

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ

**КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТРАНСПОРТУ**

Кафедра „Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд”

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ**

Частина 2

Для студентів спеціальності 8.100502 “Залізничні споруди та колійне господарство” денної та заочної форм навчання

Київ 2007

УДК 691.32/34

Дорошенко О.Ю.

Будівельні матеріали: Методичні вказівки для самостійної роботи студентів вищ. навч. закл. залізн. трансп. / О.Ю. Дорошенко. – К.: КУЕТТ, 2006. – 40 с.

Для студентів вищих навчальних закладів залізничного транспорту, що навчаються за спеціальністю 8.100502 “Залізничні споруди та колійне господарство”.

В методичних вказівках для самостійної роботи студентів викладено загальні відомості про вибір вихідних матеріалів для бетонів, розрахунок його складу, оцінка фізико-механічних властивостей бетону, вибір оптимальних параметрів приготування бетонних сумішей, формування монолітних і залізобетонних конструкцій, контроль якості. Також навчить вирішувати задачі і приклади по ущільненню і прискоренню твердіння бетону.

Методичні вказівки є посібником для вивчення розділів курсу „Будівельні матеріали” для студентів вищих навчальних закладів залізничного транспорту.

Рекомендовано на засіданні кафедри (протокол № 2 від 20. 09. 2006 року) та узгоджені з методичною комісією факультету (протокол № 1 від 26. 09. 2006 року).

Автор: О.Ю. Дорошенко, канд. техн. наук, доц.

Рецензенти: А.Н. Бессараб, канд. техн. наук, доц. НТУ
А.Д. Возненко, канд. техн. наук, доц. КУЕТТ

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Теоретичні положення.....	5
1.1 Бетони.....	5
1.1.1 Загальні відомості	5
1.1.2 Класифікація бетонів.....	5
1.1.3 Основні вимоги до бетонних сумішей та бетонів.....	6
1.1.4 Бетонна суміш і добавки до неї.....	6
1.1.5 Проектування складу бетону.....	9
1.1.6 Загальні властивості важкого бетону.....	12
2 Рішення задач.....	14
2.1 Загальні властивості бетону.....	14
2.2 Складові важкого бетону.....	17
2.2.1 Цемент.....	17
2.2.2 Заповнювачі.....	18
2.3 Розрахунок складу бетону.....	19
2.3.1 Загальний розрахунок складу бетону.....	19
2.3.2 Правило водоцементного співвідношення.....	21
2.3.3 Вплив міцності і якості матеріалів на склад бетону.....	23
2.3.4 Розрахунки за формулою логарифмічного закону зростання міцності бетону у часі.....	25
2.4 Вплив добавок на властивості важкого бетону.....	26
2.5 Виготовлення бетонної суміші.....	34
2.6 Ущільнення бетонної суміші.....	35
2.7 Випробування і контроль якості бетону.....	37
3 Завдання для самостійної роботи студентів.....	39

Вступ

Технологія виробництва бетонних і залізобетонних конструкцій з кожним роком вдосконалюється, створюються нові бетони, покращуються фізико-механічні властивості традиційних важких і легких бетонів, розробляються нові ефективні конструкції, покращується технологія виробництва монолітного і збірного залізобетону, застосовуються сучасні системи контролю і управління якістю готових бетонних і залізобетонних виробів.

У результаті використання різноманітних прийомів сьогодні є можливість ефективно застосовувати високоякісний багатокomпонентний цементний камінь, модифікований мінеральними і хімічними добавками для виробництва бетонів різних видів і призначення.

У зв'язку з цим будівельній індустрії необхідно мати більшу кількість висококваліфікованих інженерів, яким прийдеться вирішувати конкретні завдання технології і організації виробництва монолітних і збірних залізобетонних конструкцій.

З практики викладання відомо, що курс „Будівельні матеріали” студенти добре засвоюють, розв'язуючи приклади і задачі по визначенню властивостей, складу, технології вироблення і застосування цементного бетону в транспортному будівництві паралельно з вивченням теорії.

Мета цієї роботи – допомогти студентам зміцнити теоретичні знання, навчитися їх використовувати в дорожньо-будівельній практиці і сприяти оволодінню ними навичками і методикою розв'язання виробничих та пошукових задач. Для цього необхідно особливу увагу приділити тим матеріалам та виробам, які безпосередньо використовуються при будівництві залізниць та автомобільних доріг, знати як переваги, так і недоліки кожного з матеріалів.

Особливої уваги та ретельного вивчення потребують такі матеріали, як природні кам'яні матеріали, мінеральні в'язучі, цементний бетон та матеріали для його виготовлення. Для розв'язання виробничих та пошукових задач потрібні знання з властивостей будівельних матеріалів, інженерної геології, фізики, хімії, основ опору матеріалів і, в ряді випадків, з основ вищої математики. Розв'язувати задачі можна як під час занять в аудиторіях, так і при виконанні студентами самостійних завдань. У кожному окремому випадку викладач, орієнтуючись на пропоновані приклади, може створювати їх варіанти.

1 Теоретичні положення

1.1 Бетони

1.1.1 Загальні відомості

Бетон – це штучний каменеподібний матеріал, результат твердіння раціонально дібраної суміші в'язучого, заповнювачів, води і, у разі потреби, спеціальних добавок. До затвердіння цю суміш називають *бетонною*.

Одночасно бетон є економічним матеріалом, оскільки вироби з нього більш як на 80 % об'єму складаються з місцевої сировини: піску, щебеню, гравію чи побічних продуктів промисловості у вигляді шлаків, золи тощо.

Оскільки бетон – штучний будівельний конгломерат, то, змінюючи склад бетонної суміші, можна в період формування надавати виробам і конструкціям практично будь-якої конфігурації та розмірів, а після затвердіння одержувати задані в широкому діапазоні властивості щодо міцності, щільності, теплопровідності. Суміш ретельно гомогенізують у бетонозмішувачах різної конструкції, укладають в опалубку або форми й ущільнюють механізованими способами. Відформована суміш затвердіває в природних, а з метою прискорення твердіння – в штучних тепловологових умовах (пропарювання, автоклавна обробка, електропрогрівання, без парове прогрівання, попереднє розігрівання тощо) з додержанням спеціальних режимів або при введенні комплексу хімічних добавок.

1.1.2 Класифікація бетонів

У зв'язку з численністю видів, складів і властивостей бетонів їх класифікують за такими ознаками:

- за *основним призначенням* бетони поділяють на конструкційні і спеціальні (жаро- та хімічно стійкі, декоративні, радіаційно-захисні, теплоізоляційні тощо);

- за *видом в'язучого* – на основі цементних, вапняних, гіпсових, шлакових, спеціальних в'язучих;
- за *видом заповнювачів* – на щільних, пористих і спеціальних заповнювачах;
- за *структурою* – щільні, поризовані, ніздрюваті, крупнопористі.

Крім того, бетони класифікують за *середньою густиною*:

- особливо важкий середньою густиною понад 2500 кг/м³. Такий бетон на заповнювачах із звичайних щільних гірських порід одержати не вдається, тому використовують барит, залізні руди, сталеві ошурки, стружки;
- важкий (звичайний) середньою густиною 2200...2500 кг/м³ на заповнювачах із щільних гірських порід (щебінь, гравій, пісок). Це найпоширеніший різновид бетону;
- полегшений середньою густиною 2000...2200 кг/м³ на заповнювачах зниженої щільності (вапняк-черепашник, цегельний бій);
- легкий середньою густиною 500...2000 кг/м³ на природних і штучних пористих заповнювачах (вулканічні та вапнякові туфи, пемза, керамзит, шлакова пемза, аглопорит);
- особливо легкий середньою густиною до 500 кг/м³; це насамперед ніздрюваті бетони та бетони на особливо легких заповнювачах (спучені перліт і вермикуліт).

Розрізняють також бетони за *розмірами крупного заповнювача*. Верхня границя крупності заповнювача лімітується перерізом елемента виробу чи конструкції, розміщенням та ступенем насичення арматурою, відстанями між її прутками.

За розмірами заповнювача розрізняють бетон:

- крупнозернистий – із заповнювачем найбільшою крупністю від 10 до 150 мм;
 - дрібнозернистий – із заповнювачем найбільшою крупністю до 10 мм.
- Його різновидом є цементно-піщаний бетон з крупністю піску до 5 мм, який відрізняється від розчину вищими вимогами щодо піску, меншою рухливістю суміші і більшим вмістом цементу.

1.1.3 Основні вимоги до бетонних сумішей та бетонів

До закінчення формування суміші мають перемішуватися, транспортуватися й укладатися з найменшими затратами енергії; не розшаровуватися; швидкість твердіння відформованого бетону має відповідати заданим строкам розпалублення; витрата цементу в суміші має бути обгрунтовано мінімальною, оскільки він є найдорожчим компонентом.

Бетони для конструкцій повинні мати задану міцність, а для відкритих частин будівель і споруд – достатню морозостійкість.

Бетони для гідротехнічних споруд повинні забезпечувати високу водонепроникність, стійкість проти вилуговувальної дії фільтрувальних та мінералізованих вод, мати задану міцність і морозостійкість, малу усадку та низьке тепловиділення при твердінні в масивних частинах споруд.

Бетони для стін опалюваних будівель при заданій міцності повинні мати знижену середню щільність, щоб забезпечити низьку теплопровідність.

Бетони для підлог промислових будівель мають бути зносостійкими й міцними на вигин, а бетони для дорожніх і аеродромних покриттів, крім того, – морозостійкими.

Якщо бетони проектують для вузько спеціальних галузей застосування, вимоги до них формулюють більш цілеспрямовано й детально.

1.1.4 Бетонна суміш і добавки до неї

Бетонна суміш – це складна багатокомпонентна система, яку утворюють: зерна цементу, що реагують з водою замішування; заповнювачі, що утворюють скелет майбутнього бетону; вільна вода й повітря, втягнуте під час перемішування та укладання суміші.

Фізико-хімічна взаємодія між дисперсними часточками твердої фази та водою (у цементному тісті) забезпечує всій системі певну зв'язність, і тому вона може розглядатися як фізичне тіло з притаманними йому властивостями. З часом і під впливом зовнішніх факторів це тіло змінює свій стан від рідкого до твердого за схемою: пластичне → в'язке → пружне. Головну роль у змінюванні стану суміші відіграє цементне тісто, а в ньому – властивості в'язучого.

Тут корисно простежити: якщо для гідратації цементу стехіометрично потрібно 15...20 % води за масою залежно від мінералогічного складу й тонкості помелу, для нормальної густоти треба – 24...30 %, то для бетонної суміші – практично 40...70 % ($V/C = 0,4...0,7$). Потреба щодо надлишків води диктується лише реологічними умовами перемішування та ущільнення.

Під час бетонування для забезпечення потрібної якості бетону після його затвердіння бетонна суміш повинна мати консистенцію, яка відповідає умовам її укладання. Мірою консистенції є *легкоукладальність* – здатність бетонної суміші заповнювати форму чи опалубку з найменшими витратами зовнішньої енергії. Це найважливіший технологічний показник. Щоб оцінити легкоукладальність суміші, розроблено технічні характеристики: рухливість і жорсткість. Рухливість суміші (Р) виражають у сантиметрах осадки суміші (ОК), яку визначають за допомогою стандартного конуса. Якщо суміш після зняття стандартного конуса не осідає, тобто якщо $ОК = 0$, то використовують спеціальний прилад для визначення жорсткості (Ж) в секундах.

Жорсткі суміші характеризуються відносно невеликим вмістом води. Для їх формування потрібна механічна дія, наприклад вібрування з привантаженням чи вібропрокатуванням, які можливі лише в умовах заводів залізобетонних

виробів. Водночас, використовуючи жорсткі суміші, можна знижувати витрату цементу.

Рухливі суміші містять води більше й тому легше ущільнюються вібруванням, використовуються переважно при монолітному бетонуванні.

Важливий показник суміші – її зв'язність, яка перешкоджає розшаруванню. Розшарування суміші призводить до неоднорідності структури бетону, в подальшому – до неоднорідності за міцністю.

Отже, назвемо фактори, які регулюють легкоукладальність та нерозшаровуваність бетонної суміші: витрата води; вид цементу; об'єм цементного тіста; об'єм розчинової частини; вид заповнювачів (щебінь або гравій); наявність пластифікуючої добавки.

Добавки до бетонної суміші. Для регулювання властивостей бетонної суміші та бетону, а також для економії цементу, все ширше застосовують різного роду добавки, які вводять у суміш на стадії перемішування.

Розрізняють два види добавок: тонкомелені, які вводять у кількості 5...20 % до маси цементу для його економії й одержання щільного та стійкого бетону при малих витратах цементу, і хімічні, які вводять у невеликій кількості (0,1...2,0 % до маси цементу) для змінювання властивостей бетонної суміші та бетону в потрібному напрямі.

Пластифікуючі добавки збільшують рухливість, тобто знижують жорсткість суміші, не знижуючи міцності бетону. Представником *гідрофільно-пластифікуючих* добавок є ЛСТ (лігносульфонат технічний). Використовуючи пластифікатори, можна:

- поліпшити легкоукладальність бетонної суміші за тієї самої витрати цементу та міцності бетону;

- знизити витрату води за незмінної витрати цементу (зменшується В/Ц-відношення), що сприяє збільшенню міцності бетону;

- знизити витрати води й цементу, зберігши ту саму легкоукладальність. Міцність бетону не змінюється, а витрата цементу зменшується на 8...10 %.

До гідрофобно-пластифікуючих добавок належать милонафт, гідрофобізуючі сполуки ГКЖ-10 (етилсиліконат натрію), ГКЖ-11 (метилсиліконат натрію), ГКЖ-94 (етилгідросилоксанова рідина). Ці добавки застосовують для бетонів з малими витратами цементу ("знежирені" бетони).

Суперпластифікатори – це добавки нового типу, синтетичні полімерні речовини. Уводять їх у бетонну суміш у кількості 0,2...1,2 % до маси цементу. Вони характеризуються сильним розріджувальним ефектом і не сповільнюють твердіння бетону, дія їх звичайно обмежується строком 2...3 год від моменту введення.

Серед вітчизняних суперпластифікаторів слід назвати (за ступенем поширеності): С-3, 10-03, 40-03, ЛСТМ, Дофен, ОП-7.

Прискорювачі твердіння призначаються, насамперед, для наближення строків розпалублення при монолітному бетонуванні, а у виробництві збірного

залізобетону – для скорочення режимів теплової обробки виробів та збільшення оборотності форм.

Найпоширенішими в практиці прискорювачами є: хлорид кальцію CaCl_2 , сульфат натрію Na_2SO_4 , поташ K_2SO_4 , нітрати кальцію $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ та натрію NaNO_3 . Іноді застосовують і комбіновані добавки, наприклад нітрит-нітрат кальцію, нітрит-нітрат-хлорид кальцію.

