

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра технології будівельних виробів
і матеріалознавства

03-09-52М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з навчальної дисципліни
**«Проектування складів бетонів
та розчинів різних видів»**
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою
«Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
денної форми навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою
з якості ННІБА
протокол № 1 від 31.08.2021 р.

Рівне – 2021

Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни **«Проектування складів бетонів та розчинів різних видів»** для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної форми навчання [Електронне видання] / Дворкін Л. Й., Житковський В. В., Ніхаєва Л. І. – Рівне : НУВГП, 2021. – 68 с.

Укладачі: Дворкін Л. Й., д.т.н., професор, завідувач кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства; Житковський В. В., к.т.н., доцент кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства; Ніхаєва Л. І., ст. викдалач кафедри кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства;

Відповідальний за випуск: Дворкін Л. Й., д.т.н., проф., завідувач кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства.

Керівник групи забезпечення спеціальності Дворкін Л. Й.

© Л. Й. Дворкін,
В. В.Житковський,
Л. І. Ніхаєва, 2021
© НУВГП, 2021

ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДІВ ВАЖКИХ БЕТОНІВ З КОМПЛЕКСОМ НОРМОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ

1.Завдання на проектування складу бетону

Склад бетону характеризується витратами окремих компонентів із визначеними якісними показниками на 1 м^3 бетонної суміші, які необхідні для забезпечення нормованих показників. Розрізняють номінальний (лабораторний) і виробничий (робочий) склади. *Номінальний склад* вказує витрати на 1 м^3 суміші сухих компонентів, *виробничий* – з певною вологістю компонентів.

Проектування (підбір) складів бетонів може виконуватись експериментальними або розрахунково-експериментальними методами. Першим етапом проектування складів бетонів є вибір вихідних матеріалів і визначення їх технічних властивостей. При виборі вихідних матеріалів враховують як їх якісні параметри, так і техніко-економічні характеристики. Загальні правила проектування складів бетонів наведені в ДСТУ Б В. 2.7-215:2009.

Завдання на проектування складу бетону повинно бути підготовлено для конструкцій або виробів конкретної номенклатури, що виготовляють із бетону одного виду і якості по визначеній технології.

Воно повинно містити:

- нормовані показники якості бетону відповідно до вимог проектної документації на конструкції (вироби) конкретних видів, для яких призначений бетон;

- показники якості бетонної суміші, тривалість і режими тверднення бетону та інші вимоги виробництва відповідно до технологічної документації;

- показники однорідності міцності бетону, а також відповідний їм середній рівень міцності, який передбачається на певний

період;

– обмеження за параметрами складу бетону і застосування матеріалів для його виготовлення, що встановлені нормативною і технологічною документацією.

2. Вибір вихідних матеріалів

Задача вибору вихідних матеріалів є техніко-економічною задачею, що значною мірою визначає ефективність складів бетону і досягнення ним необхідних властивостей.

2.1. Основними технічними показниками при *виборі виду цементу* є його хіміко-мінералогічний і речовинний склад; активність і марка або клас; міцність, яка досягається через визначений час тверднення в т.ч. при необхідності й в умовах тепловологісної обробки; нормальна густина, строки тужавлення і тонкість помелу; ряд інших показників, обумовлених проектними вимогами до бетону, умовами його роботи в конструкціях і спорудах.

Для бетонів, що тверднуть у природних умовах бажано застосовувати портландцементи I і II типів (ДСТУ БВ.2.7-46-2010, що виробляють на цементних заводах України (Додаток, табл. 1 Додаток А).

Для бетонів, що піддають тепловій обробці слід застосовувати цементи I і II групи ефективності при пропарюванні, які відносяться до низько- і середньоалюмінатних ($C_3A = 3...8\%$), нормально- і високоалітових ($C_3S - 50...60\%$). Не рекомендується в умовах теплової обробки бетонів застосовувати пуцоланові цементи (цементи IV типу).

При звичайній технології виробництва для бетонів класів C16/20...C25/30 необхідно застосовувати цемент марки не нижче M400, для бетонів класів C30/37 і вище – цемент марки не нижче M500. Для бетонів класів C12/15 і нижче можна застосовувати портландцемент марки M300.

2.2. Для важкого бетону в якості *дрібного заповнювача* застосовують пісок за ДСТУ Б В.2.7-32-95. Показником крупності піску є модуль крупності (M_k). Дуже дрібні піски ($M_k=1...1,5$) рекомендується застосовувати для бетонів класів С8/10 і нижче, дрібні піски ($M_k=1,5...2$) для бетонів класів С20/25 і нижче, середні піски ($M_k=2...2,5$) можна застосовувати для бетонів любых класів за міцністю. Крупні піски ($M_k=2,5...3$), а також піски підвищеної крупності ($M_k=3...3,5$) доцільно застосовувати для приготування бетонів класів С25/30 і вище. При можливості для покращення зернового складу дрібних і дуже дрібних пісків бажано додавати укрупнюючі добавки (крупний пісок, відсів від подрібнення щебеню).

Якість піску залежить від вмісту пиловидних, глинистих, а також інших шкідливих домішок. До пиловидних відносять частинки крупністю понад 0,005 до 0,05 мм, до глинистих і мулистих – менше 0,005 мм. Вміст часток, що відмулюються у природному піску допускається до 3%, у збагаченому – 2%, у подрібненому до 5%. Вміст глини в грудках не повинен перевищувати 0,5%.

Рекомендований зерновий склад піску з умови досягнення максимальної щільності наведений в Додаток, рис. 1.

При невідповідності зернового складу природного піску рекомендованим (Додаток, рис. 1) вимогам застосовують коригувальні добавки, зокрема пісок з відсівів фракції 2,5...5 мм.

2.3. В якості крупного заповнювача застосовують щебінь із природного каменю, гравій і щебінь із гравію, які задовольняють ДСТУ Б В.2.7-75-98 та ДСТУ Б В.2.7-43-96.

У крупному заповнювачі вміст окремих фракцій повинен забезпечувати отримання щільної суміші (Додаток, табл. 2, 3).

Щебінь або гравій характеризують зерновим або гранулометричним складом, який визначається шляхом просівання проби через стандартні сита. При цьому розміри отворів сит, на яких залишається чи проходить не менше 95% матеріалу, вважають відповідно найменшою чи найбільшою крупністю заповнювача.

При приготуванні бетонної суміші крупний заповнювач застосовують у виді окремих фракцій. Фракція 3...10 мм застосовується у випадку використання в якості дрібного заповнювача піску з модулем крупності не більше 2,5.

Вміст часток, що відмулюються у складі щебеню обмежується в межах 1...3%, у тому числі глини в грудках – не більше 0,25%.

Найбільший розмір крупного заповнювача не повинен перевищувати $\frac{3}{4}$ відстані між арматурними стержнями і $\frac{1}{3}$ товщини виробу чи конструкції.

Морозостійкість крупних заповнювачів для всіх видів важких бетонів не може бути нижча нормованої марки бетону за морозостійкістю. Для бетону, до якого пред'являються вимоги за морозостійкістю, використовують щебінь із вивержених порід марки за міцністю не нижче 1000. Необхідна морозостійкість щебеню і гравію нормується з урахуванням середньомісячної температури найбільш холодного місяця в році. Якщо остання коливається від 0 до мінус 10⁰С марка за морозостійкістю щебеню і гравію повинна бути не нижче F100, нижче мінус 10 – F200.

Вміст зерен пластинчастої (лещадної) і голчастої форми у крупному заповнювачі не повинен перевищувати 35%.

Міцність щебеню і гравію характеризується маркою за міцністю, яку визначають за його дробимістю при стискуванні (роздавлюванні) у циліндрі. Показник дробимості визначають за втратою маси після роздавлювання проби матеріалу і просіювання її на ситі з розміром отвору вчетверо меншим найменшого розміру зерен випробовуваної фракції згідно Додаток, табл. 4.

Для бетону застосовують щебінь із природного каменю з маркою не нижче 600 для класів за міцності до C12/15 включно, не нижче 800 для класів від C15/20 до C25/30 та 1200 для класів вище C25/30. Показники дробимості повинні бути для гравію і щебеню із гравію не менше: 800 для бетонів класів C12/15 і нижче, 1000 для бетонів класів C15/20 та вище.

До числа шкідливих домішок у заповнювачах бетону, що викликають його корозію і погіршення якості поверхні, відносяться: аморфні різновиди діоксиду кремнію, розчинні в лугах (халцедон, опал, кремій та ін.); сірка, сульфіди, сульфати, магнетит, гідроксиди заліза. Міцність і довговічність бетону зменшують такі домішки в заповнювачах як вугілля, графіт, горючі сланці, апатит, нефелін, фосфорит. Домішки, які містять водорозчинні хлориди, сірку, сульфіди та сульфати, можуть викликати корозію арматури у бетоні.

Допустимий вміст шкідливих домішок у заповнювачах бетонів наведений в Додаток, табл. 5.

2.4. Поряд з основними компонентами при отриманні бетону вводять *добавки* для регулювання властивостей бетонної суміші та бетону, а також для економії цементу. Умовно сукупність можливих добавок можна розділити на дві групи:

1) добавки-модифікатори (хімічні добавки), які вводять, як правило, у невеликій кількості (від долі відсотка до декількох відсотків від маси цементу);

2) мінеральні добавки, що частково замінюють клінкерну складову портландцементу і виконують роль мікронаповнювачів.

2.5. Згідно до ДСТУ Б В.2.7-171:2008 добавки, які застосовують для модифікування властивостей бетонних і розчинових сумішей, поділяють на три види: що регулюють властивості готових до використання сумішей; що змінюють властивості бетонів регулюють кінетику їх тверднення, та такі, що надають бетонам спеціальних властивостей (Додаток, табл. 6).

Пластифікуючі добавки призначені для покращення легкоукладальності бетонних сумішей або зниження їх водовмісту та економії витрати цементу. Їх поділяють на чотири категорії залежно від величини пластифікуючого ефекту (Додаток, табл. 7). Найбільш ефективні пластифікуючі добавки – *суперпластифікатори* класифікують за механізмом дії (Додаток, табл. 8).

Основне призначення *повітровтягувальних* добавок – підвищення морозостійкості бетону.

Як добавки-*прискорювачі твердіння* як правило застосовують електроліти – хлориди, сульфати і нітрати лужних металів і кальцію. Рекомендовані витрати прискорювачів: хлориду кальцію, сульфату натрію – 1...1,5%, нітрату кальцію, нітрату натрію, нітрит-нітрат-хлориду кальцію, тринатрійфосфату – 1,5...2,5%.

Порівняльна технологічна ефективність застосування добавок-прискорювачів наведена в Додаток, табл. 9. Хлоридні добавки забороняється застосовувати для попередньо напружених конструкцій, а також конструкцій з робочою арматурою діаметром до 5 мм та тих, що працюють у агресивних середовищах

Для забезпечення твердіння бетону при знижених та від'ємних температурах застосовують протиморозні добавкам (Додаток, табл. 10). Концентрація протиморозних

добавок залежить від розрахункової температури твердіння (Додаток, табл. 11).

Комплексні добавки (поліфункціональні модифікатори (ПФМ)) можна розбити на чотири групи: I – суміші електролітів; II- суміші ПАР; III- суміші електролітів і ПАР; IV – суміші хімічних і мінеральних добавок.

2.6. *Мінеральні добавки* залежно від їх здатності хімічно взаємодіяти з гідроксидом кальцію, утвореним при гідратації цементу поділяють на активні та інертні.

