульсів частинки суміші роблять вимушені коливання відносно певного свого середнього положення.

Завдяки високій швидкості коливальних рухів малорухливі та жорсткі бетонні суміші стають при відповідному режимі вібрування рухомими, текучими.

Розрідження обумовлене зменшенням сил внутрішнього тертя до мінімуму в результаті дії на суміш віброімпульсів. Як тільки вібраційна дія припиняється, сили внутрішнього тертя відновлюються. Пояснюється це тим, що при віброобробленні в суміші утворюється тиск, протилежний за напрямком і знаком діючій силі ваги. При цьому частинки на короткий відрізок часу в кожному періоді коливань віддаляються одна від одної, сили внутрішнього тертя між ними зменшуються.

При достатніх за інтенсивністю віброімпульсах величина протидії, що виникає в суміші, може переважити дію сили ваги; сили тертя зникають повністю і суміш набуває властивості рідини.

У кожний наступний відрізок часу цього ж періоду коливання частинки виконують зворотний рух назустріч одна одній, розташовуючись при цьому ще компактніше, ніж у попередній період коливань. У результаті суміш, яка вібрує, ущільнюється.

Ступінь ущільнення бетонної суміші визначається вибраним режимом вібрування – його інтенсивністю і тривалістю, а також тим, наскільки прийняті параметри вібрації (амплітуда, частота) відповідають характеристиці суміші, що ущільнюється.

Ефективність віброоброблення може бути оцінена міцністю затверділого бетону, котра, як відомо, є функцією його щільності.

7.1. Вивчення впливу режимів ущільнення бетону

Зважують матеріали (цемент, пісок, щебінь), потрібні для загального (на три ланки) пробного замісу (21 л), зволожують корито, в яке всипають пісок, цемент, та змішують їх, після чого висипають щебінь і поступово додають воду, продовжуючи змішування. Тривалість змішування має бути не меншою ніж 3 хв.

Для поставленої задачі найкращою рухливістю замісу є рухливість, що відповідає осіданню конуса на 1 – 2 см.

Кожна ланка формує по 2 контрольних куби-зразки розміром 150x150x150 мм і проводить ущільнення бетону на вібростолі. Час ущільнення – 60 сек.

Перша ланка виконує віброущільнення при стандартних параметрах: амплітуда віброущільнення $A=0,35$ мм, кількість коливань $n=3000$ коливань/хв.

Друга ланка здійснює віброущільнення при амплітуді $A=0,5$ мм і кількості коливань $n=3000$ коливань/хв.

Третя ланка виконує віброущільнення при амплітуді $A=0,8$ мм та кількості коливань $n=3000$ коливань/хв.

Зміна амплітуд регулюється зміною дебалансних мас на валу вібростола. Амплітуда вимірюється за допомогою вібрографа, який прикладається до вібростола під час віброущільнення зразків.

Інтенсивність вібрації визначається за формулою

$$I=A^2 * n^3, \text{ см}^2/\text{сек}^3.$$

Густину бетону після віброущільнення обчислюють за формулою

$$\rho_m=(m_{\text{заг}} - m_{\text{ф}})/V_{\text{ф}},$$

де $m_{\text{заг}}$ – загальна вага зразка з формою, кг;

$m_{\text{ф}}$ – вага форми, кг;

$V_{\text{ф}}$ – об'єм форми, м³.

Отримані результати заносять до таблиці для подальшого аналізу.

Зберігають зразки протягом доби у формах, а потім 27 діб у камері нормального твердіння при температурі $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 95 – 100%.

Міцність бетону визначається руйнівним способом відповідно до ГОСТ 22783-77.

Одержані результати заносять до таблиці, за якою будують графіки, що показують залежність інтенсивності вібрації від густини бетону й інтенсивності вібрації від міцності бетону, за котрими роблять кінцеві висновки.

Рекомендована література

1. Гершберг О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий: Учебник. – М.:Стройиздат, 1971.- 359 с.
2. Стефанов Б.Ф. Технология бетонных и железобетонных изделий. Учебник. – К.:В. шк., 1982.- 406 с.
3. Русанова Н.Г. Технологія бетонних і залізобетонних виробів. – К.:В. шк., 1994.- 334 с.
4. Михайлов К.В., Королев К.М. Производство сборных железобетонных изделий: Справочник. – М.: Стройиздат, 1989. - 447 с.

Навчально-методичне видання

Будівельне матеріалознавство : метод. вказ. до виконання практичних робіт для студ. спец. 192 - Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання / [уклад. : В. В. Дарієнко, І. О. Скриннік, О.А. Плотніков, В.В. Пукалов] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. будівельних, дорожніх машин і будівництва. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. - 28 с.

Редактор *В.О.Омельяненко*

Комп'ютерний набір та верстка *М.О. Федотова*.

Тиражування на різнографі *В.О.Омельяненко*.

Здано до друку "___".___2020. Підписано до друку "___"___2020. Формат 64x84 1/16 (A5). Папір газетний. Умов. друк. арк. . Тираж 150 прим. Зам. №___/ 2020.

РВЛ ЦНТУ. м. Кропивницький, пр. Університетський, 8-А. Тел.: 390-541, 559-245.