Щоб *сповільнити тужавіння* цементу, застосовують добавки, які одночасно зменшують водопотребу суміші та витрату цементу. Хороші результати в такому разі дають органічні сполуки (ЛСТ) та кремнійорганічні рідини ГКЖ-10 і ГКЖ-11 у підвищених дозах.

Як *протиморозні добавки* в умовах зимового бетонування застосовують хлориди кальцію і натрію, поташ, дія яких ґрунтується на зниженні температури замерзання води.

Повітровтягувальні добавки зменшують поверхневий натяг води й при перемішуванні бетонної суміші сприяють втягуванню в неї найдрібніших повітряних бульбашок. Представники цих добавок: смола нейтралізована повітровтягувальна (СНП) та смола деревна омилена (СДО).

1.1.5 Проектування складу бетону

Метою проектування складу бетону є встановлення такого співвідношення між його компонентами, за якого витримується необхідна легкоукладальність бетонної суміші (рухливість або жорсткість), а після затверднення досягається в задані строки гарантована міцність бетону при найменшій витраті цементу. Таким чином, комплексно вирішуються завдання технічне, технологічне й економічне.

У загальному випадку проектування бетону вміщує: визначення вимог до бетону виходячи з виду споруд або виробів, особливостей їх виготовлення і служби; вибір матеріалів для бетону й визначення їх характеристик; попередній розрахунок складу бетону; перевірка складу в пробних замісах; корегування складу при коливанні властивостей заповнювачів. Визначаючи склад бетону, враховують вимоги ДСТУ.

Відповідно до конкретних умов занять проектування складу бетону передбачає виконання ряду етапів:

1 Визначення проектних даних; задана марка бетону за міцністю на стиск, МПа або кГс/см^2 ; OK або Ж – легкоукладальність суміші (рухомість, см, жорсткість, с). Ці дані беруть з проектної документації, якщо їх не задають викладачі.

2 Визначення вихідних даних (характеристик компонентів). Вид цементу, його активність R_u , МПа або кГс/см^2 ; дійсна густина складових ρ_u ; ρ_n ; $\rho_{ш(г)}$, кг/м^3 ; міжзернова пористість крупного заповнювача $V_{п.ш(г)}$, в долях одиниці; найбільша крупність зерен крупного заповнювача $D_{нб}$, мм; вологість заповнювачів (коли потрібний перерахунок складу на виробничий);

насипна густина складових - $\rho_{нц}$; $\rho_{нп}$; $\rho_{нц(Г)}$, $кг/м^3$; якісна характеристика заповнювачів; α – коефіцієнт розсуву зерен щебеню.

3 Попередній розрахунок складу бетону. Існують різні методи розрахунку складу бетону, але в основі кожного з них лежить принцип “абсолютних об’ємів”. Його суть полягає у допущенні, що сума абсолютних об’ємів компонентів ущільненої бетонної суміші дорівнює $1 м^3$, що виражається рівнянням

$$\frac{Ц}{\rho_c} + \frac{П}{\rho_n} + \frac{Щ(Г)}{\rho_{щ(г)}} + \frac{В}{\rho_в} = 1, \quad (1.1)$$

де $Ц$, $П$, $Щ(Г)$, $В$ – витрати цементу, піску, щебеню (гравію), води на $1 м^3$ бетонної суміші, кг,

ρ_c ; ρ_n ; $\rho_{щ(г)}$, $\rho_в$ – дійсна густина цих матеріалів, $кг/м^3$ / $\rho_в = 1000 кг/м^3$.

Допущення складається у тому, що абсолютно щільну суміш практично одержати неможливо, в ній завжди залишається деяка частка повітря. Задача розрахунку полягає у визначенні кожного з чотирьох невідомих цього рівняння, тобто у визначенні витрати кожного компоненту в кілограмах на кубічний метр бетонної суміші:

а) витрату води (водопотребу), $л/м^3$, орієнтовано визначають виходячи із даної легкоукладальності суміші за даним табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Водопотреба суміші

Легкоукладальність			Витрата води, $л/м^3$, при найбільшій крупності заповнювача					
Осадка конуса, см	Жорсткість, с		гравію			щебеню		
	За ГОСТ [...]	За технічним віскозиметром	10	20	40	10	20	40
0	31	120...90	150	135	125	160	145	135
0	30...20	80...60	160	145	130	170	155	145
0	20...11	50...30	165	150	135	175	160	150
0	10...5	15...30	175	160	145	185	170	155
1...2	-	-	185	170	155	195	180	165
3...4	-	-	195	180	165	205	190	175
5...6	-	-	200	185	170	210	195	180
7...8	-	-	205	190	175	215	200	185
9...10	-	-	215	200	185	225	210	195

Примітка. При використанні дрібного піску витрата води збільшується на 10 л, а при використанні крупного піску – зменшується на 10 л.

б) визначення водоцементного відношення В/Ц і витрати цементу Ц. Для цього користуються формулою Болоея і Б.Г. Скрамтаєва:

$$R_o = AR_u \left(\frac{Ц}{В} - 0,5 \right), \quad (1.2)$$

або
$$R_o = A_1 R_u \left(\frac{Ц}{В} + 0,5 \right), \quad (1.3)$$

де R_b – міцність бетону на стиск, МПа, кГ/см^2 (див. вихідні дані);
 A, A_1 – коефіцієнти, що враховують якість заповнювачів, приймають за даними табл. 1.2;

$R_{ц}$ – активність (фактична міцність) цементу, МПа, кГ/см^2 (див. вихідні дані);

Знак “-“ береться, коли розраховують склад звичайного за міцністю бетону $V/C \geq 0,4$; знак “+” – при розрахунку складу високоміцного бетону $V/C < 0,4$.

Таблиця 1.2 - Значення коефіцієнтів A і A_1

Характеристика заповнювачів	Коефіцієнти	
	A	A_1
Високоякісні	0,65	0,43
Рядові	0,60	0,40
Пониженої якості	0,55	0,37

Підставляючи в одну з формул числові значення відомих величин, одержуємо V/C . У результаті у вихідному рівнянні абсолютних об’ємів залишається два невідомих – витрати піску Π і крупного заповнювача Γ ;

в) визначення витрати крупного заповнювача. Витрату щебеню (гравію) можна визначити шляхом логічного міркування про оптимальну структуру бетону. Встановимо спочатку об’єм ущільненої розчинної частини бетонної суміші. Його можна подати сумою

$$V_{p.ч.} = \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{\Pi}{\rho_n} + \frac{B}{\rho_{\epsilon}} \quad (1.4)$$

У такому вигляді цей вираз означає, що при перемішуванні цементне тісто заповнює всі порожнечі між частинками піску, обгортаючи при цьому кожен зернину. У свою чергу цементно-піщаний розчин у бетоні повинен рівномірно заповнювати міжзерновий простір у щебені або гравію. Тоді формула (1.1) буде мати вигляд:

$$V_{ц} + V_n + V_{\epsilon} = V_{пуст.} \cdot V_{ц} \cdot d, \text{ або} \\
Ц/\rho_{ц} + \Pi/\rho_n + B/\rho_{\epsilon} = V_{пуст.} \cdot \Gamma/\rho_{н.ц.} \cdot d \quad (1.5)$$

При цьому частка порожнечі дорівнює $V_{п-щ(\Gamma)}$ (див. вихідні дані). Тоді об’єм міжзернових порожнечі визначається за формулою

$$V_{пуст.} = 1 - \rho_{н.ц.}/\rho_{ц.} \quad (1.6)$$

Але оптимальною структура бетону буде за умови, що зерна крупного заповнювача в усьому об’ємі бетону контактуватимуть між собою через певний зв’язуючий шар розчинної частини. Таким чином, вони мусять бути дещо розсунені. З цією метою вводять коефіцієнт розсунення зерен α (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 - Коефіцієнт розсунення зерен

Витрати цементу, кг/м^3	Коефіцієнт α при V/C				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	1,26	1,32	1,38

300	-	1,30	1,36	1,42	-
350	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,40	1,46	-	-	-
500	1,52	1,56	-	-	-

Примітка. За інших значень Ц і В/Ц коефіцієнт α знаходять інтерполяцією.

Таким чином, об'єм розчинної частини бетону через пустотність у крупному заповнювачі визначають за виразом

$$V_{п.щ(\Gamma)} \frac{\rho_{щ(\Gamma)}}{\rho_{н.щ(\Gamma)}} \cdot \alpha$$

(1.6)

Цим виразом можна замінити суму першого, другого й четвертого членів вихідного рівняння абсолютних об'ємів, яке набуває вигляду

$$V_{п.щ(\Gamma)} \frac{\rho_{щ(\Gamma)}}{\rho_{н.щ(\Gamma)}} \cdot \alpha + \frac{\rho_{щ(\Gamma)}}{\rho_{щ(\Gamma)}} = 1,$$

(1.7)

звідки

$$\rho_{щ(\Gamma)} = \frac{1}{\frac{V_{п.щ(\Gamma)} \cdot \alpha}{\rho_{н.щ(\Gamma)}} + \frac{1}{\rho_{щ(\Gamma)}}}, \text{ кг/м}^3$$

(1.8)

Поділивши числові значення, одержимо витрату щебеню або гравію. Тепер у вихідному рівнянні залишається невідомою тільки витрата піску П;

г) визначення витрати піску. З вихідного рівняння, за відомих витрат усіх інших компонентів,

$$П = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{\rho_{щ(\Gamma)}}{\rho_{щ(\Gamma)}} + \frac{В}{\rho_{в}} \right) \right] \rho_{п}, \quad \text{кг/м}^3; \quad (1.9)$$

д) визначення номінального (лабораторного) складу бетону. Склад бетону прийнято визначати, наводячи витрати всіх компонентів по відношенню до витрати цементу з обов'язковим наведенням водоцементного відношення В/Ц.

Наприклад, після підстановки конкретних числових значень одержуємо 1:2, 5:4,1 при В/Ц=0,56.

4 Приготування пробного замісу. Для встановлення відповідності розрахованого лабораторного складу проектним завданням готується пробний заміс в об'ємі, наприклад, 50л. За витратами матеріалів на 1 м³ розраховують витрату на 50 л, готують суміш, визначаючи її легкоукладальність і середню щільність. Якщо ці показники відповідають проектним і розрахунковим даним, виготовляють контрольні зразки – куби розмірами 150×150×150 мм, які твердіють у нормальних умовах протягом 28 діб для випробувань на міцність.

5 Перехід до виробничого (польового) складу бетону. У зв'язку з тим, що в лабораторних умовах заповнювачі для бетону знаходяться в сухому стані, а у

виробничих умовах мають деяку вологість, необхідно перерахувати витрату води, зменшивши її на значення вологості заповнювача. При цьому треба відповідно збільшити витрату заповнювачів для збереження середньої щільності суміші.

1.1.6 Загальні властивості важкого бетону

Важкий бетон є основним представником конструкційних бетонів. Звідси впливають і головні вимоги до нього: задані міцність та стійкість в експлуатаційних умовах.

Міцність – найважливіший показник будівельних якостей, що забезпечує здатність матеріалу чинити опір зовнішнім механічним зусиллям.

Міцність бетону характеризується марками: на стиск – М100, М150, М200, М250, М300, М350, М400, М500, М600; на розтяг при вигині – М15, М20, М25, М30, М35, М40, М50, М55.

Марка – це округлена до найближчого встановленого нормативним документом меншого значення середня границя міцності, кгс/см².

Більш вірогідний висновок формується за оцінкою *коефіцієнта варіації* v , що дорівнює відношенню середнього квадратичного окремих результатів визначення міцності до середньої міцності бетону. Чим менше його значення, тим однорідніший бетон за властивостями. Нормативний коефіцієнт варіації для важкого бетону становить 13,5 %.

Стандартною характеристикою, яка гарантує одержання заданої міцності бетону, визначається клас бетону – числова оцінка, взята за гарантованою забезпеченістю (звичайно 0,95). Це означає, що встановлена класом властивість забезпечується не менш як у 95 випадках із 100. Така оцінка можлива за досить великої кількості випробувань.

Установлено такі класи важкого бетону:

за міцністю на стиск, МПа: В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30; В40; В50; В55; В60;

за міцністю на осьовий розтяг, Мпа: В0,8; В1,2; В1,6; В2,0; В2,4; В2,8; В3,2.

Щоб перейти від класу бетону до його середньої міцності (МПа) для зразків 15 × 15 × 15 см при нормативному коефіцієнті варіації 13,5 %, застосовують формулу

$$R_6^{cp} = B/0,778.$$

Якщо бетон тверднув протягом n діб (більше або менше 28 діб), міцність визначають за формулою Б. Г. Скрамтаєва:

$$R_n = R_{28} \frac{\lg 28}{\lg n},$$

де R_n – міцність бетону після n діб тверднення при умові, що $n \geq 3$ доби.

Усадка виявляється в скороченні розмірів бетонного елемента, коли він твердне в повітряно-сухих умовах, і складається з вологової, контракційної та карбонізаційної складових. У сумарній усадці основну частку становить *вологова*, яка спричинена переміщенням та випаровуванням води, яка ще не увійшла у взаємодію з тверднучим цементом. **Контракційна** частка усадки спричинюється тим, що об'єм новоутворень цементного каменю менший, ніж об'єм мінералів, які вступають у реакцію.

Набухання – це явище, протилежне усадці. Воно полягає у збільшенні об'єму бетону при взоложенні або прямому контакті з водою. Кількісно набухання пов'язане з тими самими факторами (Ц і В/Ц), що й усадка, але за абсолютними значеннями в кілька разів нижче.

Повзучість – це здатність бетону до збільшення деформації при тривалій дії сталого навантаження. Деформації повзучості найінтенсивніше розвиваються з моменту прикладання навантаження й затухають лише через кілька років.

Щільність бетону істотно впливає на його стійкість у різних експлуатаційних умовах. У міру того як бетонна суміш перетворюється на бетон, щільність конгломератної системи зменшується за рахунок випаровування "зайвої" води, на місці якої утворюються пори й капіляри.

Водонепроникність бетону пов'язана з його щільністю та структурою і залежить від проникності цементного каменю, заповнювачів і контактної зони між ними.

Характеристикою водонепроникності бетону є його марка за водонепроникністю W, що позначає максимальний тиск (0,2...2,0 МПа), при якому ще не спостерігається фільтрація води крізь стандартний зразок. Підвищити водонепроникність бетону можна, увівши в суміші гідрофобно-пластифікуючі або ущільнювальні добавки.

Морозостійкість бетону є непрямим показником його довговічності. Висока морозостійкість особливо важлива для бетону, який зазнає в експлуатаційних умовах наперемінного заморожування й відтавання в насиченому водою стані. Ця властивість зумовлюється якістю застосовуваних компонентів в утворюваною при твердінні структурою, зокрема капілярно-пористою.