Мінеральні добавки, вводять або із цементом, або безпосередньо в бетонні суміші для економії цементу і регулювання ряду властивостей бетону.

Найбільшого поширення набуло введення в бетонні суміші в якості активної мінеральної добавки *золи-виносу* теплових електростанцій.

Залежно від області застосування золу згідно ДСТУ Б В.2.7-205:2009 поділяють на види: I – для залізобетонних конструкцій і виробів; II – для бетонних конструкцій і виробів; III – для конструкцій гідротехнічних споруд, а також на класи – для важкого (А) і легкого (Б) бетону.

Питома поверхня золи класу А повинна бути не менше 800 см²/г, а золи класу Б – знаходиться в інтервалі 1500...4000 см²/г. Залишок на ситі №008 для золи класу А не повинен перевищувати 15% за масою. Хімічний склад і вологість золи повинні відповідати вимогам, зазначеним у Додаток, табл. 12.

До високоактивних мінеральних добавок у бетон відносять *мікрокремнезем*. Мікрокремнезем представляє собою конденсований аерозоль, що вловлюється фільтрами систем газоочистки плавильних металургійних печей. В якості високоактивної мінеральної добавки може

бути застосованим також метакаолін (продукт помірною випалу каолінів).

2.7. Для замішування бетонної суміші використовується вода що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-273:2011. У воді обмежується до 10 мг/л вміст органічних ПАР, цукру та фенолу, не допускаються плівки нафтопродуктів, водневий показник не повинен бути меншим 4 і більше 12,5. У воді замішування обмежується вміст розчинних солей, іонів SO_4^{-2} та Cl^- , а також зважених частинок.

Допускається застосування технічної і природної води, забрудненої стоками, які містять домішки в кількості, що перевищує норми, зазначені в Додаток, табл. 31, крім домішок SO_4^{-2} і Cl^- , за умови обов'язкової відповідності якості бетону показникам, установленим проектом.

2.8. Критерієм для прийняття рішення про використання вихідних матеріалів згідно прийнятих радіаційно-гігієнічних норм є питома ефективна активність природних радіонуклідів – $A_{\text{еф}}$. Заповнювачі застосовують без обмежень, якщо $A_{\text{еф}}$ не перевищує 370 Бк/кг (І клас).

2.9. Фібра.

Сталева фібра. Для фібрового армування сталеві фібробетонних і комбіновано армованих сталеві фібробетонних конструкцій слід застосувати сталеву фібру. Характеристика найбільш розповсюджених на території України видів сталеві фібри наведена в табл. А.32.

Мінімальний опір розтягу фібри f_{fk} для сталеві фібробетону повинен бути не менше 800 МПа.

Модуль пружності всіх видів фібри E_f приймається 190000 МПа.

Довжина фібри повинна перевищувати щонайменше в чотири рази найбільший розмір крупного заповнювача.

Базальтова фібра. Базальтову фібру виготовляють на основі базальтового грубого волокна діаметром 50...80 мкм, яке повинно відповідати вимогам ТУ 023.005-89 та ТУ У В.2.7-26.8-32673353-001.

Фізико-механічні показники базальтової фібри представлені в Додаток, табл. 36.

За величину міцності грубого базальтового волокна на розтяг, МПа, приймають середнє арифметичне результатів випробувань не менше п'ятнадцяти зразків.

3. Схема розрахунку складів важкого бетону

3.1. Загальні положення.

Для важкого бетону основними розрахунковими параметрами складу є цементно-водне відношення – Ц/В, водопотреба – В і вміст піску в суміші піску та щебеню (гравію) – г. Похідними від цих параметрів можна вважати витрату цементу – Ц, піску – П та щебеню – Щ.

Бетонна суміш у загальному випадку являє собою систему, для якої справедлива умова:

$$V_1 + V_2 + V_3 \dots V_n = I, \quad (1.1)$$

де V_i – абсолютний об'єм компонента бетонної суміші.

При використанні цієї умови задача розрахунку складу бетонної суміші зводиться до визначення витрат n-1 компонентів, наприклад для звичайного важкого бетону, витрат цементу, води, піску або щебеню (гравію).

Загальна схема розрахунку складів важкого бетону наведена на рис. 1.1. Дана схема може ускладнюватися при введенні додаткових нормованих властивостей, які пов'язані не лише з Ц/В, а із іншими параметрами складу (усадка, динамічна міцність, морозостійкість та ін.), збільшенні числа компонентів суміші, оптимізації складів.

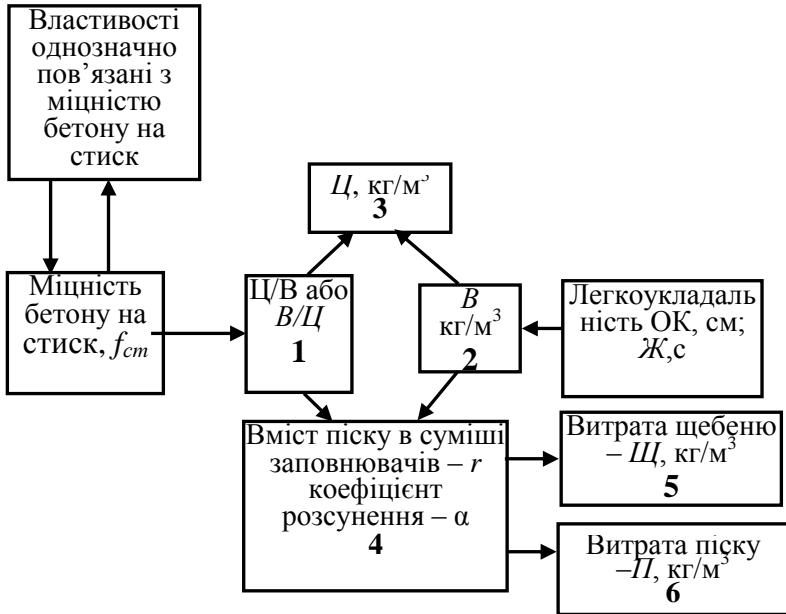


Рис. 1.1. Схема розрахунку номінальних складів важкого бетону

4. Визначення цементно-водного відношення

4.1. Основним параметром, що визначає цементно-водне відношення є міцність бетону на стиск, яка встановлюється залежно від відповідного класу (Додаток, табл. 13). При розрахунках Ц/В приймається середній рівень міцності бетону, який визначається за формулою:

$$f_c = k_t C_n, \quad (1.2)$$

де C_n – значення класу бетону за міцністю на стиск, осьовий розтяг або розтяг при згині, МПа, у проектному або проміжному віці, що зазначена у нормативній або проектній документації (*характеристична міцність бетону*);

k_t – коефіцієнт необхідної міцності для усіх видів бетонів, що приймається залежно від середнього значення групового коефіцієнта варіації міцності бетону V_{cm}

(Додаток, табл. 14).

При відсутності даних статистичного контролю або до накопичення їх необхідної кількості необхідну міцність бетону розраховують за формулою:

$$f_c = 1,1 \frac{C_n}{0,78}, \quad (1.3)$$

Якщо визначальними для бетону є показники морозостійкості, водонепроникності та ін. середній рівень міцності повинен бути достатнім, щоб забезпечити дані показники.

Для розрахунків Ц/В найбільш широко застосовують формулу:

$$f_{cm} = AR_u (Ц / B - 0,5); \quad (1.4)$$

де f_{cm} – проектна середня міцність бетону на стиск, МПа;

R_u – активність або марка цементу, МПа;

A – коефіцієнт, що залежить від якості заповнювачів.

(Додаток, табл. 15).

При орієнтовних розрахунках і застосуванні заповнювачів високої якості $A=0,65$, середньої якості – $A=0,6$, низької – $A=0,55$.

Розрахункові формули Ц/В і В/Ц:

$$\frac{Ц}{B} = \frac{f_{cm} + 0,5AR_u}{AR_u}; \quad (1.5)$$

$$\frac{B}{Ц} = \frac{AR_u}{f_{cm} + 0,5AR_u}; \quad (1.6)$$

Якщо поставлено задачу запроектувати склад бетону із заданою міцністю через 4 год. після пропарювання за нормалізованим режимом (2+3+6+2 год) із відомою активністю цементу після пропарювання ($R_{u,пр.}$), може бути використана формула:

$$f_{cm} = (0,41R_{c,np} + 9)C/B - 0,83(C/B)^2 - 0,35R_{c,np} - 7. \quad (1.7)$$

4.2. Якщо подати параметр A у формулі (1.4) як інтегральний *мультиплікативний коефіцієнт* pA_i , можна значно збільшити її “дозволяючу здатність”, зробити її придатною для розрахунку Ц/В бетонів із різними умовами тверднення, у різному віці і т.д.

Вираз для мультиплікативного коефіцієнта pA_i можна представити у виді:

$$pA_i = AA_1A_2 \dots A_n, \quad (1.8)$$

де A_i – вихід міцності, зумовлений дією певних факторів, наприклад температури та тривалості твердіння ($A_{\tau,t}$).

Значення $A_{\tau,t}$ при $t = 5 \dots 40^\circ\text{C}$, $\tau = 1 \dots 28$ діб можна знайти за табл. А.16 або за формулою:

$$A_{\tau,t} = a \cdot \ln(n) + b \cdot t + c, \quad (1.9)$$

де n – кількість діб твердіння, a , b , c – коефіцієнти (Додаток, табл. 17).

Орієнтовний вихід міцності бетону при від’ємних температурах з урахуванням виду та концентрації протиморозних добавок (Додаток, табл. 10, 11).

4.3. При необхідності визначення Ц/В для бетонів, з комплексом нормованих показників враховують їх зв’язки з міцністю бетону на стиск і встановлюють за відповідними розрахунковими залежностями (Додаток, табл. 18, 19) необхідне значення Ц/В, що задовольняє усім проектним вимогам.

Ц/В бетону із заданою морозостійкістю визначається поряд із міцністю об’ємом втягнутого повітря. Об’єм втягнутого повітря може бути призначений за нормативними рекомендаціями або орієнтовно розрахований за емпіричними залежностями.

Для бетонів з *нормованою морозостійкістю* F200 і вище, які експлуатуються в умовах насичення водою, об’єм втягнутого повітря в бетонній суміші згідно ДСТУ Б В.2.7.-43-96

повинен відповідати значенням зазначеним у табл. 20, Додаток.

Орієнтовно об'єм необхідного втягнутого повітря може бути знайдений із наступної формули:

$$V_{n.в} = \frac{\ln\left(\frac{F}{A_1 f_{cm}^{A_2}}\right)}{0,35}, \quad (1.10)$$

де F – марка бетону за морозостійкістю;

f_{cm} – міцність бетону на стиск, МПа;

A_1 і A_2 – коефіцієнти.

Для рухомих бетонних сумішей з ОК=9...12 см $A_1=0,34$; $A_2=1,68$, молорухомих (ОК=1...4 см) $A_1=0,91$; $A_2=1,47$, жорстких – $A_1=2,48$; $A_2=1,28$.

Необхідний об'єм втягнутого повітря забезпечується введенням повітрявтягувальних добавок, дозування яких визначається експериментально залежно від складу бетонних сумішей. На рис. 3, Додаток наведена експериментально отримана номограма для визначення вмісту повітрявтягувальної добавки типу СНП залежно від необхідного об'єму втягнутого повітря ($V_{n.в}$), витрат води (B) і цементу (C), частки піску в суміші заповнювачів (r) і вмісту в піску фракції менше 0,63 мм.