За морозостійкістю важкий бетон поділяють на марки: F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800, і F1000.

2 Рішення задач

2.1 Загальні властивості бетону

Задача 2.1.1 Витрата цементу становить 300 кг на 1 м³ бетону, В/Ц = 0,6. Води, хімічно зв'язаної з цементом – 15 % від маси цементу. Визначити пористість затверділого бетону, враховуючи пори, створені надлишковою водою замішування. Пори, створені повітрям, втягненим у бетон, не враховувати.

Розв'язання: 1. Кількість води в 1 м³ бетонної суміші

$$B = 300 \cdot 0,6 = 180 \text{ кг(л)}.$$

2. Води, хімічно зв'язаної з цементом

$$B_1 = 0,15 \cdot 300 = 45 \text{ кг(л)}.$$

3. Вільної води $180 - 45 = 135 \text{ кг(л)}$.

Отже, об'єм пор в 1 м³ бетону $V_n = 135 \text{ л}$.

4. Пористість затверділого бетону

$$V_n/V_0 = 135/1000 = 0,135 \text{ або } 13,5 \%$$

Задача 2.1.2 За відомим складом бетону (вмістом матеріалів на 1 м³ бетону, кг: Ц – 330; В – 180; П – 730; Щ – 1260) визначити: середню густину свіжо- укладеної бетонної суміші; середню густину висушеного бетону, якщо до того часу вступило в реакцію з цементом 20 % води від маси цементу; пористість бетону, що утворилася внаслідок втрати води.

Розв'язання: 1. Об'ємна маса бетонної суміші

$$m_v^0 = Ц + В + П + Щ = 330 + 180 + 730 + 1260 = 2500 \text{ кг/м}^3.$$

2. Об'ємна маса сухого бетону

$$m_v^1 = 1,2Ц + П + Щ = 1,2 \cdot 330 + 180 + 730 + 1260 = 2386 \text{ кг/м}^3 \\ \text{або } 2386/2500 \cdot 100 = 95,5 \% \text{ об'ємної маси суміші.}$$

3. Витрати води в 1 м³ бетону

$$\Delta B = m_v^0 - m_v^1 = 2500 - 2386 = 114 \text{ кг(л)}.$$

Отже, об'єм пор у 1 м³ бетону $V_n = \Delta B = 114 \text{ л}$, звідки пористість становитиме

$$V_n/V_0 \cdot 100 \% = 114/1000 \cdot 100 \% = 11,4 \%$$

Задача 2.1.3 Визначити пористість бетонів, що затверділи із сумішею з В/Ц 0,5 та 0,75 і які містили однакову кількість води при замішуванні – по 180 л/м³. Води, хімічно зв'язаної з цементом, у бетонах міститься 15 % від маси цементу. В розрахунку не беруть до уваги пор, утворених повітрям, втягненим у бетон.

Розв'язання: 1. Витрати цементу на 1 м³ бетону:

$$Ц_1 = 180/0,5 = 360 \text{ кг};$$

$$Ц_2 = 180/0,75 = 240 \text{ кг}.$$

2. Води, хімічно зв'язаної з цементом:

$$B_1 = 0,15 \cdot 360 = 54 \text{ кг(л)};$$

$$B_2 = 0,15 \cdot 240 = 36 \text{ кг(л)}.$$

3. Вільної води (об'єм якої дорівнює об'єму пор) в 1 м³ бетону:

$$V_1 = 180 - 54 = 126 \text{ л}; V_2 = 180 - 36 = 144 \text{ л}.$$

4. Пористість затверділих бетонів:

$$\text{першого } 126/1000 = 0,126, \text{ або } 12,6 \%;$$

$$\text{другого } 144/1000 = 0,144, \text{ або } 14,4 \%$$

Задача 2.1.4 Визначити ступінь ущільнення укладеної бетонної суміші за такими даними: склад бетону 1 : 2 : 4,1 при В/Ц = 0,6; середня густина бетонної суміші 2310 кг/м³; істинна густина цементу 3,1 г/см³, а істинна густина суміші піску і щебеню 2,62 г/см³.

Розв'язання: 1. Витрата матеріалів на 1 м³ бетону:

$$Ц = \rho_{б.с.}/(Ц+П+Щ+В) = 2310/(1+2+4,1+0,6) = 300 \text{ кг.}$$

$$П = 300 \cdot 2 = 600 \text{ кг.}$$

$$Щ = 300 \cdot 4,1 = 1230 \text{ кг.}$$

$$В = 300 \cdot 0,6 = 180 \text{ кг.}$$

Усього заповнювачів 1830 кг.

Отже, всього матеріалів в 1 м³ бетону 2310 кг.

2. Абсолютні об'єми:

$$\text{цементу } 300 : 3,1 = 97 \text{ л;}$$

$$\text{заповнювачів } 1830 : 2,62 = 700 \text{ л;}$$

$$\text{води } 180 \text{ дм}^3 \text{ л.}$$

Разом об'єм 1 м³ бетонної суміші в абсолютно щільному стані дорівнює 977 дм³ (л).

В 1 м³ бетонної суміші пористість становлять $1000 - 977 = 23$ л, або 2,3 %.

Щільність укладання бетонної суміші $100 - 2,3 = 97,3$ %, тобто менша за нормативну (98 %).

Задача 2.1.5 За даними і розв'язанням попередньої задачі обчислити середню густина і пористість затверділого бетону, вважаючи, що хімічно зв'язана вода становить 15% від маси цементу, а вологість бетону – 2 % від маси.

Розв'язання: Хімічно зв'язаної води $0,15 \cdot 300 = 60$ кг.

Води у вільному стані $180 - 60 = 120$ кг.

Середня густина затверділого бетону (у сухому стані) $m_v = 2310 - 120 = 2190$ кг/м³, а з урахуванням 2 % вологості $m_v = 2190 \cdot 1,02 = 2233$ кг/м³.

Пористість затверділого бетону $120 : 1000 = 0,12$, або 12 %.

Задача 2.1.6 Для бетону, на 1 м³ якого витрата цементу становить 360 кг і води 170 л, обчислити об'єм капілярних пор (у %) за формулою Г.І. Горчакова

$$П = (В - 0,5 \alpha Ц)/1000 \cdot 100\%,$$

де В – початкова кількість води в 1 м³ бетону, л;

Ц – витрата цементу, кг/м³,

α – ступінь гідратації цементу (відносна кількість гідратованого цементу). В розрахунках прийняти $\alpha = 0,5$.

На підставі аналізу формули відповіді, які технологічні заходи сприяють зменшенню капілярної пористості бетону.

Розв'язання:

1. $\Pi = (170 - 0,5 \cdot 0,5 \cdot 360)/1000 \cdot 100 = 8\%$.

2. Щоб зменшити капілярну пористість бетону, потрібно: а) зменшити початковий зміст води або водоцементне відношення; б) підвищити ступінь гідратації цементу (цього досягають поліпшенням водно-температурних умов тверднення, підвищенням тонкості помелу цементу та ін.).

2.2 Складові важкого бетону

2.2.1 Цемент

Задача 2.2.1.1 Вміст води при зачиненні портландцементу – 32 %, а кількість хімічно зв'язаної води – 20 % від маси цементу. Істина густина – 3,1 г/см³. Визначити пористість затверділого цементного каменю.

Розв'язання: Склад цементного тіста (по масі) Ц/В = 1/0,32.

Загальний об'єм цементного тіста:

$$V_{ц.т.} = 1000/3100 + 0,32 = 0,64 \text{ м}^3.$$

Загальний об'єм цементного каменю:

$$V_{ц.к.} = 1000/3100 + 0,20 = 0,52 \text{ м}^3.$$

Середня густина цементного каменю:

$$V_{ц.к.}/V_{ц.т.} = 0,52/0,64 = 0,81.$$

Пористість цементного каменю:

$$V_{пор} = (1 - 0,81) \cdot 100 = 19 \%$$

Задача 2.2.1.2 Вміст води в тісті з портландцементу 42 %. Для реакції гідратації необхідно 18 % води. Істинна густина шлакопортландцементу – 2,95 г/см³. Визначити пористість цементного каменю.

Розв'язання: Склад цементного тіста (по масі) Ц/В = 1/0,42.

Загальний об'єм цементного тіста:

$$V_{ц.т.} = 1000/2950 + 0,42 = 0,76 \text{ м}^3.$$

Загальний об'єм цементного каменю:

$$V_{ц.к.} = 1000/2950 + 0,18 = 0,52 \text{ м}^3.$$

Середня густина цементного каменю:

$$V_{ц.к.}/V_{ц.т.} = 0,52/0,76 = 0,68.$$

Пористість цементного каменю:

$$V_{пор} = (1 - 0,68) \cdot 100 = 32 \%$$

Задача 2.2.1.3 Цемент при повній гідратації зв'язує 36 % води (від маси цементу). Визначити пористість цементного каменю із тіста з В/Ц = 0,4, якщо ступінь гідратації α становить 30 і 50 %. Густина цементу – 3,14 г/см³.

Розв'язання: Абсолютний об'єм цементного тіста в одиниці маси цементу становитиме

$$V = 1/\rho + B/C = 1/3,1 + 0,4 = 0,723.$$

Абсолютний об'єм цементного каменю обчислюють за формулою

$$V_1 = 1/\rho + \alpha(B/C)_{зв.}$$

При $\alpha = 30\%$ $V_1 = 1/3,1 + 0,3 \cdot 0,36 = 0,428.$

При $\alpha = 50\%$ $V_2 = 1/3,1 + 0,5 \cdot 0,36 = 0,5.$

Пористість цементного каменю буде:

при $\alpha = 30\%$ $1 - V_2/V = 1 - 0,428/0,723 = 0,41;$

при $\alpha = 50\%$ $1 - 0,5/0,723 = 0,31.$

Задача 2.2.1.4 1. Якою буде активність цементу, що виготовлений з 65 % портландцементу марки „400” і 35 % опоки? Вважати, що до 28-добового віку опока не бере участі у створенні міцності цементного каменю (є розріджувачем цементу).

2. Якої марки портландцемент слід взяти в даному випадку, щоб мати змішаний цемент марки „400”?

Розв'язання: 1. Активність змішаного (розведеного) цементу буде:

$$R_{зм} = 0,65 \cdot R_c = 0,65 \cdot 400 = 260 \text{ кгс/см}^2.$$

2. Щоб одержати змішаний цемент марки „400”, треба взяти портландцемент активності R_c , яку можна визначити з рівняння.

$$0,65R_c = 400,$$

тобто

$$\cdot R_c = 400/0,65 = 600 \text{ кгс/см}^2.$$

2.2.2 Заповнювачі

Задача 2.2.2.1 Як підвищиться об'єм 50 т піску при зволоженні до 5 %, якщо насипна густина сухого піску 1450 кг/м³, а зволоженого – 1200 кг/м³?

Розв'язання:

Маса піску при зволоженні 5 %: $m_n = 50000 \cdot 1,05 = 52500 \text{ кг}.$

Об'єм сухого піску: $V_{с.н.} = 50000/1450 = 34,5 \text{ м}^3.$

Об'єм вологого піску: $V_{в.н.} = 52500/1200 = 43,7 \text{ м}^3.$

Таким чином підвищення об'єму $\Delta V = 43,7 - 34,5 = 9,2 \text{ м}^3$ або на 26,6 %.

Задача 2.2.2.2 Визначити пустотність піску, якщо насипна густина піску $\rho_1 = 1560 \text{ кг/м}^3$, а істинна густина $\rho_2 = 2650 \text{ кг/м}^3$.

Розв'язання:

Пустотність піску: $V_{н.н.} = (1 - \rho_1/\rho_2) \cdot 100 = (1 - 1560/2650) \cdot 100 = 41,1\%$.

Задача 2.2.2.3 Визначити пустотність гранітного щебеню, якщо насипна густина щебеню $\rho_1 = 1680 \text{ кг/м}^3$, а істинна густина $\rho_2 = 2700 \text{ кг/м}^3$.

Розв'язання:

Пустотність піску: $V_{\text{н.н.}} = (1 - \rho_1/\rho_2) \cdot 100 = (1 - 1680/2700) \cdot 100 = 40 \%$.

Задача 2.2.2.4 Визначити вологість піску, якщо маса проби вологого піску – 500 г, а маса проби сухого піску – 475 г.

Розв'язання:

Вологість піску: $W = \frac{(m_v - m_c)}{m_c} \cdot 100 = \frac{(500 - 475)}{500} \cdot 100 = 5 \%$.

Задача 2.2.2.5 Визначити оптимальне співвідношення між піском і щебенем по масі для отримання найбільш щільної суміші заповнювачів, якщо насипна густина піску $\rho_{1\text{п}} = 2600 \text{ кг/м}^3$, насипна густина щебеню $\rho_{1\text{щ}} = 1670 \text{ кг/м}^3$, а істинна густина щебеню $\rho_{2\text{щ}} = 2620 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт розсуву зерен щебеню $\alpha = 1,1$.

Розв'язання:

$$V_{\text{н.н.}} = 1 - \rho_{1\text{щ}}/\rho_{1\text{п}} = 1 - 1670/2620 = 0,362.$$

$$V_n = \Pi/\rho_{1\text{п}};$$

$$\Pi/\rho_{1\text{п}} = V_{\text{н.н.}}(\Pi/\rho_{2\text{щ}})\alpha, \text{ тоді}$$

$$\Pi/\Pi = V_{\text{н.н.}}(\rho_{1\text{п}}/\rho_{2\text{щ}})\alpha, \text{ де } \Pi \text{ і } \Pi - \text{ маса піску і щебеню.}$$

$$\Pi/\Pi = 0,362(2600/2620) \cdot 1,1 = 0,396.$$

Задача 2.2.2.6 Насипна маса щебеню $m_n = 1,4$, середня густина $\rho_{\text{сер}} = 2,54$, істинна густина $\rho = 2,65 \text{ г/см}^3$.

1. Обчислити: а) міжзернову пустотність щебеню; б) пористість каменю з якого виготовлено щебінь; в) сумарну (загальну) пористість (пустотність) щебеню.

2. Визначити: а) об'єм каменю в 1 м^3 щебеню; б) його об'єм в абсолютно щільному стані.

Розв'язання: 1. а) Міжзернова пустотність щебеню

$$\alpha_{\text{щ}} = (1 - m_n/\rho_{\text{сер}}) \cdot 100 = (1 - 1,4/2,54) \cdot 100 = 45 \%$$

б) Пористість каменю

$$\alpha_k = (1 - \rho_{\text{сер}}/\rho) \cdot 100 = (1 - 2,54/2,65) \cdot 100 = 4 \%$$

в) Загальна пористість (пустотність) щебеню

$$\alpha_o = (1 - m_n/\rho) \cdot 100 = (1 - 1,4/2,65) \cdot 100 = 47 \%$$

2. а) Об'єм каменю в 1 м^3 щебеню

$$V_k = m_n/\rho_{\text{сер}} = 1400/2540 = 0,55 \text{ м}^3.$$

б) Об'єм каменю в абсолютно щільному стані

$$V_a = m_n/\rho = 1400/2650 = 0,53 \text{ м}^3.$$

Задача 2.2.2.7 Насипна маса сухого піску 1450 кг/м^3 . Обчислити насипну масу піску при зволоженні його до 5 і 25%, якщо відомо, що при $W = 5 \%$ об'єм піску на 25 % більший, а при $W = 25 \%$ – на 5 % менший порівняно з сухим.

Розв'язання: Якщо маса 1 м^3 сухого піску 1450 кг , то при вологості 5 %

а) маса вологого піску

$$m^e = m^c(1 + W/100) = 1450(1 + 0,05) = 1520 \text{ кг};$$

б) об'єм

$$V_e = V_c(1 + \Delta V) = 1(1 + 0,25) = 1,25 \text{ м}^3;$$

в) насипна маса

$$m_n = m^e / V_e = 1520 / 1,25 = 1220 \text{ кг/м}^3.$$

2.3 Розрахунок складу бетону

2.3.1 Загальний розрахунок складу бетону

Задача 2.3.1.1 Обчислити коефіцієнт виходу крупнопористого бетону складу по об'єму Ц:Щ = 1:9 з витратою цементу 140 кг на 1 м³. Насипна густина цементу 1280 кг/см³.

Розв'язання:

$$V_u = m / \rho_{\text{нас}} = 140 / 1,28 = 109,4 \text{ м}^3;$$
$$\beta = V_o / V_u(1 + u) = 1000 / 109,4 \cdot 10 = 0,914.$$

Задача 2.3.1.2 Номінальний склад цементного бетону по масі 1:2:3, а В/Ц = 0,45. Визначити кількість складових для приготування 300 м³ бетону, якщо на 1 м³ витрачається 300 кг цементу; насипна густина піску – 1,6 г/см³; щебеню – 1,5 г/см³; вологість піску та щебеню відповідно 5 % та 3 %.

Розв'язання: Визначаємо витрати матеріалів на 1 м³ бетону. Якщо витрати цементу – 300 кг/м³, то виходячи з номінального складу бетону, витрати піску – $300 \cdot 2 = 600 \text{ кг/м}^3$; щебеню – $300 \cdot 3 = 900 \text{ кг/м}^3$.

Тоді витрати матеріалів на 300 м³ складуть:

$$Ц = 300 \cdot 300 = 90000 \text{ кг} = 90 \text{ т};$$
$$П = 600 \cdot 300 = 180000 \text{ кг} = 180 \text{ т};$$
$$Щ = 900 \cdot 300 = 270000 \text{ кг} = 270 \text{ т}.$$

З урахуванням вологості витрати матеріалів складуть:

$$П = П + B_n;$$
$$B_n = П / 100 \cdot W = 180 / 100 \cdot 5 = 9 \text{ т};$$
$$П = 180 + 9 = 189 \text{ т}.$$
$$Щ = Щ + B_{щ};$$
$$B_{щ} = Щ / 100 \cdot W = 270 / 100 \cdot 3 = 8,1 \text{ т};$$
$$Щ = 270 + 8,1 = 278,1 \text{ т}.$$

Задача 2.3.1.3 На 1 м³ бетонної суміші витрачено 280 кг цементу, 600 кг піску; 1300 кг щебеню і 160 л води. Густина цементу, піску і щебеню відповідно дорівнює 3,0; 2,6 та 2,65 т/м³. Визначити коефіцієнт ущільнення суміші.

Розв'язання: Теоретичний коефіцієнт ущільнення – відношення суми абсолютних об'ємів матеріалів, що складають 1 м³ бетонної суміші до об'єму суміші з порожнечами. Сума абсолютних об'ємів матеріалів на 1 м³ суміші:

$$V_{\text{б.с.}} = V_u + V_n + V_{щ} + V_e = 280/3000 + 600/2600 + 1300/2650 + 160/1000 =$$
$$0,94 \text{ м}^3.$$

$$K_{yц} = 0,94/1 \approx 0,94$$

Задача 2.3.1.4 Обчислити коефіцієнт виходу крупнопористого бетону складу по об'єму 1 : Щ = 1 : 9 з витратою цементу 140 кг/м³. Насипна густина цементу 1280 кг/см³.

Розв'язання:

$$\beta = \frac{V_{бет}}{V_c(1+n)} = \frac{1000}{140/1,28(1+9)} = 0,914.$$

Задача 2.3.1.5 Обчислити витрату матеріалів на 1 м³ бетонної суміші з густиною $\rho = 2400$ кг/м³ і В/Ц = 0,45, якщо номінальний склад бетону дорівнює 1 : X : Y = 1 : 2 : 3.

Розв'язання: $\rho = Ц + П + Щ + В = Ц(1 + X + Y + B/Ц)$, тоді

$$Ц = \rho / (1 + X + Y + B/Ц) = 2400 / (1 + 2 + 3 + 0,45) = 367 \text{ кг.}$$

$$B = Ц \cdot B/Ц = 367 \cdot 0,45 = 165 \text{ л.}$$

$$П = X \cdot Ц = 2 \cdot 367 = 734 \text{ кг/м}^3.$$

$$Щ = 3 \cdot 367 = 1101 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 2.3.1.6 На 1 м³ бетону витрачається цементу Ц = 300 кг, П = 600 кг, гравію Г = 1200 кг і води В = 200 л. Виразити склад бетону у вигляді співвідношення мас 1 : X : Y і визначити водоцементне відношення. Тут X – кількість частин піску, Y – кількість частин гравію, якщо кількість цементу вважати як одну частину за масою.

Розв'язання:

$$X = П/Ц = 600/300 = 2;$$

$$Y = Г/Ц = 1200/300 = 4; B/Ц = Z = 200/300 = 0,67.$$

Таким чином, склад бетону в частинах за масою буде

$$1 : X : Y = 1 : 2 : 4 \text{ при } B/Ц = 0,67.$$

Задача 2.3.1.7 На 1 м³ бетону витрачається цементу Ц = 300 кг, піску П = 600, гравію Г = 1200 кг і води В = 200 л.

Виразити склад бетону у вигляді співвідношення мас 1 : X : Y і визначити водоцементне відношення.

Розв'язання:

$$X = П/Ц = 600/300 = 2;$$

$$Y = Г/Ц = 1200/300 = 4;$$

$$B/Ц = 200/300 = 0,67.$$

Таким чином, склад бетону в частинах за масою буде

$$1 : X : Y = 1 : 2 : 4 \text{ при } B/Ц = 0,67.$$

Задача 2.3.1.8 Підрахувати витрату цементу на 1 м³ бетону складу 1 : 2 : 4,5 при В/Ц = 0,5, якщо відомо, що середня густина бетонної суміші $\rho_{б.с.} = 2400$ кг/м³.

Розв'язання: 1. Маса 1 м³ бетону дорівнює сумі витрат усіх складових – 2400.

2. Кількість частин, якщо витрату цементу прийняли за одиницю, дорівнює $1 + X + Y + Z = 1 + 2 + 4,5 + 0,5 = 8$.

3. Маса однієї частини, або витрата цементу, буде $C = 2400 : 8 = 300 \text{ кг/м}^3$.

4. У загальному вигляді $C = \rho_{\text{б.с.}} / (1 + X + Y + Z) = 2400/8 = 300 \text{ кг/м}^3$.

Задача 2.3.1.9 Склад бетону 1 : X : Y = 1 : 1,5 : 4 при В/Ц = 0,5 і середня густина бетонної суміші $\rho_{\text{б.с.}} = 2450 \text{ кг/м}^3$. Визначити витрати матеріалів на 1 м³ бетону.

Розв'язання: Витрати матеріалів, кг, на 1 м³ бетону:

цементу $C = \rho_{\text{б.с.}} / (1 + X + Y + B/C) = 2450 / (1 + 1,5 + 4 + 0,5) = 350 \text{ кг/м}^3$;

води $B = C \cdot B/C = 350 \cdot 0,5 = 175 \text{ кг/м}^3$;

піску $P = C \cdot X = 350 \cdot 1,5 = 525 \text{ кг/м}^3$;

щебеню $Щ = C \cdot Y = 350 \cdot 4 = 1400 \text{ кг/м}^3$.

2.3.2 Правило водоцементного співвідношення

Задача 2.3.2.1 На 1 м³ бетону витрачається: цементу – 320 кг, піску – 560 кг, щебеню – 1350 кг, води – 180 л. Визначити склад бетону співвідношенням між масами складових і визначити В/Ц.

Розв'язання: $C : P : Щ = 320/320 : 560/320 : 1350/320 = 1 : 1,75 : 4,2$.

$B/C = 180/320 = 0,56$.

Задача 2.3.2.2 Визначити витрати матеріалів на 1 м³ бетону, якщо його склад по масі має співвідношення 1 : 2 : 4 при В/Ц = 0,5. Середня густина бетонної суміші – 2480 кг/м³.

Розв'язання: Витрати цементу на 1 м³ бетону:

$C = \rho_{\text{б.с.}} / (C + P + Щ + B) = 2480 / (1 + 2 + 4 + 0,5) = 2480 / 7,5 = 330 \text{ кг}$.

$P = 330 \cdot 2 = 660 \text{ кг}$;

$Щ = 330 \cdot 4 = 1320 \text{ кг}$;

$B = 330 \cdot 0,5 = 165 \text{ л}$.

Задача 2.3.2.3 Визначити міцність бетону при В/Ц = 0,5, користуючись формулою М.М. Біляєва.

$$R_{28} = R_{\text{ц}}^{\text{ак}} / K \cdot (B/C)^{1,5},$$

де R_{28} – границя міцності бетону на стиск у 28-добовому віці нормального тверднення;

$R_{\text{ц}}^{\text{ак}}$ – активність цементу в жорстких розчинах, тобто 28-добова міцність цементного розчину в трамбованих зразках складу 1 : 3, які виготовлені і тверднули в умовах, передбачених стандартами;

K – коефіцієнт, що дорівнює при щебені 3,5, а при гравії 4;

B/C – водоцементне відношення за масою (формула дає задовільні результати при $B/C = 0,4 - 0,8$).

Вихідні дані: активність цементу $R_{ц}^{жс} = 500 \text{ кгс/см}^2$, крупний заповнювач – гравій.

Розв'язання: $R_{28} = 500/4 \cdot (0,5)^{1,5} = 354 \text{ кгс/см}^2$.

Задача 2.3.2.4 Користуючись формулою М.М. Біляєва, обчислити, як зміниться міцність бетону із щебенем, якщо водоцементне відношення збільшити вдвоє – з $0,4$ до $0,8$. Активність цементу $R_{ц}^{жс} = 400 \text{ кгс/см}^2$.

Розв'язання:

При $B/C = 0,4$ міцність бетону

$$R_{28} = R_{ц}^{жс} / 3,5 \cdot (B/C)^{1,5} = 400/3,5 \cdot (0,4)^{1,5} = 450 \text{ кгс/см}^2$$

При $B/C = 0,8$ міцність бетону

$$R_{28} = R_{ц}^{жс} / 3,5 \cdot (B/C)^{1,5} = 400/3,5 \cdot (0,8)^{1,5} = 160 \text{ кгс/см}^2$$

Міцність зменшилася в $450 : 160 = 2,82$ раза.

Задача 2.3.2.5 Обчислити міцність бетонів, користуючись формулою М.М. Біляєва, при значеннях водоцементного відношення $0,4; 0,5; 0,6; 0,7$ і $0,8$. Активність цементу $R_{ц}^{жс}$ прийняти 400 і 500 кгс/см^2 . Для виготовлення бетону використовують гравій.

Розв'язання:

Міцність бетону при $B/C = 0,4$ і цементі марки „400”

$$R_{28} = R_{ц}^{жс} / 4 \cdot (B/C)^{1,5} = 400/4 \cdot (0,4)^{1,5} = 450 \text{ кгс/см}^2$$

З цементом марки „500”

$$R_{28} = R_{ц}^{жс} / 3,5 \cdot (B/C)^{1,5} = 500/4 \cdot (0,4)^{1,5} = 492 \text{ кгс/см}^2$$

Задача 2.3.2.6 Обчислити міцність бетону при значеннях водоцементного відношення $0,4; 0,5; 0,6; 0,7$ і $0,8$, користуючись формулою Болмея – Скрамтаєва

$$R_{28} = AR_{ц} \left(\frac{C}{B} - 0,5 \right)$$

Активність цементу прийняти $R_{ц} = 400 \text{ кгс/см}^2$. Коефіцієнт $A = 0,45$ при звичайних заповнювачах і $A = 0,5$ при високоякісних заповнювачах.

Розв'язання: Відповідно до заданих B/C цементоводні відношення матимуть значення $2,5; 2; 1,67; 1,43$ і $1,25$.

Міцність бетону при $B/C = 0,4$

$$R_{28} = 0,45 \cdot 400(2,5 - 0,5) = 360 \text{ кгс/см}^2$$

Аналогічно обчислюємо міцність при інших значеннях B/C і при $A = 0,5$.

2.3.3 Вплив міцності і якості матеріалів на склад бетону

Задача 2.3.3.1 Обчислити за формулами міцність бетону при двох значеннях водоцементного відношення – 0,67 і 0,33 – для випадків використання заповнювачів високоякісних, звичайних і зниженої якості. Активність цементу $R_{ц} = 400$ кгс/см². Коефіцієнт якості (А): для високоякісних заповнювачів – 0,65, для рядових заповнювачів – 0,60, для зниженої якості заповнювачів – 0,55.

Розв’язання:

1. При $V/C = 0,67$ (або $C/V = 1,5$)

$$R_{б} = AR_{ц} \left(\frac{C}{B} - 0,5 \right)$$

Для високоякісних матеріалів

$$R_{б} = 0,65 \cdot 400(1,5 - 0,5) = 260 \text{ кгс/см}^2.$$

2. При $V/C = 0,33$ (або $C/V = 3$)

$$R_{б} = AR_{ц} \left(\frac{C}{B} + 0,5 \right)$$

Для високоякісних матеріалів

$$R_{б} = 0,65 \cdot 400(3 + 0,5) = 602 \text{ кгс/см}^2.$$

Аналогічно обчислюємо міцність бетону на заповнювачах звичайних та зниженої якості.

Задача 2.3.3.2 Який із бетонів міцніший – на гравії чи на щебені, якщо V/C в них однакові? Коефіцієнт А в формулі міцності прийняти відповідно 0,55 і 0,6 при випробуванні цементів в пластичних розчинах і 0,4 та 0,45 – в жорстких.