Для бетонів з нормованою водонепроникністю розраховують коефіцієнт фільтрації і марку бетону за водонепроникністю (Додаток, табл. 19, (10)).

Перехід від розрахункового коефіцієнта фільтрації до марки бетону за водонепроникністю може бути виконаний за табл. 21, Додаток.

Додаткові можливості для розширення діапазону розв'язуваних задач за допомогою формули (1.4) з'являються при використанні поняття “*приведеного Ц/В*”, тобто такого Ц/В, при якому міцність бетону з добавками

ідентична міцності бетону без добавок. У цьому випадку формула (1.4) приймає вид:

$$f_{cm} = pAR_u \left(\frac{C + K_{ц.е.}D}{B + V_n} - 0,5 \right), \quad (1.11)$$

де pA – мультиплікативний коефіцієнт – добуток коефіцієнтів, які враховують якість вихідних матеріалів, ріст міцності в часі, прискорення або уповільнення росту міцності при введенні добавок і використанні інших технологічних прийомів при незмінних значеннях Ц/В;

D – витрата мінеральної добавки, яка вводиться у бетонну суміш;

$K_{ц.е.}$ – коефіцієнт “цементуючої ефективності” або “цементний еквівалент” 1 кг добавки;

V_n – об’єм втягнутого повітря.

Перехід від “приведеного Ц/В” до фактичного Ц/В можна здійснити за формулою:

$$C/B = \frac{(C + K_{ц.е.}D) - K_{ц.е.}D}{(B + V_n) - V_n}. \quad (1.12)$$

Коефіцієнт “цементуючої ефективності” легко визначити за експериментальними даними для рівномірних бетонів за формулою:

$$K_{ц.е.} = \frac{C_1 - C_2}{D}, \quad (1.13)$$

де C_1 – витрата цементу в бетоні без мінеральних добавок;

C_2 – витрата цементу в бетоні з мінеральними добавками;

D – витрата добавки.

Для прикладу значення рекомендованої витрати і коефіцієнта “цементуючої ефективності” для золи-виносу Бурштинської ТЕС наведені в табл. 22, 23, Додаток.

Для бетону з однаковою міцністю і легкоукладальністю економія цементу ΔC за рахунок

введення активної мінеральної добавки (активного наповнювача) може бути знайдена з рівняння:

$$\Delta C = K_{ц.с.Д} - \left(\frac{C}{B} \right)_{пр} \cdot \Delta B, \quad (1.14)$$

де ΔB – зміна водопотреби бетонних сумішей при додаванні мінеральної добавки.

Приклад 1. Необхідно розрахувати C/B для важкого бетону класу $C16/20$. Бетон виготовляють із застосуванням портландцементу марки $M500$ на гранітному щебені з вмістом відмулюваних часток (глини, пилу і мулу) 1% і кварцовому піску – 3% . За даними виробничого контролю середнє значення коефіцієнта варіації бетону $V_c = 8\%$.

1. Розраховуємо середній рівень міцності бетону. При $V_c = 8\%$ коефіцієнт $k_t = 1,09$ (Додаток, табл. 14):

$$f_{cm} = k_t C = 1,09 \cdot 20 = 21,8 \text{ МПа};$$

2. Для розрахунку C/B приймаємо формулу (1.4);

3. Значення коефіцієнта A прийемо за табл. 15, Додаток, $A = 0,58$;

4. За формулою розраховуємо значення C/B :

$$\frac{C}{B} = \frac{21,8 + 0,5 \cdot 0,58 \cdot 50}{0,58 \cdot 50} = 1,25.$$

Приклад 2. Необхідно розрахувати B/C для отримання бетону міцністю 20 МПа у віці (τ) 7 діб при температурах тверднення (t) 10 і 30°C . Коефіцієнт A в формулі (1.8) з урахуванням якості заповнювачів прийняти $0,52$ (табл. А.15). Активність використаного портландцементу $R_{ц} = 40$ МПа.

1. Знаходимо за табл. 16, Додаток, коефіцієнт $A_{т\tau}$:

при $t=10^{\circ}\text{C}$, $\tau=7$ діб $A_{\tau}=0,58$;
 $t=30^{\circ}\text{C}$, $\tau=7$ діб $A_{\tau}=0,90$;

2. Знаходимо В/Ц за формулою (1.6), врахувавши додатково коефіцієнт A_{τ} :

$$\text{при } 10^{\circ}\text{C} \quad B / Ц = \frac{0,58 \cdot 0,52 \cdot 40}{20 + 0,5 \cdot 0,52 \cdot 0,58 \cdot 40} = \frac{12,064}{26,03} = 0,46 ;$$

$$30^{\circ}\text{C} \quad B / Ц = \frac{0,90 \cdot 0,52 \cdot 40}{20 + 0,5 \cdot 0,52 \cdot 0,90 \cdot 40} = \frac{18,72}{29,36} = 0,64 .$$

Використання коефіцієнта A_{τ} дає можливість розглянути приклад і при іншій постановці задачі, визначивши очікувану міцність бетону у віці 7 діб (f_{cm7}) при температурах тверднення 10 і 30° С, якщо він розрахований на міцність у 28 діб. Наприклад за нормальних умов тверднення $f_{cm} = 30$ МПа. Тоді при $t=10^{\circ}\text{C}$ $f_{c7}=0,58 \cdot 30=17,4$ МПа; $t=30^{\circ}\text{C}$ $f_{c7}=0,9 \cdot 30=27$ МПа.

Приклад 3. Бетон на портландцементі марки М500 і заповнювачах середньої якості з добавкою нітриту натрію (НН) твердне при температурі -5°C . Визначити Ц/В при якому бетон у віці 28 діб буде відповідати за міцністю на стиск класу С16/20.

1. Середній рівень міцності бетону класу С16/20 (формула 1.3):

$$f_{cm} = \frac{20}{0,778} = 25 \text{ МПа} ;$$

2. Приймаємо коефіцієнт A у формулі (1.8), що враховує якість заповнювачів рівним 0,6, а коефіцієнт A_{τ} , що враховує вихід міцності бетону з протиморозною добавкою у віці 28 діб 0,7 (Додаток, табл. 33). Тоді значення Ц/В, яке при заданих умовах забезпечує отримання бетону класу С16/20 за формулою (1.4) дорівнює:

$$\frac{Ц}{В} = \frac{25 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 50}{0,6 \cdot 0,7 \cdot 50} = \frac{35,5}{21} = 1,69 .$$

Приклад 4. Для отримання бетону класу С20/25 на портландцементі марки М500 і заповнювачах низької якості, що має тверднути за нормальних умов введено 150 кг/м³ золи-виносу. Визначити необхідне значення приведенного Ц/В – (Ц/В)_{пр} і розрахувати можливе зменшення Ц/В внаслідок введення золи-виносу. Витрата води 180 л/м³.

1. Необхідний середній рівень міцності бетону:

$$f_{cm} = \frac{25}{0,778} = 32 \text{ МПа};$$

2. Приймаємо за табл. 15, Додаток, А = 0,55. Знайдемо значення (Ц/В)_{пр} за формулою:

$$\left(\frac{Ц}{В}\right)_{пр} = \frac{Ц + K_{у,с}Д}{В} = \frac{32 + 0,5 \cdot 0,55 \cdot 50}{0,55 \cdot 50} = \frac{45,75}{27,5} = 1,66;$$

3. Величина фактичного Ц/В при введенні добавки золи-виносу за формулою (1.12) (Д=150 кг/м³, K_{у,с}=0,16 (Додаток, табл. 23):

$$\frac{Ц}{В} = 1,66 - \frac{0,16 \cdot 150}{180} = 1,53;$$

4. Розрахункове зменшення Ц/В при введенні золи-виносу:

$$\Delta Ц/В = 1,66 - 1,53 = 0,13.$$

Приклад 5. Визначити необхідне Ц/В, яке забезпечує у віці 28 діб міцність бетону на стиск $f_{cm} \geq 20$ МПа, міцність бетону на розтяг при згині $f_{c,tg} \geq 8,3$ МПа, міцність бетону на розтяг при розколюванні $f_{c,m} \geq 7,9$ МПа.

Розрахуємо за формулами табл. 18, Додаток значення Ц/В залежно від показників міцності на стиск, розтяг при згині і розтяг при розколюванні.

Для даного прикладу визначальним параметром є міцність на розтяг при розколюванні. Значення C/B , яке забезпечує $f_{c,m} = 7,9$ МПа ($C/B = 2,1$) дозволяє також отримання і значення міцності на стиск і на розтяг при згині не менше заданих.

5. Визначення водопотреби бетонної суміші

5.1. На водопотребу бетонної суміші вирішальне значення має показник легкоукладальності, який призначається залежно від особливостей конструкцій і способу укладки (Додаток, табл. 24).

В практиці проектування складів бетону водопотребу бетонних сумішей визначають по усередненим емпіричним даним (Додаток, табл. 25) можна також використовувати узагальнені розрахункові залежності:

$$V_0 = 176 - 0,8D_{щ} + 6,1OK + 0,0029D_{щ}^2 - 0,14OK^2; \quad (1.15)$$

$$V_0 = 197 - 0,91D_{щ} - 1,12Ж + 0,0026 D_{щ}^2 - 0,0047Ж^2, \quad (1.16)$$

де $D_{щ}$ – найбільша крупність щебеню, мм;

OK – осадка конуса, см;

Ж – жорсткість бетонної суміші, с.

Для врахування особливостей вихідних матеріалів, витрати цементу і температури бетонної суміші розрахункові значення V_0 можна коригувати за (Додаток, табл. 26).

5.2. При розрахунках водопотреби бетонних сумішей із пластифікуючими добавками враховується їх *водоредукуючий ефект* (Додаток, табл. 27).

Ефект зниження водопотреби для добавок всіх груп не повинен супроводжуватись зниженням міцності бетону у всі строки випробувань. Залежно від водоредукуючого ефекту добавки поділяють на чотири групи: I – зниження

витрати води на 20% і більше, II – на 12...19%, III – на 6...11%, IV – 5% і менше.

Приклад 6. Визначити орієнтовну витрату води для виготовлення бетонної суміші марки P2 (OK= 5...7 см). Вихідні матеріали: портландцемент з НГ=24%, крупний заповнювач – річковий гравій крупністю до 40 мм, дрібний заповнювач – пісок із $M_p = 1,5$ і вмістом мулу та пилу – 4%.

Орієнтовну витрату води визначаємо за даними табл. А.25.

Таблиця 1
Розрахунок витрати води, л/м³

Водопотреба за табл. А. 25, л/м ³	Поправки л/м ³ на застосування				Орієнтовна витрата води, л/м ³
	гравію	портланд-цементу з НГ=24%	піску із $M_k=1,5$	вміст пилу та мулу в піску	
185	-10	-8	+5	+2	174

Приклад 7. Визначити орієнтовну витрату води для отримання бетонної суміші з ОК=9...10 см. Вихідні матеріали: пуцолановий портландцемент (портландцемент IV типу), щебінь крупністю до 40 мм, пісок з $M_{кр} = 1,5$. Добавка – суперпластифікатор із водоредукуючим ефектом 20...25%.

1. За даними табл. 25, Додаток знаходимо, що орієнтовна витрата води в бетонній суміші без пластифікуючої добавки з урахуванням поправок на водопотребу піску і застосування пуцоланового цементу

повинна складати:

$$200+5+15=220 \text{ л};$$

2. Введення добавки суперпластифікатора знижує витрату води на 20...25%: $220\text{л} - (44...55)\text{л} = 176...165 \text{ л}$.