Розв’язання: 1. $\frac{R_{бц}}{R_{бг}} = \frac{0,6R_{ц}(C/B - 0,5)}{0,55R_{ц}(C/B - 0,5)} = \frac{0,6}{0,55} = 1,09,$

звідки $R_{бц} = 1,09 R_{бг}.$

2. $\frac{R_{бц}}{R_{бг}} = \frac{0,45R_{ц}(C/B - 0,5)}{0,40R_{ц}(C/B - 0,5)} = \frac{0,45}{0,40} = 1,12,$

звідки $R_{бц} = 1,12 R_{бг}.$

Задача 2.3.3.3 Підрахувати, при яких значеннях вод цементного відношення марка бетону чисельно дорівнює активності цементу, яка визначена в пластичних розчинах для випадків застосування високоякісних матеріалів і матеріалів зниженої якості.

Розв’язання: 1. При використанні високоякісних матеріалів коефіцієнт А = 0,65. Тоді з формули $R_{б} = AR_{ц} \left(\frac{C}{B} - 0,5 \right)$ виходить

$$R_{б}/R_{ц} = 0,65 \left(\frac{C}{B} - 0,5 \right).$$

Підставивши $R_{б}/R_{ц} = 1$, дістанемо

$$1 = 0,65 \left(\frac{C}{B} - 0,5 \right),$$

звідки

$$Ц/В = 1/0,65 + 0,5 = 2,04; В/Ц = 1/2,04 = 0,49.$$

2. При використанні матеріалів зниженої якості $A = 0,55$, отже

$$R_{\sigma} = 0,55 R_u \left(\frac{Ц}{В} - 0,5 \right).$$

При умові

$$R_{\sigma}/R_u = 1.$$

$$1 = 0,55 \left(\frac{Ц}{В} - 0,5 \right),$$

звідки

$$Ц/В = 2,31; В/Ц = 0,43.$$

2.3.4 Розрахунки за формулою логарифмічного закону зростання міцності бетону у часі

Задача 2.3.4.1 Визначити В/Ц бетонної суміші, при якому бетон з жорсткої суміші на високоякісних заповнювачах і на портландцементі М500 через 3 доби твердіння в нормальних умовах набере міцність при стиску 12 МПа.

Розв'язання:

$$R_{\sigma 28} = R_{\sigma 3} \frac{\lg 28}{\lg 3} = 120 \cdot 1,447/0,477 = 120 \cdot 3,03 = 363,8 \text{ кгс/см}^2;$$

$$В/Ц = 0,65 R_u / (R_{\sigma 28} + 0,65 \cdot 0,5 \cdot R_u) = 0,65 \cdot 500 / (363,8 + 0,65 \cdot 0,5 \cdot 500) = 0,62.$$

Задача 2.3.4.2 Бетон з 7-добовим терміном твердіння показав границю міцності на стиск 30 МПа. Визначити активність цементу, якщо В/Ц = 0,5. Компоненти бетону та гранітний щебінь високої якості.

Розв'язання:

$$R_7 = R_{28} \frac{\lg 7}{\lg 28};$$

$$R_{28} = \frac{\lg 28 R_7}{\lg 7} = 30 \cdot 1,447/0,845 = 51,37 \text{ кгс/см}^2;$$

Приймаємо марку бетону М500.

Виходячи з формули: $R_{\sigma} = A R_u \left(\frac{Ц}{В} - 0,5 \right), A = 0,6;$

$$В/Ц = \frac{0,65 \cdot R_u}{R_{\sigma 28} + 0,65 \cdot 0,5 R_u};$$

$$0,5 = \frac{0,6 \cdot R_u}{500 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot R_u};$$

$$R_u = 555,5 \text{ кгс/см}^2.$$

Задача 2.3.4.3 При дослідженні кубів у віці 7 діб міцність при стиску – 237 кгс/см². Визначити марку бетону.

Розв'язання: $R_{28} = \frac{\lg 28 R_7}{\lg 7} = 1,447 \cdot 237 / 0,846 = 495 \text{ кгс/см}^2$.

Тобто марка бетону – „500”.

Задача 2.3.4.4 Визначити В/Ц бетону, при якому жорстка бетонна суміш з високоякісних заповнювачів на портландцементі М600 через 3 доби набере міцність при стиску $R_{63} = 150 \text{ кгс/см}^2$.

Розв'язання: $R_{628} = \frac{\lg 28}{\lg 3} \cdot R_{63} = 1,447 \cdot 150 / 0,478 = 454 \text{ кгс/см}^2$.

$$R_0 = AR_u \left(\frac{Ц}{В} - 0,5 \right);$$

$$В/Ц = \frac{0,65 \cdot R_u}{R_{628} + 0,65 \cdot 0,5 R_u} = \frac{0,65 \cdot 600}{454 + 0,325 \cdot 600} = 0,6.$$

Задача 2.3.4.5 Підрахувати, яку міцність матиме бетон через 7 діб, 90 діб і через 1 рік, якщо в 28-добовому віці його міцність дорівнює 300 кгс/см². Твердіння відбувається за нормальних умов.

Розв'язання:

$$R_7 = R_{28} \frac{\lg 7}{\lg 28} = 300 \cdot 0,845 / 1,447 = 175 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{90} = R_{28} \frac{\lg 90}{\lg 28} = 300 \cdot 1,954 / 1,447 = 405 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{365} = R_{28} \frac{\lg 365}{\lg 28} = 300 \cdot 2,562 / 1,447 = 533 \text{ кгс/см}^2.$$

Задача 2.3.4.6 Користуючись логарифмічним законом зростання міцності бетону в часі $\frac{R_n}{R_{28}} = \frac{\lg n}{\lg 28}$, підрахувати збільшення міцності бетону у віці 90 і 180 діб порівняно із 28-добовою (K_{28-90} і K_{28-180}).

Розв'язання:

$$K_{28-90} = \frac{R_{90}}{R_{28}} = \frac{\lg 90}{\lg 28} = \frac{1,954}{1,447} = 1,35;$$

$$K_{28-180} = \frac{R_{180}}{R_{28}} = \frac{\lg 180}{\lg 28} = \frac{2,255}{1,447} = 1,55.$$

2.4 Вплив добавок на властивості важкого бетону

Задача 2.4.1 Щоб прискорити тверднення бетону, в суміш додають хлористого кальцію. Попередні досліди показали, що бетон, виготовлений на портландцементі марки “300”, твердне за звичайним логарифмічним законом, а добавляння 1,5 % хлористого кальцію (від витрати цементу) підвищує міцність бетону через 3 доби приблизно на 100 %, через 7 діб на 50 % і через 28 діб на 10 %.

Дано: витрата цементу в бетоні 333 кг/м^3 , води 185 л/м^3 , заповнювачі – гравій і дрібнозернистий пісок.

Обчислити міцність у віці 3, 7 і 28 діб бетону без додавання (№ 1) і з додаванням хлористого кальцію (№ 2). Визначити витрату хлористого кальцію на 1 м^3 бетону, якщо є розчин CaCl_2 густиною $\rho=1,3$ ($0,422 \text{ кг CaCl}_2$ в 1 л розчину).

Розв'язання: Міцність бетону без добавки (№1):

$$R_{28} = 0,55R_u \left(\frac{C}{B} - 0,5 \right) = 0,55 \cdot 300 \left(\frac{333}{185} - 0,5 \right) = 200 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_7 = R_{28} \frac{\lg 7}{\lg 28} = 200 \cdot \frac{0,845}{1,447} = 117 \text{ кгс/см}^2; \quad R_3 = R_{28} \frac{\lg 3}{\lg 28} = 200 \cdot \frac{0,447}{1,447} = 62 \text{ кгс/см}^2.$$

Міцність бетону з додаванням прискорювача тверднення (№ 2):

$$R_3 = 2 \cdot 62 = 124 \text{ кгс/см}^2; \quad R_7 = 1,5 \cdot 117 = 175 \text{ кгс/см}^2; \quad R_{28} = 1,1 \cdot 200 = 220 \text{ кгс/см}^2.$$

Витрата хлористого кальцію (безводного CaCl_2) на 1 м^3 бетону

$$1,5 \cdot 0,01 \cdot 333 = 5 \text{ кг.}$$

Розчину хлористого кальцію буде потрібно

$$5 : 0,422 = 12 \text{ л, а води } 185 - 12 = 173 \text{ л.}$$

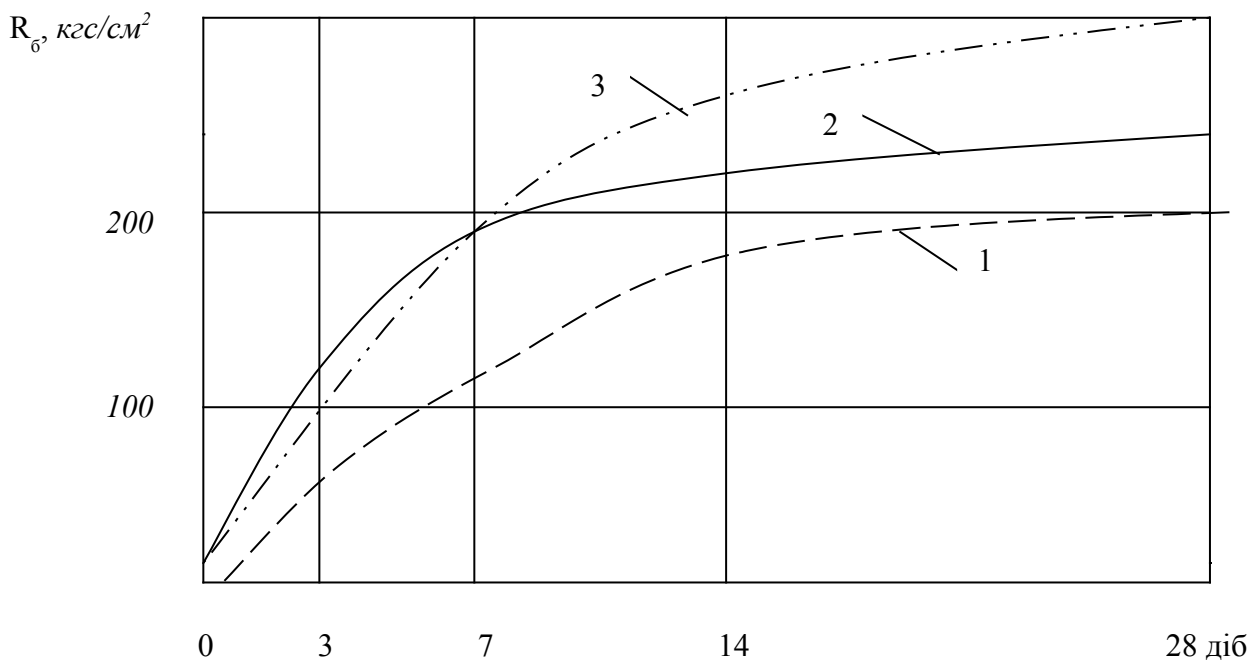


Рис. 1.1– Графік зростання міцності бетону залежно від добавки хлористого кальцію:

1 – без добавки; 2 – з добавкою хлористого кальцію (1,5 %);

3 – з добавкою хлористого кальцію (2,0 %).

Задача 2.4.2 Визначити: а) додаткову пористість бетону, спричинену додаванням поверхнево активних речовин; б) витрату і вартість добавок на 1 м^3 бетону. Витрата цементу становить 300 кг на 1 м^3 бетону. Об'ємна маса бетонної суміші 2400 кг/м^3 . При введенні $0,25 \%$ сульфітно-спиртової барди (ССБ) від кількості цементу об'ємна маса бетонної суміші знижується до 2364 кг/м^3 , а при добавлянні $0,15\%$ милонафту – до 2304 кг/м^3 . Вартість 1 кг ССБ – 30 коп. , 1 кг милонафту – 50 коп.

Розв'язання. 1. Додаткову пористість, спричинену добавкою, визначають за формулою

$$\Delta P = \frac{m_V - m_V'}{m_V} * 100,$$

де m_V – об'ємна маса бетонної суміші без добавки;

m_V' – те саме, з добавкою.

Додаткова пористість бетону, спричинена:

а) додаванням ССБ $\Delta P = \frac{2400 - 2364}{2400} * 100 = 1,5\%$,

що становить $0,015 \cdot 1000 = 15 \text{ л/м}^3$;

б) додаванням милонафту $\Delta P = \frac{2400 - 2304}{2400} * 100 = 4\%$,

що становить $0,04 \cdot 1000 = 40 \text{ л/м}^3$.

2. Витрата добавки ССБ на 1 м^3 бетону становитиме $0,25 \cdot 0,01 \cdot 300 = 0,75 \text{ кг}$ вартістю $30 \cdot 0,75 = 22,5 \text{ коп.}$, а милонафту $0,15 \cdot 0,01 \cdot 300 = 0,45 \text{ кг}$ вартістю $50 \cdot 0,45 = 22,5 \text{ коп.}$

Задача 2.4.3 Склад бетону без добавки: $C=250 \text{ кг}$; $P=750 \text{ кг}$; $Щ=1250 \text{ кг}$; $B=200 \text{ л}$. Активність цементу $R_u=470 \text{ кгс/см}^2$.

При додаванні в бетонну суміш вінсолу ($0,05 \%$ від витрати цементу) B/C знижується на 12% , а об'ємна маса суміші зменшується на 3% . Визначити основні характеристики бетону при додаванні вінсолу: об'ємну масу бетонної суміші, склад бетону, витрату матеріалів та об'єм додаткових пор, утворених внаслідок добавляння вінсолу. Обчислити очікувану міцність бетонів з добавкою і без неї. Результати підрахунків звести в таблицю.

Розв'язання:

1. Об'ємна маса бетонної суміші без добавки:

$$m_V = 250 + 750 + 1250 + 200 = 2450 \text{ кг/м}^3.$$

2. Склад $1 : X : Y : Z = 1 : 750/250 : 1250/250 : 200/250 = 1 : 3 : 5 : 0,8$.

3. Об'ємна маса бетонної суміші з добавкою

$$m_V' = (1 - 0,03)m_V = 0,97 \cdot 2450 = 2375 \text{ кг/м}^3.$$

$$(B/C)' = (1 - 0,12)B/C = 0,88 \cdot 0,8 = 0,7.$$

4. Суміш $1 : X : Y : Z' = 1 : 3 : 5 : 0,7$.