6. Визначення витрати компонентів бетонної суміші

6.1. Витрату цементу ($\text{кг}/\text{м}^3$) розраховують за формулою:

$$Ц = B \cdot \frac{Ц}{B} \text{ або } Ц = \frac{B}{B / Ц}. \quad (1.17)$$

Мінімальна витрата цементу приймається за ДСТУ Б В.2.7.-43-96 відповідно до табл. 28, Додаток.

6.2. Витрату заповнювачів розраховують, знаючи об'єм цементного тіста ($V_{ц.м}$) в бетонній суміші і рекомендовану частку піску (r) в сумарному об'ємі піску та щебеню (гравію).

Об'єм цементного тіста, $\text{л}/\text{м}^3$:

$$V_{ц.м} = \frac{Ц}{\rho_ц} + B. \quad (1.18)$$

Об'єм заповнювачів бетону, $\text{л}/\text{м}^3$:

$$V_з = 1000 - V_{ц.м}. \quad (1.19)$$

Об'єм V_n , $\text{л}/\text{м}^3$ і маса Π , $\text{кг}/\text{м}^3$ піску:

$$V_n = rV_з, \quad \Pi = \rho_n V_n. \quad (1.20)$$

Об'єм $V_{щ}$, $\text{л}/\text{м}^3$ і маса $\Piщ$, $\text{кг}/\text{м}^3$, крупного заповнювача:

$$V_{щ} = V_з - V_n, \quad (1.21)$$

$$\Piщ = \rho_{щ} V_{щ}, \quad (1.22)$$

У наведених вище формулах $\rho_{ц}$, ρ_n , $\rho_{цн}$ – густина відповідно цементу ($\rho_{ц} \approx 3,1$ кг/л), піску, щебеню чи гравію.

Рекомендовані орієнтовні значення частки піску (r) у суміші заповнювачів наведені в табл. 29, Додаток.

6.3. Для визначення витрат піску і щебеню (гравію) при відомих значеннях В/Ц і Ц можна застосовувати коефіцієнт заповнення порожнин і розсунення зерен щебеню (гравію) цементно-піщаним розчином – α (Додаток, табл. 30).

З умови матеріального балансу: витрати крупного заповнювача (Щ) і піску (П) можна знайти за формулами:

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_{цн}} + \frac{\alpha P_{цн}}{\rho_{ц}}}; \quad (1.23)$$

$$\text{П} = (1000 - \text{Ц} / \rho_{ц} - \text{В} / \rho_{в} - \text{Щ} / \rho_{цн}) \rho_n. \quad (1.24)$$

У формулах 1.23 і 1.24: $P_{щ}$ – пустотність щебеню (гравію), $\rho_{щн}$ і $\rho_{н.щ}$ – істинна та насипна густина крупного заповнювача; ρ_n – густина піску.

Приклад. 8. Розрахувати номінальний склад бетону класу C12/15 у віці 28 діб, що вкладається бетононасосом у неармовану конструкцію завтовшки 700 мм при відсутності арматури. Активність портландцементу 40 МПа, його густина $\rho=3,1$ кг/л, нормальна густина цементного тіста 26 %. Густина кварцового піску $\rho_n=2,62$ кг/л, модуль крупності дорівнює $M_k=2$, густина гранітного щебеню $\rho_{щн}=2,68$ кг/л. Рухомість бетонної суміші за умовами укладки бетононасосом приймається рівною ОК=6 см (марка за легкоукладальністю P2). Найбільша крупність заповнювача для бетононасосу 40 мм, насипна густина $\rho_{н.щ}=1,48$ кг/л.

1. Встановлюємо необхідну середню міцність бетону за формулою (1.3):

$$f_{cm} = \frac{15}{0,788} = 19,2 \text{ МПа}. \text{ Приймаємо } f_{cm} = 20 \text{ МПа};$$

2. Водоцементне відношення визначаємо за формулою (1.4) для рядових заповнювачів ($A=0,6$).

$$\frac{B}{Ц} = \frac{0,6 \cdot 40}{20 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 40} = 0,75;$$

3. Витрата води – $B=185 \text{ л/м}^3$ (за табл. 25, Додаток).

4. Визначаємо витрату цементу, кг/м^3 :

$$Ц = \frac{185}{0,75} = 247.$$

5. Вираховуємо пустотність крупного заповнювача:

$$P_{ц} = 1 - \frac{1,48}{2,65} = 0,44.$$

6. Коефіцієнт розсунення зерен $\alpha = 1,35$ (за табл. 30, Додаток). Оскільки пісок має водопотребу 8%, зменшуємо коефіцієнт розсунення на 0,03, остаточно приймаємо $\alpha = 1,32$. Визначаємо витрату щебеню за формулою (1.23), кг/м^3 :

$$Щ = \frac{1000}{\frac{0,44 \cdot 1,32}{1,48} + \frac{1}{2,68}} = 1310.$$

7. Визначаємо за формулою 1.24 витрату піску, кг/м^3 :

$$П = \left[1000 - \left(\frac{247}{3,1} + \frac{1310}{2,68} + 185 \right) \right] \cdot 2,62 = 645.$$

Розрахунковий номінальний склад бетону, кг/м^3 : $Ц = 247$; $П = 645$; $Щ = 1310$; $B = 185$ або 1:2,61:5,3 при $B/Ц = 0,75$.

Приклад 9. Визначити склад важкого бетону з середнім рівнем міцності в 28 діб $f_{cm}=60$ МПа, що твердне в умовах, які наближаються до нормальних. Рухомість бетонної суміші відповідає $OK=2...4$ см, у суміші вводитьься добавка-суперпластифікатор С-3 в оптимальній кількості 0,8% від маси цементу.

Вихідні матеріали: портландцемент із активністю $R_u=45$ МПа. Щебень гранітний з максимальною крупністю зерен 40 мм, істинною густиною $\rho_{цц}=2,7$ г/см³, насипною густиною $\rho_{н.цц}=1630$ кг/м³, пісок середньозернистий із модулем крупності $M_k=2,2$ і густиною $\rho_n=2,6$ г/см³.

1. Знайдемо значення водоцементного відношення за формулою (1.4). Коефіцієнт $A=0,65$:

$$\frac{B}{Ц} = \frac{0,65 \cdot 45}{60 + 0,5 \cdot 0,65 \cdot 45} = 0,39;$$

2. Витрата води за табл. 25, Додаток, $V_0=175$ л/м³.

Приймаємо, що водоредукуючий ефект при введенні добавки С-3 складає 20%, тоді витрата води в бетонній суміші з добавкою:

$$B=0,8 \cdot 175 = 140 \text{ л/м}^3$$

3. Розрахуємо витрати окремих компонентів за формулами (1.17, 1.23, 1.24). Пустотність щебеня: $1 - 1,63/2,7 = 0,4$. Коефіцієнт $\alpha = 1,38$ (Додаток, табл. 30):

$$Ц = 140:0,39 = 359 \text{ кг/м}^3;$$

$$С-3 = \frac{0,8 \cdot 359}{100} = 2,87 \text{ кг/м}^3;$$

$$Щ = \frac{1000}{0,4 \cdot \frac{1,38}{1,63} + \frac{1}{2,7}} = 1408 \text{ кг/м}^3;$$

$$П = \left[1 - \left(\frac{359}{3100} + \frac{140}{1000} + \frac{1408}{2700} \right) \right] \cdot 2600 = 572 \text{ кг/м}^3.$$

Приклад 10. При умовах зазначених в прикладі 1.9, знайти витрати щебеню і піску, використавши рекомендовані в табл. 29, Додаток, значення r .

1. Об'єм цементного тіста:

$$V_{ц.т} = \frac{378}{3,1} + 140 = 262 \text{ л/м}^3.$$

Об'єм заповнювачів:

$$V_з = 1000 - 262 = 738 \text{ л/м}^3;$$

2. При $r=0,33$ (Додаток, табл. 29) витрата піску:

$$\Pi = 738 \cdot 0,30 \cdot 2,6 = 575 \text{ кг/м}^3;$$

3. Витрата щебеню:

$$\Pi\text{Щ} = [738 - (738 \cdot 0,30)] \cdot 2,7 = 1395 \text{ кг/м}^3.$$

Приклад 11. Розрахувати склад бетону з заданими показниками міцності на стиск $f_{cm}=30$ МПа і згин $f_{c,tf} = 4,4$ МПа. Марка бетону за морозостійкістю F300. Бетонна суміш укладається бетоноукладальною машиною ($OK=2$ см).

Вихідні матеріали: портландцемент М500, НГ=25,5%; кварцовий пісок із модулем крупності $M_k=2,2$, вмістом відмулованих домішок 2,5%, густиною $\rho_n=2,67$ кг/л, $\rho_{нп}=1,55$ кг/л; гранітний щебінь фракції 5...40 мм, $\rho_{щ}=2,7$ кг/л, $\rho_{нщ}=1,4$ кг/л; вміст відмулованих частинок 0,8%. Вводиться повітрявтягувальна добавка.

1. Визначаємо за формулою (1) (Додаток, табл. 18) необхідну міцність при стиску (f_{cm_1}), що забезпечує нормовану міцність при згині:

$$f_{cm_1} = \left(\frac{4,4}{0,08} \right)^{1,5} / 10 = 40,8 \text{ МПа.}$$

2. Оскільки $f_{cm_1} > f_{cm}$ приймаємо її для подальших розрахунків ($f_{cm} = 40,8$ МПа).

3. За формулою (1.10) визначаємо необхідний об'єм втягнутого повітря, V_{n_1} , що забезпечує при заданій міцності задану марку за морозостійкістю. Коефіцієнти A_1 , A_2 вибираємо з врахуванням рухомості бетонної суміші (ОК=2 см):

$$V_{n_1} = \frac{\ln\left(\frac{F}{0,91 \cdot R_{cm'}^{1,47}}\right)}{0,35} = \frac{\ln\left(\frac{300}{0,91 \cdot 40,8^{1,47}}\right)}{0,35} \approx 1\% .$$

4. Уточнюємо значення міцності бетону з урахуванням впливу втягнутого повітря:

$$f'_{cm} = 40,8 - 0,05 \cdot 1 \cdot 40,8 = 38,8 \text{ МПа} .$$

5. Необхідна міцність бетону на стиск, що забезпечує задані міцність при згині і морозостійкість із врахуванням втягнутого повітря:

$$f''_{cm} = 40,8 \frac{40,8}{38,8} \approx 43 \text{ МПа} .$$

6. Розраховуємо B/C бетонної суміші, що забезпечує розрахункову міцність бетону на стиск. Приймаємо коефіцієнт $A=0,55$:

$$B / C = \frac{AR_u}{R_{сж} + 0,5AR_u} = \frac{0,55 \cdot 50}{43 + 0,5 \cdot 0,55 \cdot 50} = 0,49 .$$

7. Витрата води для заданої рухомості бетонної суміші з урахуванням особливостей заповнювачів складе 180 л/м^3 (Додаток, табл. 25).

8. Витрата цементу:

$$Ц = \frac{B}{B/Ц} = \frac{180}{0,49} = 368 \text{ кг/м}^3.$$

9. Витрата щебеню (коефіцієнт розсунення $\alpha_p=1,39$; пустотність щебеню $\Pi_{щ}=0,48$):

$$\Pi Ц = \frac{1000}{\frac{1}{2,7} + 1,39 \cdot 0,48 \frac{1}{1,4}} = 1181 \text{ кг/м}^3.$$

10. Витрату піску знайдемо з урахуванням втягнутого повітря:

$$\Pi = \left(1000 - \frac{368}{3,1} - \frac{1181}{2,7} - 180 - 10 \right) \rho_{п} = 680 \text{ кг/м}^3.$$

Розрахунковий склад бетону: $Ц=368 \text{ кг/м}^3$; $B=180 \text{ кг/м}^3$; $\Pi Ц=1181 \text{ кг/м}^3$; $\Pi=680 \text{ кг/м}^3$; $V_n=10 \text{ л/м}^3$.