5. Витрата матеріалів на 1 м^3 бетону з добавкою

$$Ц' = \frac{m_V}{1+x+y+z'} = \frac{2375}{1+3+5+0,7} = 245 \text{ кг.}$$

$$П' = Ц'x = 245 \cdot 3 = 735 \text{ кг.}$$

$$Щ' = Ц'y = 245 \cdot 5 = 1225 \text{ кг.}$$

$$В' = Ц'(В/Ц)' = 245 \cdot 0,7 = 172 \text{ л.}$$

Витрата вінсолу: $245 \cdot 0,05 \cdot 0,01 = 0,123 \text{ кг.}$

6. Додаткова пористість бетонної суміші, утворена додаванням вінсолу.

$$\Delta\Pi = \frac{m_V - m_V'}{m_V} * 100 = \frac{2450 - 2375}{2450} * 100 = 3\%.$$

Додатковий об'єм пор в 1 м^3 бетонної суміші, утворених внесенням добавки, становитиме $0,03 \cdot 1000 = 30 \text{ л.}$

7. Міцність бетону без добавки обчислюємо за формулою

$$R_{\sigma} = AR_u \left(\frac{Ц}{В} - 0,5 \right),$$

а з повітровтягуючою добавкою за формулою:

$$R_{\sigma}' = AR_u \left(\frac{Ц}{В + \Delta\Pi} - 0,5 \right).$$

Прийнявши $A=0,6$, маємо міцність бетону без добавки

$$R_{\sigma} = 0,6 \cdot 470 \left(\frac{250}{200} - 0,5 \right) = 212 \text{ кгс/см}^2,$$

а з добавкою

$$R_{\sigma}' = 0,6 \cdot 470 \left(\frac{245}{172 + 30} - 0,5 \right) = 200 \text{ кгс/см}^2.$$

Характеристики	Одиниця вимірювання	Показник бетонів	
		без добавки	з добавкою
Склад	—	1:3:5:0,8	1:3:5:0,7
В/Ц	—	0,8	0,7
Витрата матеріалів на 1 м^3 бетону:			
цементу	кг	250	245
піску	»	750	735
щебеню	»	1250	1225
води	»	200	172
вінсолу	»	—	0,123
Об'ємна маса	кг/м^3	2450	2375
Додаткова пористість	%	—	3
Розрахункова міцність бетону	кгс/см^2	212	200

Задача 2.4.4 Для підвищення морозостійкості бетону та економії цементу в суміш додано 0,2 % омиленого деревного пеку від маси цементу. Результати випробувань на морозостійкість бетонів без додання і з доданням пеку надані в таблиці.

Бетон	Кількість циклів заморожування (над ризикою) і втрата маси зразків бетону, % під (ризикою) при витраті цементу, кг на 1 м ³ бетону		
	210	250	300
Без добавки	$\frac{48}{20}$	$\frac{84}{20}$	$\frac{137}{20}$
З добавкою	$\frac{150}{11,3}$	$\frac{150}{6,1}$	$\frac{150}{1,5}$

Користуючись експериментальними даними, наведеними в таблиці, обчислити можливу економію цементу за рахунок добавки за умови збереження морозостійкості (за показником втрати маси).

Розв'язання. Бетон з доданням пеку при витраті цементу 210 кг/см³ має більшу морозостійкість, ніж бетон без добавки при витраті цементу 300 кг/м³, хоч витрата цементу менша на 300-210=90 кг/м³, що становить 90/300 · 100=30 %.

Таким чином, зниження витрати цементу на 30 % при введенні добавки пеку не тільки не знизило морозостійкості бетону, але навіть підвищило її.

Задача 2.4.5 Визначити коефіцієнт виходу бетонної суміші та обчислити дозування (витрату матеріалів) на один заміс бетонозмішувача С-355 з завантажувальною ємкістю барабана 500 л. Визначити об'єм бетонної суміші в одному замісі даного змішувача. Склад бетону за масою 1:2:4; при В/Ц=0,5 і витраті цементу Ц=320 кг на 1 м³ бетону. Насипна маса цементу, піску і щебеню відповідно 1,3; 1,55 і 1,5 кг/м³.

Розв'язання. 1. Коефіцієнт виходу β дорівнює відношенню об'єму бетонної суміші до суми об'ємів сухих складових:

$$\beta = \frac{V_{\sigma}}{V_u + V_n + V_{ш}}$$

Для 1 м³ бетону

$$\beta = \frac{1000}{\text{Ц} \left(\frac{1}{m_n^u} + \frac{x}{m_n^n} + \frac{y}{m_n^{ш}} \right)} = \frac{1000}{320 \left(\frac{1}{1,3} + \frac{2}{1,55} + \frac{4}{1,5} \right)} = \frac{1000}{1500} = 0,67.$$

2. Витрати матеріалів на один заміс змішувача з завантажувальною ємкістю барабана $V_{зм}=500$ л:

$$Ц' = \frac{\beta V_{зм}}{1000} \cdot Ц = \frac{0,67 \cdot 500}{1000} \cdot 320 = 104 \text{ кг}$$

$$П' = \frac{\beta V_{зм}}{1000} \cdot П = 0,335 \cdot 320 \cdot 2 = 208 \text{ кг}$$

$$Щ' = \frac{\beta V_{зм}}{1000} \cdot Щ = 0,335 \cdot 320 \cdot 4 = 416 \text{ кг}$$

$$В' = \frac{\beta V_{зм}}{1000} \cdot В = 0,335 \cdot 320 \cdot 0,5 = 52 \text{ кг}$$

Разом 780 кг.

Задача 2.4.6 Визначити кількість (у процентах) меленої інертної мінеральної добавки (вапняку) до портландцементу для звичайного бетону нормального тверднення, якщо активність вихідного цементу $R_{ц}=385$ кгс/см² треба знизити на 135 кгс/см², щоб мати змішаний в'язучий матеріал активністю $R_{зм}=250$ кгс/см². Нормальна крутість і вихід тіста з цементу і вапняку мають відповідно близькі значення.

Розв'язання: Процент мінеральної добавки (Д), яку вводять, визначають пропорційно потрібному проценту зниження активності цементу (для інертних добавок – розріджувачів цементу), тобто $\frac{R_{ц} - R_{зм}}{R_{ц}} = \frac{Д}{100}$, звідки

$$Д = \frac{R_{ц} - R_{зм}}{R_{ц}} * 100.$$

Кількість добавки

$$Д = \frac{385 - 250}{385} * 100 = 35\%.$$

Кількість цементу

$$\frac{R_{зм}}{R_{ц}} * 100\% = \frac{250}{385} * 100 = 65\%.$$

Задача 2.4.7 Визначити кількість меленої мінеральної добавки (опоки) до портландцементу для звичайного бетону нормального тверднення, якщо треба знизити активність вихідного цементу $R_{ц}=430$ кгс/см² і одержати змішаний в'язучий матеріал активністю $R_{зм}=300$ кгс/см². Обчислити нормальну крутість тіста із змішаного цементу, якщо нормальна крутість тіста з цементу становить 25 %, з опоки 54 %, а густина ρ їх відповідно 3.1 і 2.4 г/см³.

Розв'язання. Коли б цемент і мінеральна добавка мали однакову водопотребу, то змішаний цемент треба було б виготовити з $\frac{300}{430} = 0,7$ частини цементу і $1 - \frac{300}{430} = 0,3$ частини добавки.

Але оскільки водопотреба опоки значно більша, ніж цементу (54%>25%), то кількість введеної добавки, визначену розрахунком на основі прямої пропорційності, треба зменшити множенням на коефіцієнт

$$K = \frac{B_u}{B_o},$$

де B_u – вихід тіста нормальної крутості з 1 г цементу, $см^3$;

B_d – те саме, з 1 г мінеральної меленої добавки, $см^3$.

Вихід тіста B_T визначають дослідами або за формулою

$$B_T = \frac{1}{\rho} + H_k,$$

де ρ – густина цементу або меленої добавки;

H_k – водотвердий фактор тіста нормальної крутості (для цементу або добавки).

Вихід тіста буде:

з цементу

$$B_u = \frac{1}{3,1} + 0,25 = 0,572;$$

з опоки

$$B_o = \frac{1}{2,4} + 0,54 = 0,957.$$

Звідси

$$K = \frac{0,572}{0,957} = 0,6.$$

Отже, вміст добавки опоки у змішаному цементі треба довести до $0,3 \cdot 0,6 = 0,18$. До складу розведеного цементу активністю $300 \text{ кгс}/\text{см}^2$ має входити 0,7 частини цементу $R_u = 430 \text{ кгс}/\text{см}^2$ і 0,18 частини опоки, тобто

$$\left(\frac{0,7}{0,7 + 0,18} \right) * 100 = 79,6\% \approx 80\% \text{ цементу};$$

10.7

ОПОКИ.

Нормальну крутість тіста із змішаного цементу обчислюємо за формулою

$$N_k = (CN_{k.c.} + DN_{k.d.}) / (C + D) = (80 \cdot 25 + 20 \cdot 54) / (80 + 20) = 30,8 \%,$$

де C і D – процент цементу і добавки у змішаному в'язучому;

$N_{k.c.}$, $N_{k.d.}$ – нормальна крутість тіста з цементу і добавки.

Задача 2.4.8 Задана міцність і легкоукладальність досягнута при $V/C = 0,5$ і витраті цементу – 300 кг/м^3 . Якщо додали добавку СДБ (0,2%), той же результат досягнуто при $V/C = 0,48$. Як зменшаться витрати цементу, якщо міцність залишається без змін?

Розв'язання. При добавленні домішки СДБ витрата води

$$V = 0,48 \cdot 300 = 144 \text{ л/м}^3.$$

Для збереження однакової міцності $V/C = 0,5$. Тоді витрата цементу

$$C = V / 0,5 = 144 / 0,5 = 288 \text{ кг.}$$

Заощадження витрати цементу:

$$\Delta C = 300 - 288 = 12 \text{ кг.}$$

Задача 2.4.9 На завод надійшла товарна ССБ густиною $\rho = 1,17$ і з концентрацією 34,5%. Товарну ССБ у проміжному баку розводять водою до 10%-ної концентрації (густиною 1,044). Витрата цементу 300 кг/м^3 . Оптимальна добавка ССБ (сухої речовини) 0,2% від маси цементу. Вихід готової продукції з барабана бетонозмішувача $0,8 \text{ м}^3$. Обчислити витрату на один заміс добавки ССБ у вигляді сухої речовини, товарного і 10%-ного концентрату.

Розв'язання. Витрати цементу на один заміс:

$$0,8 \cdot 300 = 240 \text{ кг.}$$

Витрата ССБ у вигляді сухої речовини:

$$0,002 \cdot 240 = 0,48 \text{ кг.}$$

Витрати товарного концентрату:

$$0,2 / 0,345 = 0,58 \text{ кг від маси цементу.}$$

На один заміс потрібно

$$0,0058 \cdot 240 = 1,39 \text{ кг, або } 1,39 / 1,17 = 1,19 \text{ л.}$$

Витрата розведеного (робочого) розчину 10%-ної концентрації:

$$0,2 / 0,1 = 2\% \text{ від маси цементу.}$$

Отже, на один заміс потрібно

$$0,02 \cdot 240 = 4,8 \text{ кг або } 4,8 / 1,044 = 4,6 \text{ л.}$$

У цій дозі розчину міститься води

$$4,8 - 0,48 = 4,32 \text{ кг(л).}$$

На цю кількість води і треба зменшити дозування води в заміс.

Задача 2.4.10 У бетонну суміш на рядових заповнювачах з витратою портландцементу М 400 – 360 кг/м^3 і $V/C = 0,5$ введено 2% хлористого кальцію від маси цементу. При цьому міцність бетону через 3 доби твердіння в нормальних умовах з добавкою виявилася вищою за міцність бетону без

добавки в 2 рази, через 7 діб – на 50%, через 28 діб – на 11%. Визначте міцність бетону.

Розв'язання.

$$R_{628} = AR_u \left(\frac{Ц}{В} - 0,5 \right), A = 0,6;$$

$$В/Ц = 0,5; В = 0,5 \cdot 360 = 180 \text{ л}; Ц/В = 360/180 = 2.$$

$$R_{628} = 0,6 \cdot 360 (2 - 0,5) = 324 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{67} = R_{28} \frac{\lg 7}{\lg 28} = 324 \cdot 0,845/1,447 = 189,22 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{63} = R_{28} \frac{\lg 3}{\lg 28} = 324 \cdot 0,477/1,447 = 106,92 \text{ кгс/см}^2.$$

Міцність бетону з добавлянням хлористого кальцію:

$$R_{63} = 2 \cdot 106,92 = 213,84 \text{ кгс/см}^2; R_{67} = 1,5 \cdot 189,22 = 283,83 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{628} = 1,1 \cdot 324 = 359,64 \text{ кгс/см}^2.$$

2.5 Виготовлення бетонної суміші

Задача 2.5.1 Визначити витрати матеріалів на 1 заміс бетонозмішувача (1200 л), якщо на 1 м³ бетону витрачають Ц – 300 кг, П – 600 кг, Щ – 1200 кг, В – 150 л. Насипна густина Ц – 1300 кг/м³, П – 1400 кг/м³, Щ – 1500 кг/м³.

Розв'язання. Коефіцієнт виходу бетону

$$\beta = \frac{1}{300/1300 + 600/1400 + 1200/1500} = 0,68.$$

Тоді витрати матеріалів на заміс:

$$Ц = 300/1000 \cdot 1200 \cdot 0,68 = 245 \text{ кг};$$

$$П = 600/1000 \cdot 1200 \cdot 0,68 = 490 \text{ кг};$$

$$Щ = 1200/1000 \cdot 1200 \cdot 0,68 = 979 \text{ кг};$$

$$В = 150/1000 \cdot 1200 \cdot 0,68 = 122 \text{ кг}.$$

Задача 2.5.2 Лабораторний склад бетону (на 1 м³): Ц – 360 кг, П – 580 кг, Щ – 1330 кг, В – 180 л. Вологість П – 2 % та Щ – 15 % по масі. Визначним виробничий (польовий) склад бетону.

Розв'язання.

$$Ц_{пол} = 360 \text{ кг};$$

$$П_{пол} = П + W_n \cdot П; П_{пол} = 580 + 0,02 \cdot 580 = 592 \text{ кг};$$

$$Щ_{пол} = Щ + W_{щ} \cdot Щ; Щ_{пол} = 1330 + 0,015 \cdot 1330 = 1370 \text{ кг};$$

$$В_{пол} = В - (W_n \cdot П + W_{щ} \cdot Щ) = 180 - (12 + 40) = 128 \text{ л}.$$

Задача 2.5.3 Скільки необхідно замісів бетонозмішувача ємністю 1200 л для виготовлення 20 м³ бетонної суміші, якщо коефіцієнт виходу бетону – 0,65?

Розв'язання. Об'єм бетону в 1 замісі:

$$V_{\bar{o}} = V_{\text{заміса}} \cdot \beta;$$
$$V_{\bar{o}} = 1200 \cdot 0,65 = 780 \text{ л.}$$

Кількість замісів:

$$n = 20000 / V_{\bar{o}} = 20000 / 780 = 25,6 \approx 26.$$

Задача 2.5.4 Визначити коефіцієнт виходу бетонної суміші та обчислити дозування (витрату матеріалів) на один заміс бетонозмішувача з завантажувальною ємкісною барабана 500 л. Визначити об'єм бетонної суміші в одному замісі даного змішувача. Склад бетону за масою 1 : 2 : 4 при В/Ц = 0,5 і витраті цементу Ц = 320 кг на 1 м³ бетону. Насипна маса цементу, піску і щебеню відповідно 1,3; 1,55 і 1,5 кг/дм³.

Розв'язання. 1. Коефіцієнт виходу β дорівнює відношенню об'єму бетонної суміші до суми об'ємів сухих складових:

$$\beta = \frac{V_{\bar{o}}}{V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}}.$$

Для 1 м³ бетону

$$\beta = \frac{1000}{\text{Ц} \left(\frac{1}{m_{\text{щ}}} + \frac{x}{m_{\text{п}}} + \frac{y}{m_{\text{ц}}} \right)} = \frac{1000}{320 \left(\frac{1}{1,3} + \frac{2}{1,55} + \frac{4}{1,5} \right)} = 0,67.$$

2. Витрати матеріалів на один заміс змішувача з завантажувальною ємністю барабана $V_{\text{зм}} = 500$ л:

$$\text{Ц}' = \frac{\beta V_{\text{зм}}}{1000} \cdot \text{Ц} = \frac{0,67 \cdot 500}{1000} \cdot 320 = 104 \text{ кг}$$

$$\text{П}' = \frac{\beta V_{\text{зм}}}{1000} \cdot \text{П} = 0,335 \cdot 320 \cdot 2 = 208 \text{ кг}$$

$$\text{Щ}' = \frac{\beta V_{\text{зм}}}{1000} \cdot \text{Щ} = 0,335 \cdot 320 \cdot 4 = 416 \text{ кг}$$

$$\text{В}' = \frac{\beta V_{\text{зм}}}{1000} \cdot \text{В} = 0,335 \cdot 320 \cdot 0,5 = 52 \text{ кг}$$

Разом 780 кг

3. Об'єм бетонної суміші в одному замісі при завантажувальній ємності барабана $V_{\text{зм}} = 500$ л:

$$V_{\bar{o}} = \beta V_{\text{зм}} = 0,67 \cdot 500 = 335 \text{ л} = 0,335 \text{ м}^3.$$

Задача 2.5.5 Відкоректувати дозування замісу бетонозмішувача, одержане при розв'язанні попередньої задачі, з урахуванням вологості матеріалів: піску – 6 %, щебеню – 1,5 %.

Розв'язання. Кількість води, л:

$$\text{У піску } 208 \cdot 0,06 = 12,48;$$

$$\text{У щебені } 416 \cdot 0,015 = 6,24.$$

На один заміс з урахуванням вологості матеріалів треба:

$$\text{Цементу (без змін) } - 104 \text{ кг}$$

$$\text{Піску } 208 + 12,48 = 220,5 \text{ кг}$$

$$\text{Щебеню } 416 + 6,24 = 422,5 \text{ кг}$$

$$\text{Води } 52 - \frac{(12,48 + 6,24)}{\text{Разом}} = 33 \text{ кг.}$$

Разом 780 кг

Задача 2.5.6 Обчислити продуктивність бетонозмішувального цеху за 1 зміну, якщо місячна потреба Q в бетонній суміші становить 9000 м^3 . Коефіцієнт погодинної нерівномірності витрати суміші $K_6 = 1,2$. Робочих годин на добу $T = 16$; робочих днів на місяць $D = 22$.

Розв'язання. Продуктивність цеху за 1 рік визначаємо за формулою

$$P_{\text{год}} = \frac{QK_6}{DT} = \frac{9000 \cdot 1,2}{22 \cdot 16} = 30,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

2.6 Ущільнення бетонної суміші

Задача 2.6.1 Залізобетонна конструкція формується на вібростолі з амплітудою $A = 0,35 \text{ мм}$ і частотою $f = 50 \text{ Гц}$. Визначити інтенсивність вібрації.

Розв'язання. Інтенсивність вібрації, $\text{см}^2/\text{с}^3$

$$I = A^2 f^3.$$

$$A^2 = 0,035^2 = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2;$$

$$f^3 = 50^3 = 1,25 \cdot 10^5 \text{ с}^3;$$

$$I = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,25 \cdot 10^5 = 150 \text{ см}^2/\text{с}^3$$

Задача 2.6.2 Бетонна суміш формується на вібростолі з амплітудою $A = 0,4 \text{ см}$ та частотою коливань $n = 3120 \text{ хвил}^{-1}$. Розрахувати швидкість коливань при вібрації.

Розв'язання. Залежність між швидкістю коливань V , амплітудою та частотою коливань:

$$V = 0,105 A n$$

$$V = 0,105 \cdot 3120 \cdot 0,4 = 13,1 \text{ см/хвил}^{-1}.$$

Задача 2.6.3 Визначити тиск преса при ущільненні бетонної плити розміром $0,4 \times 1,2 \text{ м}$. Присуючий тиск $p = 15 \text{ МПа}$.

Розв'язання. Площа плити

$$F = 0,4 \cdot 1,2 = 0,48 \text{ м}^2.$$

Тоді загальний тиск

$$P = pF = 15 \cdot 0,48 = 7,2 \text{ мН/м}^2.$$

Задача 2.6.4 Визначити величину максимального ущільнюючого тиску, який виникає в товщі формованого виробу під час вібропресування. Вироб висотою $h = 22 \text{ см}$ формується на віброплощині з привантаженням $q = 100 \text{ гс/см}^2$ при амплітуді $A = 0,3 \text{ мм}$ і частоті $n = 3000 \text{ кол/хв}$.

Розв'язання.

$$P_{\text{макс}} = m_v h + q + m_v h A \omega^2 / g = m_v h + q + m_v h \cdot 0,01 A n^2 / g,$$

де $P_{\text{макс}}$ – максимальний тиск у товщі формованого виробу, гс/см^2 ;

m_v – об'ємна маса бетонної суміші, $2,4 \text{ г/см}^3$;

h – висота виробу, см ;

q – тиск навантаження на бетон, гс/см²;
 $A \omega^2 = 0,01 A n^2$ – прискорення коливань, см/сек²;
 ω – кутова швидкість для колових коливань, рад/сек.;
 A – амплітуда, см;
 n – кількість коливань за хв.;
 g – прискорення сили тяжіння, що дорівнює 981 см/сек².

Підставивши числові величини, матимемо

$$P_{\text{Макс}} = 2,4 \cdot 22 + 100 + (2,4 \cdot 22 \cdot 0,01 \cdot 0,03 \cdot 3000^2)/981 = 297 \text{ гс/см}^2.$$

Задача 2.6.5 Визначити зусилля, потрібне для того, щоб витягти пустотоутворювачі при формуванні шести пустотних плит-настилів завдовжки 6 м. Питоме зусилля відривання при зсуві по поверхні ущільненої бетонної суміші прийняти 0,025 кгс/см², діаметр пустотоутворювачів 16 см.

Розв'язання. Загальна поверхня стикання шести пустотоутворювачів з бетоном

$$F = 6l\pi d = 6 \cdot 6 \cdot 3,14 \cdot 0,16 = 18 \text{ м}^2.$$

Потрібне зусилля

$$P = 0,025 \cdot 10000 \cdot 18 = 4500 \text{ кгс}.$$

2.7 Випробування і контроль якості бетону

Задача 2.7.1 Маючи міцність при стиску (R) кубів важкого бетону М 200 та М 600 визначити приземну міцність R_{np} , міцність на стиск при згині $R_{зг}$, міцність при осьовому розтязі R_p , міцність на розтяг при згині $R_{p\cdot зг}$, міцність на зріз $R_{зр}$. Порівняти ці показники для двох бетонів.

Розв'язання. 1. За формулою А.А. Гвоздева приземна міцність:

$$R_{np} = (1300 + R)/(1450 + 3R)$$

для бетону

$$M 200 R_{np} = 146 \text{ кгс/см}^2$$

$$M 600 R_{np} = 351 \text{ кгс/см}^2$$

2. Міцність на стиск при згині ($R_{зг}$)

$$R_{зг} = 1,25 R_{np}$$

для бетону

$$M 200 R_{зг} = 182 \text{ кгс/см}^2$$

$$M 600 R_{зг} = 438 \text{ кгс/см}^2$$

3. Міцність при осьовому розтязі (R_p) знайдемо за формулою Фере

$$R_p = 0,5 \sqrt[3]{R^2}$$

для бетону

$$M 200 R_p = 17 \text{ кгс/см}^2$$

$$M 600 R_p = 35 \text{ кгс/см}^2$$

4. Міцність на розтяг при згині $R_{p\cdot зг}$ знайдемо за співвідношенням

$$R_{p\cdot зг}/R_p = 1,5 \dots 2,2$$

Приймаємо 1,7 (середнє значення), тоді

для бетону

$$M 200 R_{p\cdot зг} = 28,5 \text{ кгс/см}^2$$

$$M 600 R_{p\cdot зг} = 59,5 \text{ кгс/см}^2$$

5. Міцність на зріз ($R_{зр}$) знайдемо за формулою

$$R_{зр} = 0,7 \sqrt{R_{нр} R_p}, \text{ тоді}$$

для бетону

$$M 200 R_{зр} = 34,5 \text{ кгс/см}^2$$

$$M 600 R_{зр} = 77,5 \text{ кгс/см}^2$$

Порівнюючи всі показники властивостей бетону, можна зробити висновок, що чим вище марка бетону, тим вищі його міцнісні властивості.

Задача 2.7.2 При дослідженні міцності при стиску кубів $10 \times 10 \times 10$ через 7 діб тверднення в нормальних умовах встановлено, що руйнівне навантаження – 260 кН. Визначити марку бетону.

Розв'язання. $R_{см}$ бетону через 7 діб

$$R_{см} = P/S \cdot \kappa = 260000 / (0,1 \cdot 0,1) \cdot 0,91 = 2366 \approx 2370 \text{ Па.}$$

$\kappa = 0,91$ – коефіцієнт розміру зразка.

$$R_{28} = R_7 = \frac{\lg 28}{\lg 7} = 2370 \cdot 1,447 / 0,846 = 4950 \text{ Па.}$$

Марка бетону \approx "500"

Задача 2.7.3 Гідравлічний прес має вимірювальні шкали на 50, 150 і 300 т. Визначити шкалу для дослідження міцності при стиску бетонних зразків ($20 \times 20 \times 20$ см), які тверднули 28 діб в нормальних умовах. $M_0 = 400$.

Розв'язання. Руйнующе навантаження

$$P = R \cdot F = 400 \cdot 20 \cdot 20 = 160000 \text{ кгс} = 160 \text{ т.}$$

Тому треба користуватися школою 300 т.

Задача 2.7.4 Вибрати гідравлічний прес для дослідження на згін бетонної балки $15 \times 15 \times 100$ см, яка опирається на дві опори. Навантаження P в середині прольоту. $R_{згину} = 80 \text{ кгс/см}^2$.

Розв'язання. Виходячи з формули

$$R_{згину} = 3Pl / 2bh$$

$$P = 80 \cdot 2 \cdot 15 \cdot 15^2 / 3 \cdot 100 = 1800 \text{ кг.}$$

Для дослідження треба застосувати 2-тонний прес.

Задача 2.7.5 Встановити морозостійкість бетону, якщо після 50 циклів заморожування і відтаювання його міцність $R_{мрз} = 240 \text{ кгс/см}^2$. Міцність зразків, які не заморожувалися $R = 300 \text{ кгс/см}^2$.

Розв'язання. Коефіцієнт морозостійкості

$$K_{мрз} = R_{мрз} / R = 240 / 300 = 0,8.$$

Морозостійкість 50, тому що $K_{мрз}$ більше 0,75.

Задача 2.7.6 Для дорожнього бетону застосований портландцемент марки 400 при $V/C = 0,6$. Встановити вплив заповнювачів на марку бетону, розглянувши бетони на заповнювачах високоякісних, рядових і зниженої якості. Вирішить цю задачу для $V/C = 0,4$.

Коефіцієнт якості (А): для високоякісних заповнювачів – 0,65

для рядових заповнювачів – 0,60

для зниженої якості заповнювачів – 0,55.

Розв'язання.

При $V/C = 0,6$.

$$V/C = A \cdot R_u / (R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_u);$$

$$R_{b1} = A \cdot 400/0,6 - 0,5 \cdot A \cdot 200 = 0,65 \cdot 400/0,6 - 0,5 \cdot 0,65 \cdot 200 = 368 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{b2} = 0,60 \cdot 400/0,6 - 0,5 \cdot 0,60 \cdot 200 = 340 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{b3} = 0,55 \cdot 400/0,6 - 0,5 \cdot 0,55 \cdot 200 = 312 \text{ кгс/см}^2.$$

При $V/C = 0,4$.

$$R_{b1} = 0,65 \cdot 400/0,4 - 0,5 \cdot 0,65 \cdot 200 = 585 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{b2} = 0,60 \cdot 400/0,4 - 0,5 \cdot 0,60 \cdot 200 = 540 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{b3} = 0,55 \cdot 400/0,4 - 0,5 \cdot 0,55 \cdot 200 = 495 \text{ кгс/см}^2.$$

Задача 2.7.7 Для дорожнього бетону на високоякісних заповнювачах застосовують портландцемент марки 600. Які марки бетону можна одержати при $V/C = 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$?

Розв'язання.

$$V/C = A \cdot R_u / (R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_u);$$

$$R_{b1} = A \cdot 600/0,35 - 0,5 \cdot A \cdot 600 = 0,65 \cdot 600/0,35 - 0,5 \cdot 0,65 \cdot 600 = 919,3 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{b1} = A \cdot 600/0,4 - 0,5 \cdot A \cdot 600 = 0,65 \cdot 600/0,4 - 0,5 \cdot 0,65 \cdot 600 = 780 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{b1} = A \cdot 600/0,5 - 0,5 \cdot A \cdot 600 = 0,65 \cdot 600/0,5 - 0,5 \cdot 0,65 \cdot 600 = 585 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{b1} = A \cdot 600/0,6 - 0,5 \cdot A \cdot 600 = 0,65 \cdot 600/0,6 - 0,5 \cdot 0,65 \cdot 600 = 445 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_{b1} = A \cdot 600/0,7 - 0,5 \cdot A \cdot 600 = 0,65 \cdot 600/0,7 - 0,5 \cdot 0,65 \cdot 600 = 362 \text{ кгс/см}^2.$$

Задача 2.7.8 Як буде змінюватись витрата цементу в дорожньому бетоні М 400, якщо для його виготовлення застосовувати портландцементи різних марок (400, 500, 600) при жорсткості суміші 80 с? При пластичності 5-6 см ОК? Заповнювачі низької якості, максимальна крупність щебеню 70 мм.