7. Експериментальне корегування складів бетонів

7.1. Розрахунковий склад перевіряють на пробному замісі об'ємом 10 л або більше залежно від крупності заповнювачів і обсягу випробувань та визначають рухомість або жорсткість, а також середню густину бетонної суміші після її ущільнення у формі. Підвищення осадки конусу (*ОК*) або зниження жорсткості суміші (*Ж*), якщо вони не відповідають заданим значенням, досягають послідовним додаванням у пробний заміс 5...10 % води і цементу з забезпеченням прийнятого *Ц/В*. Зменшення *ОК* або підвищення *Ж* можна досягти послідовним додаванням 5...10 % за масою піску і щебеню у співвідношенні, що знайдене розрахунком. Легкоукладальність бетонної суміші відповідає заданій, якщо осадка конусу має відхилення від неї не більше ± 1 см, а жорсткість – не більше ± 3 с.

У підбраному за легкоукладальністю номінальному складі бетону фіксують фактичну витрату кожного

матеріалу на заміс (g_i) і визначають середню густину бетонної суміші ($\rho_{\sigma.c.}$). Фактичні витрати матеріалів на 1 м^3 суміші розраховують за формулами:

$$C_1 = \frac{\rho_{\sigma.c.}}{\sum g} g_c; \quad П_1 = \frac{\rho_{\sigma.c.}}{\sum g} g_n; \quad Ш_1 = \frac{\rho_{\sigma.c.}}{\sum g} g_{ш};$$

$$B_1 = \frac{\rho_{\sigma.c.}}{\sum g} g_e, \quad (1.25)$$

де $g_c, g_n, g_{ш}, g_e$ – відповідно фактичні витрати цементу, піску, щебеню, води на заміс.

При введенні в бетонну суміш тонкодисперсних мінеральних наповнювачів їх фактичні витрати знаходять за аналогічними формулами.

7.2. Оптимізацію співвідношення заповнювачів досягають, змінюючи показник r – частку піску в суміші заповнювачів до встановлення мінімально можливої на даних матеріалах водопотреби бетонної суміші (Додаток, рис. 5).

Для оптимізації розрахункового r при значеннях C_1 і B_1 , що забезпечують задану легкоукладальність суміші розраховують два допоміжні склади бетону з $r_1 = r + (0,03 \dots 0,05)$ і $r_2 = r - (0,03 \dots 0,05)$. (При необхідності число допоміжних складів може збільшуватись до чотирьох). Для цих складів перевіряють легкоукладальність. При її збільшенні і відсутності помітного водовідділення зменшується при заданому значенні OK або $Ж$ водовміст бетонної суміші і відповідно витрата цементу.

7.3. Наступною стадією експериментального корегування складів бетону є перевірка міцності в заданому віці, а при необхідності і після теплової обробки, залежно від цементно-водного відношення. З цією метою розраховують додаткові склади бетону і виготовляють контрольні зразки, змінюючи C/B на $\pm(0,3 \dots 0,5)$,

приймаючи витрату води і крупного заповнювача, що були знайдені на попередній стадії корегування. При цьому витрату піску збільшують або зменшують на відповідну величину зміни витрати цементу. За результатами визначення міцності бетону на початковому і додаткових складах будують при необхідності графічні залежності міцності бетону від Ц/В, або користуються інтерполяційними розрахунками. За цими залежностями визначають значення Ц/В, яке забезпечує отримання бетону з заданими показниками міцності.

Знайдені значення Ц/В, середньої густини бетонної суміші, витрати води і крупного заповнювача дають можливість розрахувати кількість цементу і дрібного заповнювача для номінального складу бетону.

7.4. На відміну від лабораторних (номінальних) складів бетону, що приводяться для сухих матеріалів, у виробничих умовах враховують, що пісок і щебінь (гравій) мають деяку вологість.

Виробничі витрати дрібного (P_{ep} , кг/м³) і крупного ($Щ_{ep}$, кг/м³) заповнювачів збільшують на масу води, що знаходиться в них:

$$P_{ep} = P \cdot (1 + W_n), \quad (1.26)$$

$$Щ_{ep} = Щ \cdot (1 + W_{щ}), \quad (1.27)$$

де $P, Щ$ – витрата піску і щебеню в номінальному складі;

$W_n, W_{щ}$ – вологість піску і щебеню, частки одиниці.

Відповідно виробничу витрату води (B_{ep}) зменшують на масу води, що знаходиться в заповнювачах:

$$B_{ep} = B - P \cdot W_n - Щ \cdot W_{щ}. \quad (1.28)$$

У деяких випадках виробничий склад бетону доцільно виражати в відносних масових частинах, при цьому частку цементу приймають рівній одиниці. В цьому

випадку виробничий склад бетону представляють у виді пропорції:

$$1 : П : ШЦ = \frac{Ц}{Ц} : \frac{П_{ер}}{Ц} : \frac{ШЦ_{ер}}{Ц}. \quad (1.29)$$

Якщо бетонозмішувач, що використовується для приготування суміші, характеризується місткістю по об'єму сухих матеріалів, тоді попередньо визначається коефіцієнт виходу бетонної суміші (β_{σ}). Коефіцієнт виходу зазвичай знаходиться в межах 0,55...0,75 і характеризується відношенням об'єму бетонної суміші до суми об'ємів цементу і заповнювачів в насипному стані:

$$\beta_{\sigma} = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{н.ц}} + \frac{П_{ер}}{\rho_{н.п}} + \frac{ШЦ_{ер}}{\rho_{н.ц}}}, \quad (1.30)$$

де $\rho_{н.ц}$, $\rho_{н.п}$, $\rho_{н.ц}$ – відповідно насипні густини цементу, піску і щебеню (гравію).

Дозування матеріалів (цементу, заповнювачів, води і добавки) на один заміс бетонозмішувача обчислюють за формулою:

$$D_i = V_{\sigma.з} \cdot p_i, \quad (1.31)$$

де D_i – доза і-го матеріалу за масою, кг, або об'єму, м³;

p_i – витрата і-го матеріалу у виробничому (робочому) складі бетону в кг/м³ (л/м³);

$V_{\sigma.з}$ – об'єм бетонозмішувача, м³.

Приклад 12. Експериментально перевірити і уточнити розрахунковий склад важкого бетону з рухомістю бетонної суміші $OK = 5...7$ см, міцністю на тиск у віці 28 діб 40 МПа та міцністю після теплової обробки 30 МПа.

Початковий розрахунковий склад: $C = 380 \text{ кг/м}^3$; $B = 190 \text{ л/м}^3$; $P = 690 \text{ кг/м}^3$; $Щ = 1140 \text{ кг/м}^3$; $r = 0,37$; $\rho_{б.с.} = 2385 \text{ кг/м}^3$. Густина цементу, піску та щебеню: $\rho_{ц.} = 3,1 \text{ кг/л}$; $\rho_{п.} = 2,65 \text{ кг/л}$; $\rho_{щ.} = 2,70 \text{ кг/л}$.

1. На пробному замісі об'ємом 10 л визначаємо, що фактична осадка конусу бетонної суміші розрахункового складу $OK = 10$ см. При $r=0,37$ додаємо в суміш 34 кг/м^3 піску ($0,34 \text{ кг}$ на заміс) і 52 кг/м^3 щебеню ($0,52 \text{ кг}$ на заміс) і визначаємо, що рухомість бетонної суміші зменшилась до $OK = 5$ см.

Уточнюємо густину бетонної суміші ($\rho'_{б.с.}$) і за формулами (1.36) розраховуємо склад бетону:

$$\rho'_{б.с.} = 2375 \text{ кг/м}^3;$$

$$C_1 = \frac{2375}{3,8 + 1,9 + (6,9 + 0,34) + (11,4 + 0,52)} = \frac{2375}{24,86} \cdot 3,8 = 363 \text{ кг/м}^3;$$

$$B_1 = \frac{2375}{24,86} \cdot 1,9 = 181 \text{ л/м}^3; P_1 = \frac{2375}{24,86} \cdot 7,24 = 692 \text{ кг/м}^3;$$

$$Щ_1 = \frac{2375}{24,86} \cdot 11,92 = 1139 \text{ кг/м}^3.$$

2. Знаходимо оптимальне значення r , що забезпечує мінімальну водопотребу бетонної суміші. З цією метою розраховуємо два додаткових склади бетонів : №2 – $r=0,34$; 3 3 – $r=0,41$.

Склад №2:

- об'єм цементного тіста: $V_{ц.т.} = \frac{363}{3,1} + 181 = 298 \text{ л/м}^3$;

- об'єм заповнювачів: $V_s = 702 \text{ л/м}^3$;

- витрата піску: $P = (702 \cdot 0,34) \cdot 2,65 = 632 \text{ кг/м}^3$;

- витрата щебеню - $Щ = (702 \cdot 0,66) \cdot 2,70 = 1250 \text{ кг/м}^3$.

Приймаємо: $C_2 = 363 \text{ кг/м}^3$; $B_2 = 181 \text{ л/м}^3$;

$$P_2 = 632 \text{ кг/м}^3; \text{Щ}_2 = 1250 \text{ кг/м}^3.$$

Склад №3:

$$V_{\text{ц.т.}} = 298 \text{ л/м}^3; V_3 = 702 \text{ л/м}^3;$$

$$П = (702 \cdot 0,41) \cdot 2,65 = 763 \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{Щ} = (702 \cdot 0,59) \cdot 2,70 = 1118 \text{ кг/м}^3.$$

Приймаємо: $C_3 = 363 \text{ кг/м}^3$; $B_3 = 181 \text{ л/м}^3$;

$$P_3 = 763 \text{ кг/м}^3; \text{Щ}_3 = 1118 \text{ кг/м}^3.$$

На пробному замісі встановлюємо, що для бетонної суміші складу №2 $OK = 10$ см, водовідділення не спостерігається, складу №3 – $OK = 2$ см.

В бетонній суміші складу №2 зменшуємо витрату води і цементу на 5% і переконуємося, що досягається $OK = 5$ см.

Приймаємо як оптимальний (до уточнення C/B) склад №4 бетонної суміші в кг/м^3 : $C_4 = 345 \text{ кг/м}^3$; $B_4 = 172 \text{ л/м}^3$; $C/B = 2$; $P_4 = 646 \text{ кг/м}^3$; $\text{Щ}_4 = 1278 \text{ кг/м}^3$; $\rho_6 = 2441 \text{ кг/м}^3$.

Для уточнення C/B , що забезпечує як необхідну міцність після пропарювання, так і міцність в проектному віці розраховуємо два додаткових склади з $C/B = 2,3$ і $C/B = 1,7$.

Склад №5: $C_5 = 396 \text{ кг/м}^3$; $B_5 = 172 \text{ л/м}^3$;

$$P_5 = 630 \text{ кг/м}^3; \text{Щ}_5 = 1247 \text{ кг/м}^3.$$

Склад №6: $C_6 = 292 \text{ кг/м}^3$; $B_6 = 172 \text{ л/м}^3$;

$$P_6 = 661 \text{ кг/м}^3; \text{Щ}_6 = 1307 \text{ кг/м}^3.$$

Виготовляємо і випробовуємо контрольні зразки з бетонів складів №4, №5 і №6.