Розв'язання. Витрата води при жорсткості 80 с – 140 л.

Витрата води при ОК 5-6 см – 160 л. Коефіцієнт (А) для зниженої якості щебеню – 0,55.

При жорсткості суміші 80 с

Для М 400

$$V/C = A \cdot R_u / (R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_u) = 0,55 \cdot 400 / (400 + 0,5 \cdot 0,55 \cdot 400) = 0,43.$$

$$C = B / V/C = 140/0,43 = 325 \text{ кг/м}^3.$$

Для М 500

$$V/C = A \cdot R_u / (R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_u) = 0,55 \cdot 500 / (400 + 0,5 \cdot 0,55 \cdot 500) = 0,51.$$

$$C = B / V/C = 140/0,51 = 269 \text{ кг/м}^3.$$

Для М 600

$$V/C = A \cdot R_u / (R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_u) = 0,55 \cdot 600 / (400 + 0,5 \cdot 0,55 \cdot 600) = 0,58.$$

$$C = B / V/C = 140/0,58 = 206 \text{ кг/м}^3.$$

При пластичності 5-6 см

Для М 400

$$V/C = A \cdot R_u / (R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_u) = 0,55 \cdot 400 / (400 + 0,5 \cdot 0,55 \cdot 400) = 0,43.$$

$$C = B / V/C = 180/0,43 = 418 \text{ кг/м}^3.$$

Для М 500

$$B/C = A \cdot R_u / (R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_u) = 0,55 \cdot 500 / (400 + 0,5 \cdot 0,55 \cdot 500) = 0,51.$$

$$C = B / B/C = 180 / 0,51 = 352,9 \text{ кг/м}^3.$$

Для М 600

$$B/C = A \cdot R_u / (R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_u) = 0,55 \cdot 600 / (400 + 0,5 \cdot 0,55 \cdot 600) = 0,58.$$

$$C = B / B/C = 180 / 0,58 = 310,3 \text{ кг/м}^3.$$

3 Завдання для самостійної роботи студентів

3.1 Загальні властивості бетону

3.1.1 Визначити пористість бетонів, що затверділи із сумішей з В/Ц 0,7 та 0,95 і які містили однакову кількість води при замішуванні – по 190 л/м³. Води, хімічно зв'язаної з цементом, у бетонах міститься 17 % від маси цементу.

3.1.2 Визначити ступінь ущільнення укладеної бетонної суміші за такими даними: склад бетону 1 : 3 : 4,7 при В/Ц = 0,7; середня густина бетонної суміші 2310 кг/м³; істинна густина цементу 3,8 г/см³, а істинна густина суміші піску і щебеню 2,75 г/см³.

3.1.3 За даними і розв'язанням попередньої задачі обчислити середню густину і пористість затверділого бетону, вважаючи, що хімічно зв'язана вода становить 16% від маси цементу, а вологість бетону – 4 % від маси.

3.2 Складові важкого бетону

3.2.1 Цемент

3.2.1.1 Вміст води при зачиненні портландцементу був – 35 %, а кількість хімічно зв'язаної води – 22 % від маси цементу. Істинна густина – 3,5 гр/см³. Визначити пористість затверділого цементного каменю.

3.2.1.2 Вміст води в тісті з портландцементу 42 %. Для реакції гідратації необхідно 20 % води. Істинна густина шлакопортландцементу – 3,0 г/см³. Визначити пористість цементного каменю.

3.2.1.3 Якою буде активність цементу, що виготовлений з 65 % портландцементу марки „400” і 35 % опоки? Вважати, що до 28-добового віку опока не бере участі у створенні міцності цементного каменю (є розріджувачем цементу). Якої марки портландцемент слід взяти в даному випадку, щоб мати змішаний цемент марки „500”?

3.2.2 Заповнювачі

3.2.2.1 Визначити пустотність піску, якщо насипна густина піску $\rho_1 = 1780$ кг/м³, а істинна густина $\rho_2 = 3400$ кг/м³.

3.2.2.2 Визначити пустотність гранітного щебеню, якщо насипна густина щебеню $\rho_1 = 1680$ кг/м³, а істинна густина $\rho_2 = 2700$ кг/м³.

3.2.2.3 Насипна маса щебеню $m_n = 1,6$, середня густина $\rho_{сер} = 3,58$, істинна густина $\rho = 2,77$ г/см³. Обчислити: а) міжзернову пустотність щебеню; б) пористість каменю з якого виготовлено щебінь; в) сумарну (загальну) пористість (пустотність) щебеню. Визначити: а) об'єм каменю в 1 м³ щебеню; б) його об'єм в абсолютно щільному стані.

3.3 Розрахунок складу бетону

3.3.1 Загальний розрахунок складу бетону

3.3.1.1 Обчислити коефіцієнт виходу крупнопористого бетону складу по об'єму Ц:Щ = 1:10 з витратою цементу 180 кг на 1 м³. Насипна густина цементу 1290 кг/см³.

3.3.1.2 На 1 м³ бетонної суміші витрачено 290 кг цементу, 900 кг піску; 1800 кг щебеню і 200 л води. Густина цементу, піску і щебеню відповідно дорівнює 3,0; 2,8 та 2,75 т/м³. Визначити коефіцієнт ущільнення суміші.

3.3.1.3 Обчислити коефіцієнт виходу крупнопористого бетону складу по об'єму 1 : Щ = 1 : 8 з витратою цементу 130 кг/м³. Насипна густина цементу 1280 кг/см³.

3.3.1.4 На 1 м³ бетону витрачається цементу Ц = 500 кг, П = 700 кг, гравію Г = 1300 кг і води В = 180 л. Виразити склад бетону у вигляді співвідношення мас 1 : Х : Y і визначити водоцементне відношення. Тут Х – кількість частин піску, Y – кількість частин гравію, якщо кількість цементу вважати як одну частину за масою.

3.3.1.5 На 1 м³ бетону витрачається цементу Ц = 300 кг, піску П = 600, гравію Г = 1200 кг і води В = 200 л.

Виразити склад бетону у вигляді співвідношення мас 1 : Х : Y і визначити водоцементне відношення.

3.3.1.6 Склад бетону 1 : Х : Y = 1 : 1,5 : 4 при В/Ц = 0,5 і середня густина бетонної суміші $\rho_{б.с.} = 2450$ кг/м³. Визначити витрати матеріалів на 1 м³ бетону.

3.3.2 Правило водоцементного співвідношення

3.3.2.1 На 1 м³ бетону витрачається: цементу – 320 кг, піску – 560 кг, щебеню – 1350 кг, води – 180 л. Визначити склад бетону співвідношенням між масами складових і визначити В/Ц.

3.3.2.2 Визначити витрати матеріалів на 1 м³ бетону, якщо його склад по масі має співвідношення 1 : 3 : 5 при В/Ц = 0,7. Середня густина бетонної суміші – 3500 кг/м³.

3.3.2.3 Користуючись формулою М.М. Біляєва, обчислити, як зміниться міцність бетону із щебенем, якщо водоцементне відношення збільшити вдвоє – з 0,4 до 0,8. Активність цементу $R_u^{жс} = 800$ кгс/см².

3.3.2.4 Обчислити міцність бетонів, користуючись формулою М.М. Біляєва, при значеннях водоцементного відношення 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 і 0,8. Активність цементу $R_u^{жс}$ прийняти 400 і 500 кгс/см². Для виготовлення бетону використовують гравій.

3.3.3 Вплив міцності і якості матеріалів на склад бетону

3.3.3.1 Обчислити за формулами міцність бетону при двох значеннях водоцементного відношення – 0,70 і 0,53 – для випадків використання заповнювачів високоякісних, звичайних і зниженої якості. Активність цементу $R_u = 400$ кгс/см². Коефіцієнт якості (А): для високоякісних заповнювачів – 0,65, для рядових заповнювачів – 0,60, для зниженої якості заповнювачів – 0,55.

3.3.3.2 Підрахувати, при яких значеннях від цементного відношення марка бетону чисельно дорівнює активності цементу, яка визначена в

пластичних розчинах для випадків застосування високоякісних матеріалів і матеріалів зниженої якості.

3.3.4 Розрахунки за формулою логарифмічного закону зростання міцності бетону у часі

3.3.4.1 Визначити В/Ц бетонної суміші, при якому бетон з жорсткої суміші на високоякісних заповнювачах і на портландцементі М500 через 3 доби твердіння в нормальних умовах набере міцність при стиску 17 МПа.

3.3.4.2 При дослідженні кубів у віці 7 діб міцність при стиску – 380 кгс/см². Визначити марку бетону.

3.3.4.3 Визначити В/Ц бетону, при якому жорстка бетонна суміш з високоякісних заповнювачів на портландцементі М700 через 3 доби набере міцність при стиску $R_{63} = 170$ кгс/см².

3.4 Вплив добавок на властивості важкого бетону

3.4.1 Щоб прискорити тверднення бетону, в суміш додають хлористого кальцію. Бетон, виготовлений на портландцементі марки “400”, твердне за звичайним логарифмічним законом, а добавляння 1,5 % хлористого кальцію (від витрати цементу) підвищує міцність бетону через 3 доби приблизно на 100 %, через 7 діб на 50 % і через 28 діб на 10 %. Витрата цементу в бетоні 333 кг/м³, води 185 л/м³, заповнювачі – гравій і дрібнозернистий пісок.

Обчислити міцність у віці 3, 7 і 28 діб бетону без добавляння (№ 1) і з добавленням хлористого кальцію (№ 2). Визначити витрату хлористого кальцію на 1 м³ бетону, якщо є розчин $CaCl_2$ густиною $\rho=1,3$ (0,422 кг $CaCl_2$ в 1 л розчину).

3.4.2 Склад бетону без добавки: Ц=250 кг; П=750 кг; Щ=1250 кг; В=200 л. Активність цементу $R_u=470$ кгс/см². При додаванні в бетонну суміш вінсолу (0,05 % від витрати цементу) В/Ц знижується на 12 %, а об’ємна маса суміші зменшується на 3 %. Визначити основні характеристики бетону при додаванні вінсолу: об’ємну масу бетонної суміші, склад бетону, витрату матеріалів та об’єм додаткових пор, утворених внаслідок добавляння вінсолу. Обчислити очікувану міцність бетонів з добавкою і без неї. Результати підрахунків звести в таблицю.

3.4.3 Визначити коефіцієнт виходу бетонної суміші та обчислити дозування (витрату матеріалів) на один заміс бетонозмішувача С-355 з завантажувальною ємністю барабана 500 л. Визначити об’єм бетонної суміші в одному замісі даного змішувача. Склад бетону за масою 1:2:4; при В/Ц=0,5 і витраті цементу Ц=320 кг на 1 м³ бетону. Насипна маса цементу, піску і щебеню відповідно 1,3; 1,55 і 1,5 кг/м³.

3.5 Виготовлення бетонної суміші

3.5.1 Визначити витрати матеріалів на 1 заміс бетонозмішувача (1200 л), якщо на 1 м³ бетону витрачають Ц – 300 кг, П – 600 кг, Щ – 1200 кг, В – 150 л. Насипна густина Ц – 1300 кг/м³, П – 1400 кг/м³, Щ – 1500 кг/м³.

3.5.2 Скільки необхідно замісів бетонозмішувача ємністю 1200 л для виготовлення 20 м³ бетонної суміші, якщо коефіцієнт виходу бетону – 0,65?

3.5.3 Обчислити продуктивність бетонозмішувального цеху за 1 зміну, якщо місячна потреба Q в бетонній суміші становить 9000 м³. Коефіцієнт погодинної нерівномірності витрати суміші K_б = 1,2. Робочих годин на добу T = 16; робочих діб на місяць D = 22.

3.6 Ущільнення бетонної суміші

3.6.1 Бетонна суміш формується на вібростолі з амплітудою A = 0,4 см та частотою коливань n = 3120 хвил⁻¹. Розрахувати швидкість коливань при вібрації.

3.6.2 Визначити тиск преса при ущільненні бетонної плити розміром 0,4 x 1,2 м. Присуючий тиск p = 15 МПа.

3.7 Випробування і контроль якості бетону

3.7.1 Маючи міцність при стиску (R) кубів важкого бетону М 400 та М 600 визначити приземну міцність R_{пр}, міцність на стиск при згині R_{зг}, міцність при осьовому розтязі R_р, міцність на розтяг при згині R_{р-зг}, міцність на зріз R_{зр}. Порівняти ці показники для двох бетонів.

3.7.2 Гідравлічний прес має вимірювальні шкали на 50, 150 і 300 т. Визначити шкалу для дослідження міцності при стиску бетонних зразків (20 x 20 x 20 см), які тверднули 28 діб в нормальних умовах. M_б = 400.

3.7.3 Для дорожнього бетону застосований портландцемент марки 400 при В/Ц = 0,6. Встановити вплив заповнювачів на марку бетону, розглянувши бетони на заповнювачах високоякісних, рядових і зниженої якості. Вирішіть цю задачу для В/Ц = 0,4.

Література

1. Грушко И.М., Королев И.В., Борщ И.М., Мищенко Г.М. Дорожно-строительные материалы. – М.: Транспорт, 1983. – 357 с.
2. Дворкін Л.Й. Будівельне матеріалознавство. – Рівне: РДТУ, 1999. – 478 с.
3. Кривенко П.В. та ін. Будівельні матеріали. – К.: Вища школа, 1993. – 339 с.
4. Скрамтаев Б.Г. Примеры и задачи по строительным материалам. – М.: Высш. школа, 1970. – 232 с.
5. Грушко И.М., Глущенко Н.Ф., Космин А.В. Дорожно-строительные материалы: Сборник задач. – Харьков: Вища школа, 1987. – 96 с.
6. Конопленко О.І. Розрахунки і задачі з технології бетону. – Київ: Вища школа, 1972. – 220 с.
7. Дворкин Л.И. Строительные материалы и детали: Практикум. – К.: Вища школа, 1988. – 200 с.
8. Попов Л.И. Технология железобетонных изделий в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 1987. – 192 с.

Навчальне видання

Дорошенко Олександра Юріївна

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Методичні вказівки
для самостійної роботи студентів
Частина 2

Для студентів вищих навчальних закладів залізничного транспорту,
що навчаються за спеціальністю
8.100502 “Залізничні споруди та колійне господарство”

Відповідальний редактор О.Ю. Дорошенко

Редактор Л.В. Пономаренко

Підписано до друку 20.10.06. Формат паперу 60x84/16. Папір – офсетний.
Друк на ризографі. Замовлення № 227-06. Тираж 50.
Надруковано у друкарні Видавництва Київського університету економіки
і технологій транспорту.
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукащевича, 19.