Результати випробувань наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати випробувань контрольних зразків бетонів складів №4, №5 і №6

Склад	Ц/В	Міцність на стиск через 4 год після пропарювання (f_{cm4})	Міцність на стиск через 28 діб (f_{cm28})
№4	2,0	26	36
№5	2,3	32	41
№6	1,7	19	29

Остаточно в якості номінального складу бетону з заданими показниками легкоукладальності бетонної суміші і міцністю приймаємо склад №5: $\rho_5 = 396 \text{ кг/м}^3$; $B_5 = 172 \text{ л/м}^3$; $P_5 = 630 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{ц5} = 1247 \text{ кг/м}^3$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Основи бетонознавства. К. : Основа, 2007. 616 с.
2. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Бетони і будівельні розчини. К. : Основа, 2008. 448 с.
3. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Гарніцький Ю. В. Проектування складів бетону із заданими властивостями. Рівне, 2000. 215 с.
4. Проектування і аналіз ефективності складів бетону. / Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Горячих М. В., Шмигальський В. М. Рівне : НУВГП, 2009. 173 с.
5. Дворкин Л. И. Оптимальное проектирование составов бетонов. Львов : Вища школа, 1981. 160 с.
6. Дворкин Л. И., Гоц В. И., Дворкин О. Л. Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов. М. : Инфра-Инженерия, 2014, 432 с.
7. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Расчетное прогнозирование свойств и проектирование составов бетона. М. : Инфра-Инженерия, 2015, 386 с.
8. Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Mathematical Experiments Planning in Concrete Technology. Nova Science Publishers , New York, USA, 2012, 172 p.
9. Dvorkin L, Nwoubani S., Dvorkin O. Construction Materials. Nova Science Publishers, New York, USA, 2010, 409 p.
10. Dvorkin L., Dvorkin O., Ribakov Y. Multi-parametric Concrete Compositions design. Nova science Publishers, New York, USA, 2013, 223 p.
11. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони / Дворкін Л. Й., Бабич Є. М., Житковський В. В. та ін. Рівне : НУВГП, 2017. 331 с.
12. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції. Правила проектування. Київ : Мінергінбуд, 2010. 166 с.

13. ДСТУ Б В.2.7– 214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. К. Мінрегіонбуд, 2010. 31 с.

14. ДСТУ Б В. 2.7-215:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу.

15. ДСТУ Б В.2.7-46-2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.

16. ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови.

17. ДСТУ Б В.2.7-43-96 Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови.

18. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови (EN 206-1:2000, NEQ).

19. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови.

20. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2001, NEQ).

21. ДСТУ Б В.2.7-205:2009 Будівельні матеріали. Золивиносу теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови.

22. ДСТУ Б В.2.7-273:2011 Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови (ГОСТ 23732-79, MOD)

ДОДАТОК

ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ СКЛАДІВ БЕТОНУ

Таблиця 1

Цементи, що виготовляються в Україні

Цементний завод	Тип портландцементу
Волинь-Цемент філія ПАТ Дікергофф Цемент Україна м. Здолбунів	Портландцемент ПЦ І-500Н
	Портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-500
	Портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-400
	Портландцемент тампонажний ПЦТ І-100
	Портландцемент тампонажний ПЦТ ІІ-50.
ЮГцемент філія ПАТ Дікергофф Цемент Україна, м. Миколаїв	Портландцемент ПЦ І-500Р-Н
	Портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-500Р-Н
	Портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-400Р-Н
	Портландцемент ПЦ ІІ/Б-Ш-400Н
	Портландцемент ПЦ ІІ/Б-Ш-300
	Сульфатостійкий шлакопортландцемент СС ШПЦ-400-Д60.
ПАТ "Подільський цемент", м. Кам'янець-Подільський	Портландцемент ПЦ І-500
	Портландцемент ПЦ І-500 Р-Н
	Портландцемент ПЦ ІІ/Б-К(Ш-3)-400
	Портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-400
	Портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-400 Р
	Портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-500
ПАТ "Миколаївцемент", м. Миколаїв Львівської обл.	Портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-400
	Сульфатостійкий шлакопортландцемент СС ШПЦ 400-Д60
	Портландцемент ПЦ І-500Р-Н
ВАТ "Івано-	Портландцемент ПЦ І-500Р-Н

Франківськ-цемент	Портландцемент ПЦ II/A-III-500P-H
	Портландцемент ПЦ II/A-III 400P-H
	Шлакопортландцемент ШПЦ III/A-400P
	Портландцемент ПЦ II/A-II-400P-H
	Портландцемент ПЦ II/B-K(Ш-B-II)-400P-H
	Сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д20
	Цемент для будівельних розчинів марки 300 ЦБР 300
	Тампонажний цемент марки ПЦТ I-100
	Тампонажний цемент марки ПЦТ II-50
	Цемент для дорожніх бетонів
	Сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0
	Портландцемент ПЦ II/A-II-500P-H
ПрАТ "Хайдельберг Цемент Україна" Криворізький Завод Дніпродзержинський Завод	Портландцемент ПЦ II/БШ-400
	Портландцемент ПЦІ-500
	Цемент для будівельних розчинів ЦБР 300
	Шлакопортландцемент ШПЦ III/A-400
ПрАТ "Євроцемент-Україна" м. Балаклія Харківської област	Портландцемент для азбестоцементних виробів ПЦА
	Портландцемент ПЦ I-500 –H
	Портландцемент ПЦ II/A-500
	Портландцемент ПЦ II/A-III-400 P
	Портландцемент ПЦ II/B-III-400
	Шлакопортландцемент ШПЦ III/A-III-400
	Сульфатостійкий шлакопортландцемент СС ШПЦ-400

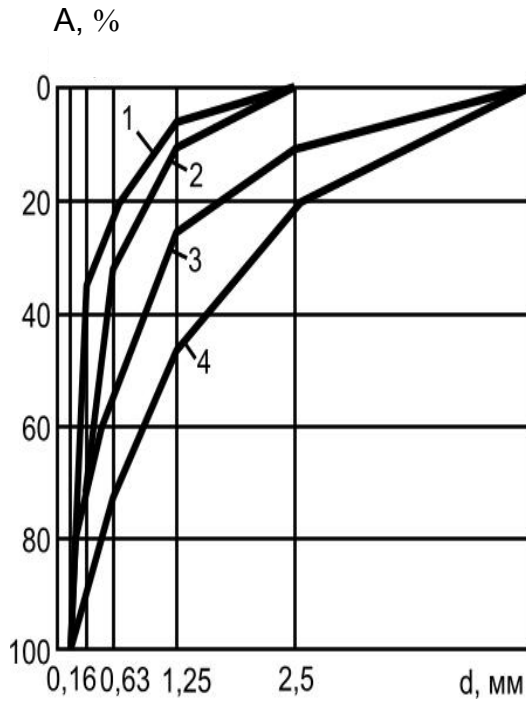


Рис. 1 – Зерновий склад піску для бетонів:

1, 2 – нижня границя крупності, що допускається ($M_{кр}=1,5$) і рекомендується ($M_{кр}=2$);

3, 4 – верхня границя крупності, що рекомендується ($M_{кр}=2,5$) і допускається ($M_{кр}=2,25$);

A – повний залишок на ситах розміром d

Таблиця 2

Рекомендований вміст окремих фракцій
в крупному заповнювачі

Найбільша крупність заповнювача, мм	Вміст фракцій, %				
	5...10мм	10...20мм	20...40мм	40...70мм	>70мм
20	25...40	60...75	-	-	-
40	15...25	20...35	40...65	-	-
70	10...20	15...25	20...35	35...65	-
120	5...10	10...20	15...25	20...30	30...40

Таблиця .3

Рекомендований склад суміші фракцій
крупного заповнювача

Найбільша крупність заповнювача, мм	Вміст фракцій у крупному заповнювачі, %				
	від 5 (3) до 10мм	понад 10 до 20 мм	понад 20 до 40 мм	понад 40 до 80 мм	понад 80 до 120 мм
10	100	-	-	-	-
20	25...40	60...75	-	-	-
40	15...25	20...35	40...65	-	-
80	10...20	15...25	20...35	35...55	-
120	5...10	10...20	15...25	20...30	15...50

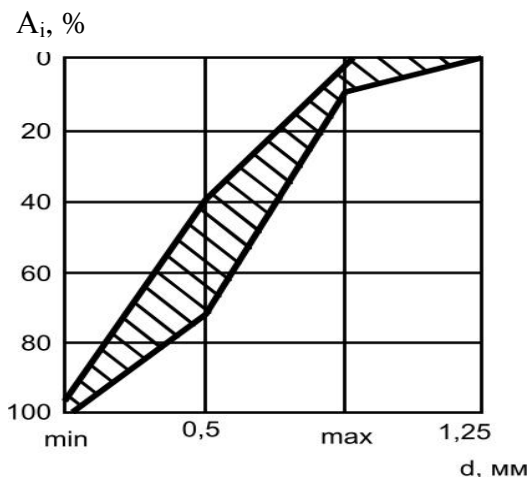


Рис. 2. Рекомендований склад крупного заповнювача

Таблиця 4

Втрата маси заповнювачами бетону, % за масою при визначенні марки за дробимістю

Марка заповнювача за дробимістю	Щебінь із осадових і метаморфічних порід	Щебінь із вивержених порід		Гравій
		із інтрузивних	із ефузивних	
1400	-	до 12 вкл.	до 9 вкл.	-
1200	до 11 вкл.	вище 12 до 16 вкл.	вище 9 до 11 вкл.	-

продовження табл. 4

<i>Марка заповнювача за дробистістю</i>	<i>Щебінь із осадових і метаморфічних порід</i>	<i>Щебінь із вивержених порід</i>		Гравій
		<i>із інтрузивних</i>	<i>із ефузивних</i>	
1000	вище 11 до 13 вкл.	вище 16 до 20 вкл.	вище 11 до 163 вкл.	до 8 вкл.
800	вище 13 до 15 вкл.	вище 20 до 25 вкл.	вище 13 до 15 вкл.	вище 8 до 12 вкл.
600	вище 15 до 19 вкл.	вище 25 до 34 вкл.	вище 15 до 20 вкл.	вище 12 до 16 вкл.
400	вище 19 до 24 вкл.	-	-	вище 16 до 24 вкл.
300	вище 24 до 28 вкл.	-	-	-
200	вище 28 до 35 вкл.	-	-	-

Таблиця 5

Допустимий вміст шкідливих домішок у заповнювачах для важких бетонів

Вид домішок	Граничний вміст
Аморфні різновиди діоксиду кремнію, розчинні в лугах, сірка, сульфідні (крім піриту) у перерахунку на SO ₃ для крупного заповнювача для дрібного заповнювача	не більше 50 моль/л не більше 1,5% за масою не більше 1,0% за масою
Шаруваті силікати (слюди, гідроліти, хлорити та ін.) для крупного заповнювача для дрібного заповнювача	не більше 15% за об'ємом не більше 2% за масою
Магнетит, гідроліти заліза, апатит, нефелін, фосфорит	не більше 15% за об'ємом (кожний окремо не більше 10%)
Галоїди в перерахунку на іон хлору	
для крупного заповнювача для дрібного заповнювача	не більше 0,1% за масою не більше 0,15% за масою
Азбестове волокно	не більше 0,25% за масою
Вугілля	не більше 1% за масою

Таблиця 6

Види добавок-модифікаторів

Вид добавок	Призначення добавок
Регулюють властивості готових до використання бетонних сумішей	Пластифікуючі Стабілізуючі Регулюючі стабільність рухомості Поризуючі Повітровтягувальні Піноутворюючі Газоутворюючі
Змінюють властивості бетону та регулюють кінетику їх тверднення	Прискорюючі тверднення Сповільнюючі тужавлення Підвищуючі міцність Знижуючі проникність Підвищуючі захисні властивості по відношенню до сталеної арматури Підвищуючі морозостійкість Підвищуючі сульфатостійкість Підвищуючі стійкість до корозії, що викликана реакцією кремнезему заповнювачів з лугами цементу і добавок Регулюючі процеси усадки та розширення
Надають бетонам спеціальних властивостей	Протиморозні Гідрофобізуючі Біоцидні Підвищують стійкість до утворення висолів

Таблиця 7

Класифікація пластифікаторів бетонних сумішей

Категорія	Найменування	Ефективна пластифікуюча дія (підвищення ОК з 2...4 см), см	Зменшення кількості води, %
I	Суперпластифікатори	До 20 і більше	не менше 20
II	Пластифікатори	14...19	не менше 10
III	Пластифікатори	9...13	не менше 5
IV	Пластифікатори	8 і менше	менше 5

Таблиця 8

Класифікація суперпластифікаторів

Позначення	Склад СП	Механізм дії
НФ	На основі сульфованих нафталінформальдегідних поліконденсатів	Електростатичний
МФ	На основі сульфованих меламіноформальдегідних поліконденсатів	Електростатичний
ЛСТ	На основі очищених від цукрів лігносульфонатів	Електростатичний
П	На основі полікарбоксилатів і поліакрилатів	Стеричний

Таблиця 9

Міцність бетону нормального твердіння із застосуванням добавок-прискорювачів

Добавка	Вміст добавки, % маси цементу	Відносна міцність бетону, % від 28-добової бетону без добавок, у віці		
		1 доби	3 діб	28 діб
Бетон без добавки	0	26	63	100
Хлорид кальцію	1	40	83	116
Хлорид натрію	1	43	90	102
Нітрат натрію	1	36	79	115
Сульфат алюмінію + хлорид кальцію	3+1	38	84	140
Хлорид алюмінію	1	37	60	100
Нітрат кальцію	3	36	79	114
Нітрат кальцію	5	39	78	108

Таблиця 10

Наростання міцності бетону
з протиморозними добавками

Добавка	Розрахункова температура твердіння бетону, °С	Міцність, % від проектної η , за період часу τ , діб			
		7	14	28	90
Нітрит натрію (НН)	-5	30	50	70	90
	-10	20	35	55	70
	-15	10	25	35	50
Хлорид кальцію + хлорид натрію (ХК+ХН)	-5	35	65	80	100
	-10	25	35	45	70
	-15	15	25	35	50
нітрит-нітрат-хлорид кальцію (ННХК)	-5	40	60	80	100
	-10	25	40	50	80
	-15	20	35	45	70
	-20	15	30	40	60

Таблиця 11

Рекомендовані витрати протиморозних добавок

Розрахункова температура твердіння бетону, °С		Витрата протиморозних добавок, % від маси цементу		
від	до	НН	ХК+ХН	ННХК
0	-5	4...6	3...5	3...5
-6	-10	6...8	6...7	6...9
-11	-15	8...10	7,5...8,5	7...10
-16	-20	-	8,5...10	8...12
-21	-25	-	-	10...14...14

Таблиця 12

Вимоги до золи як добавки в бетон

Показники	Значення показників для золи виду (класу)		
	I (А і Б)	II (А і Б)	III (А)
Вміст $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, % за масою, не менше, для золи: антрацитової і кам'яновугільної буровугільної	70 50	Не нормується Те ж саме	70 50
Вміст сірчаних і сірчаноокислих сполук у перерахунку на SO_3 , % за масою, не більше	3	3,5	3
Вміст вільного оксиду кальцію (CaO), % за масою, не більше	3	5	2
Вміст оксиду магнію (MgO), % за масою, не більше	5	5	5
Втрати при прожарюванні, % за масою, не більше, для золи: антрацитової кам'яновугільної буровугільної	15 7 5	20 10 5	5 5 3
Вологість, % за масою, не більше	3	3	3

Таблиця 13

Класи бетону за міцністю на стиск

Клас бетону за міцністю на стиск	Мінімальна міцність на стиск зразків-циліндрів діаметром 150 мм і довжиною 300 мм у віці 28 діб, МПа	Мінімальна міцність на стиск зразків-кубів із ребром 150 мм у віці 28 діб, МПа
Звичайні бетони		
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
Високоміцні бетони		
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C90/105	90	105
C100/115	100	115

Таблиця 14

Значення коефіцієнта необхідної міцності k_t

Коефіцієнт варіації міцності бетону $V_{cm}, \%$	Значення коефіцієнта необхідної міцності k_t для бетону	
	усіх видів(крім щільних силікатних, ніздрюватих) і конструкцій, окрім масивних гідротехнічних	для масивних гідротехніч них конструкцій
6 і менше	1,07	1,09
7	1,08	1,10
8	1,09	1,11
9	1,10	1,13
10	1,14	1,14
11	1,18	1,16
12	1,23	1,18
13	1,28	1,20
13,5	1,31	1,21
14	1,33	1,22
15	1,38	1,23
16	1,43	1,25
17		1,28
18		1,32
19		1,36
20		1,39

Таблиця 15

Значення коефіцієнта A (за В.П.Сізовим)

Вид заповнювача	Вміст глини, пилу і мулу в щебені (гравії) і піску, %	Значення коефіцієнта A для бетону на		
		щебені	гравію гірському	гравію річковому і морському
Щебінь (гравій) пісок	0 0	0,64	0,6	0,57
Щебінь (гравій) пісок	0 3	0,61	0,56	0,53
Щебінь (гравій) пісок	1 3	0,58	0,53	0,5
Щебінь (гравій) пісок	2 3	0,55	0,5	0,47
Щебінь (гравій) пісок	2 5	0,52	0,47	0,44

Таблиця 16

Вихід міцності бетону на стиск при різних температурах та тривалості тверднення ($A_{\tau,t}$)

Бетон	Термін тверднення, діб	Середня температура бетону, °С					
		0	5	10	20	30	40
С12/15 на портландцементі М300	1	0,04	0,06	0,10	0,18	0,27	0,36
	3	0,12	0,20	0,25	0,40	0,52	0,65
	7	0,30	0,40	0,50	0,65	0,74	0,85
	14	0,40	0,55	0,65	0,80	0,90	1,00
	28	0,55	0,68	0,80	1,00	-	-
С12/15...16/20 на портландцементі М400	1	0,05	0,09	0,12	0,23	0,35	0,45
	3	0,18	0,27	0,37	0,50	0,65	0,77
	7	0,35	0,48	0,58	0,75	0,90	1,00
	14	0,50	0,62	0,72	0,90	1,00	-
	28	0,65	0,77	0,85	1,00	-	-
С25/30 на портландцементі М500	1	0,08	0,12	0,18	0,28	0,40	0,55
	3	0,22	0,32	0,45	0,60	0,74	0,85
	7	0,40	0,55	0,66	0,82	0,92	1,00
	14	0,57	0,70	0,80	0,92	1,00	-
	28	0,70	0,80	0,90	1,00	-	-

продовження табл. 16

Бетон	Термін тверднен ня, діб	Середня температура бетону, °С					
		0	5	10	20	30	40
С12/15 на на шлакопортл анд-цементі М 300	1	-	0,03	0,06	0,12	0,20	0,35
	3	0,07	0,12	0,18	0,30	0,46	0,63
	7	0,18	0,25	0,40	0,55	0,70	0,92
	14	0,25	0,40	0,5	0,75	0,90	-
	28	0,35	0,55	0,70	1,00	-	-
С12/15...16/ 20 на шлакопортл анд-цементі М 400	1	0,03	0,06	0,10	0,16	30	40
	3	0,13	0,18	0,25	0,40	55	70
	7	0,25	0,34	0,43	0,65	70	100
	14	0,35	0,50	0,60	0,80	96	-
	28	0,45	0,65	0,80	1,00	-	-

Таблиця 17

Значення коефіцієнтів в рівнянні (2.9)

Класи бетону	t=5...40°C		
	a	b	c
С 15...25	0,242	0,0115	0,008
С 30...40	0,218	0,0134	0,063
С 60...100	0,182	0,0145	0,2

Таблиця 18

Розрахункові значення показників властивостей бетону
(портландцемент М500)

Властивість бетону	Розрахункові формули
Міцність бетону на розтяг при згині ($f_{c,tf}$), МПа	$f_{c,tf} = 0,08 (10 f_{cm})^{2/3}$ (1)
	$f_{c,tf} = 1,74 \cdot f_{c,t}$ (1a)
	$f_{c,tf} = 0,045 R_y (Ц/B + 0,064)$ (2)
Міцність бетону на розтяг при розколюванні ($f_{c,m}$), МПа	$f_{c,m} = 0,055 (10 f_{cm})^{2/3}$ (3)
	$f_{c,m} = 0,031 R_y (Ц / B + 0,064)$ (4)
Міцність бетону при осьовому розтягу ($f_{c,t}$), МПа	$f_{c,t} = 0,046 (10 f_{cm})^{2/3}$ (5)
	$f_{c,t} = 0,026 R_y (Ц/B + 0,064)$ (6)
Динамічний модуль пружності (E_d), 10^4 МПа	$E_d = \frac{4 \cdot 10^3 f_{cm}}{1 + 0,07 f_{cm}}$ (7)
	$E_d = 205 R_y (Ц/B + 2,18)$ (8)

Таблиця 19

Емпіричні залежності для розрахунку складів дорожніх і гідротехнічних бетонів

Властивості бетону	Формула	Умовні позначення
Морозостійкість	$F = A_1 f_{cm}^{A_2} \exp^{A_3 V_{e,n}} \quad (9)$	A_1, A_2, A_3 – коефіцієнти ($A_3 \approx 0,35$)
Водонепроникність	$K_\phi = A f_{cm}^n \quad (10)$ $A \approx 126, n \approx -7,7$	K_ϕ – коефіцієнт фільтрації; f_{cm} – міцність бетону при стиску, МПа
Модуль пружності	$E_d \cdot 10^{-4} = \frac{5,3 \cdot f_{cm}}{85 P_\kappa + f_{cm}} \quad (11)$	P_κ – об'ємна концентрація цементного каменя в бетоні

Таблиця 20

Об'єм втягнутого повітря, що рекомендується для бетону з підвищеною морозостійкістю ($F \geq 200$)

Максимальна крупність заповнювача, мм	Об'єм втягнутого повітря у бетонній суміші, % при В/Ц		
	менше 0,41	0,41...0,50	більше 0,50
10	2...4	3...5	5...7
20	1...3	2...4	4...6
40	1...3	1...3	3...5
60	1...3	1...3	2...4

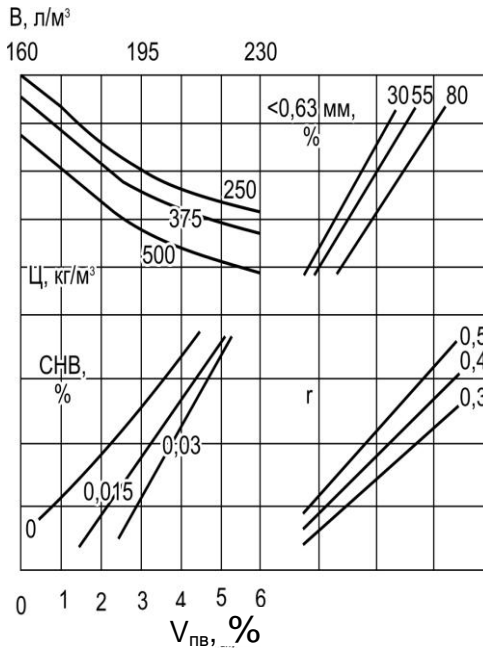


Рис. 3. Номограма для визначення об'єму втягнутого повітря $V_{пв}$, % у залежності від факторів складу бетонної суміші

Таблиця 21

Зв'язок між марками бетону за водонепроникністю та коефіцієнтом фільтрації

Марка бетону за водонепроникністю	Коефіцієнт фільтрації K_f (см/с) при випробуванні на зразках у стані	
	рівноважної вологості	водонасичення
W2	Понад $7 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-8}$	Понад $5 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^{-9}$
W4	Понад $2 \cdot 10^{-9}$ до $7 \cdot 10^{-9}$	Понад $1 \cdot 10^{-10}$ до $5 \cdot 10^{-10}$
W6	Понад $6 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-9}$	Понад $5 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-10}$

продовження табл. 21

Марка бетону за водонепроникністю	Коефіцієнт фільтрації K_f (см/с) при випробуванні на зразках у стані	
	рівноважної вологості	водонасичення
W8	Понад $1 \cdot 10^{-10}$ до $6 \cdot 10^{-10}$	Понад $1 \cdot 10^{-11}$ до $5 \cdot 10^{-11}$
W10	Понад $6 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-10}$	Понад $5 \cdot 10^{-12}$ до $1 \cdot 10^{-11}$
W12	$6 \cdot 10^{-10}$ і менше	$5 \cdot 10^{-12}$ і менше

Таблиця 22

Рекомендована витрата золи у важких бетонах

ОК, см	Марка цементу	Витрата золи, кг/м^3 для бетонів	
		пропарених	нормального тверднення
1...4	400	170	150
	500	180	150
5...9	400	190	170
	500	200	180
10...14	400	210	190
	500	215	200

Таблиця 23

Значення коефіцієнта “цементуючої ефективності” золи Бурштинської ТЕС

Клас бетону за міцністю	Коефіцієнт $K_{ц.е.}$ для бетону		
	пропареного	нормального твердіння при марці цементу	
		500	400
C8/10	0,5	0,38	0,31
C12/15	0,40	0,28	0,20
C16/20	0,37	0,25	0,18
C20/25	0,25	0,16	0,10
C25/30	0,20	0,13	0,08

Таблиця 24

Показники легкоукладальності бетонної суміші залежно від виду конструкцій і способу укладки

Конструкції	Спосіб укладки бетонної суміші		
	з вібрацією		без вібрації
	ОК, см	Ж, с	ОК, см
Збірні залізобетонні з негайним розпалубленням	0	90...35	-
Підготовка під фундаменти і підлоги	1...2	35...25	2...3
Каркасні залізобетонні (плити, балки, колони)	8...4	15...10	6...12
Залізобетонні з густо розташованою арматурою (бункери, силоси та ін.)	8...10	10...5	12...15
Касети і елементи для об'ємно-збірного домобудування	12...18	-	-
Буронабивні сваї, шахтні стовбури	16...20	-	-
Конструкції дуже насичені арматурою і закладними деталями, які заважають укладці пластичних сумішей із вібруванням	20...24	-	-

Таблиця 25

Орієнтовна витрата води (V_0) залежно від виду заповнювачів і легкоукладальності бетонної суміші

Легкоукладальність		Витрата води, л/м ³ при максимальній крупності заповнювача, мм			
Осадка конуса, см	Жорсткість, с	10	20	40	70
16...20	-	237	228	213	202
12...16	-	230	220	207	195
10...12	-	225	215	200	190
8...10	-	215	205	190	185
5...7	-	210	200	185	180
2...4	-	200	190	175	170
-	10...15	185	175	160	155
-	15...20	175	165	150	145
-	25...35	170	160	145	140
-	40...50	160	150	135	130

Примітка. 1. При збільшенні вмісту в щебені мулу та пилу понад 1% і частинок менше 5 мм вище 5% витрата води збільшується на 1...2 л на кожний відсоток. При збільшенні вмісту в піску мулу та пилу більше 3% – на 2 л/м³ на кожний відсоток. 2. Витрата води замішування наведена для бетонних сумішей, виготовлених на щебені з магматичних порід. Для бетонів на гравії витрата води зменшується на 10 л/м³. 3. Витрата води дана для бетонних сумішей на портландцементі з нормальною густиною цементного тіста 26...28 %, і середньозернистому піску ($M_k = 2...2,5$) без пластифікуючих добавок. При зміні нормальної густоти цементного тіста на кожний відсоток у бік зменшення витрата води зменшується на 3...5 л, у бік збільшення – збільшується на 3...5 л. При зміні модуля крупності піску на кожні 0,5 у бік зменшення витрата води збільшується на 3...5 л, у бік збільшення – зменшується на 3...5 л.

Таблиця 26

Поправки для коригування водопотреби бетонної суміші

№	Фактори, які враховуються	Поправки ΔB , л/м ³
I. Порода і вид крупного заповнювача		
1.	Щебінь із метаморфічних і осадових порід із межею міцності 40...80 МПа	$\Delta B_1 = B_0 + (4 \dots 13)$
2.	Гірський гравій	$\Delta B_2 = B_0 - (5 \dots 10)$
3.	Морський і річковий гравій	$\Delta B_3 = B_0 - (9 \dots 15)$
4.	Щебінь із порід каменю з гладкою поверхнею зламу (діабаз, базальт і ін.)	$\Delta B_4 = B_0 - 3$
5.	Промитий щебінь	$\Delta B_5 = B_0 - 6$
6.	Вміст у щебені мулу і пилу в % понад 1% (X_1) і часток менше 5 мм (X_2) понад 5%	$\Delta B_6' = B_0 + X_1$ $\Delta B_6'' = B_0 + 2X_2$
II. Крупність і забрудненість піску		
7.	Зміна модуля крупності піску на кожні 0,5 менше 3 (X_3)	$\Delta B_7 = B_0 + (3 \dots 5)X_3$
	більше 3 (X_4)	$\Delta B_7' = B_0 - (3 \dots 5)X_4$
8.	Пісок із гладкою добре окатаною поверхнею	$\Delta B_8 = B_0 - 4$
9.	Пісок промитий	$\Delta B_9 = B_0 - 7$
10.	Збільшення вмісту в піску мулу і пилу на кожний % понад 3% (X_5)	$\Delta B_{10} = B_0 + 2X_5$
11.	Зміна нормальної густоти цементного тіста у % більше 28% (X_6)	$\Delta B_{11} = B_0 + 4X_6$
	менше 28% (X_7)	$\Delta B_{11}' = B_0 - 4X_6$
12.	Зміна витрати цементу на кожні 10 кг понад 350 кг/м ³ (X_7)	$\Delta B_{12} = B_0 + X_7$
III. Температура бетонної суміші, °C		
13.	5	$\Delta B_{13} = B_0 - 5$
14.	10	$\Delta B_{13} = B_0 - 4$
15.	15	$\Delta B_{13} = B_0 - 2$
16.	25	$\Delta B_{13} = B_0 + 3$

продовження табл. 26

№	Фактори, які враховуються	Поправки ΔB , л/м ³
17.	30	$\Delta B_{13}=B_0+7$
18.	35	$\Delta B_{13}=B_0+11$

Примітка.1. B_0 – розрахункова витрата води без поправок.

Таблиця 27

Поправочні коефіцієнти при використанні
пластифікуючих добавок

Рухомість, см	Жорст- кість, с	Цементно-водне відношення				
		1.4	1.8	2.2	2.6	3.0
-	30...50	<u>0,96</u>	<u>0,95</u>	<u>0,94</u>	<u>0,93</u>	<u>0,92</u>
		<u>0,88</u>	<u>0,85</u>	<u>0,83</u>	<u>0,81</u>	<u>0,80</u>
		0,77	0,75	0,73	0,71	0,7
1...4	-	<u>0,93</u>	<u>0,92</u>	<u>0,92</u>	<u>0,92</u>	<u>0,91</u>
		<u>0,86</u>	<u>0,84</u>	<u>0,82</u>	<u>0,80</u>	<u>0,79</u>
		0,76	0,74	0,72	0,7	0,69
5...9	-	<u>0,91</u>	<u>0,91</u>	<u>0,90</u>	<u>0,90</u>	<u>0,89</u>
		<u>0,82</u>	<u>0,80</u>	<u>0,79</u>	<u>0,78</u>	<u>0,77</u>
		0,71	0,7	0,69	0,68	0,67
10...16		<u>0,90</u>	<u>0,89</u>	<u>0,88</u>	<u>0,87</u>	<u>0,87</u>
		<u>0,80</u>	<u>0,78</u>	<u>0,77</u>	<u>0,76</u>	<u>0,75</u>
		0,69	0,67	0,66	0,65	0,64

Примітка. У верхньому ряду наведені значення при застосуванні добавок на основі лігносульфонатів (ЛСТ) в кількості 0,25% від маси цементу, у середньому ряду – на нафталін-сульфонатній основі (Н) в кількості 0,7% від маси цементу, у нижньому ряду – на полікарбоксилатній основі (П) – 0,7% від маси цементу

Мінімальна витрата цементу в бетоні

Вид конструкції	Умови експлуатації	Вид і витрата цементів		
		ПЦ-Д0 ПЦ-Д5 ССПЦ-Д0	ПЦ-Д20 ССПЦ-Д20	ШПЦ ССШПЦ ПУцПЦ
Неармовані	Без атмосферного впливу	Не нормується		
	При атмосферному впливі	150	170	170
Армовані з не напруженою арматурою	Без атмосферного впливу	150	170	180
	При атмосферному впливі	200	220	240
Армовані з попередньо напруженою арматурою	Без атмосферного впливу	220	240	270
	При атмосферному впливі	240	270	300

Таблиця 29

Орієнтовні значення частки піску (r) у суміші
заповнювачів

Витрата цементу, кг/м ³	Максимальна крупність зерен щебеню, гравію, мм	Модуль крупності піску	r при використанні	
			щебеню	гравію
250	20	1,5...2,0	0,35	0,33
		2,0...2,5	0,36	0,34
	40	1,5...2,0	0,34	0,33
		2,0...2,5	0,35	0,34
	70	1,5...2,0	0,33	0,32
		2,0...2,5	0,34	0,33
300	20	1,0...2,0	0,34	0,32
		2,0...2,5	0,35	0,33
	40	1,5...2,0	0,33	0,32
		2,0...2,5	0,34	0,33
	70	1,5...2,0	0,32	0,31
		2,0...2,5	0,33	0,32
350	20	1,0...2,0	0,32	0,30
		2,0...2,5	0,33	0,31
	40	1,5...2,0	0,31	0,30
		2,0...2,5	0,32	0,31
	70	1,5...2,0	0,31	0,30
		2,0...2,5	0,32	0,31

продовження табл. 29

Витрата цементу, кг/м ³	Максимальна крупність зерен щебеню, гравію, мм	Модуль крупності піску	r при використанні	
			щебеню	гравію
400	20	1,0...2,0	0,30	0,28
		2,0...2,5	0,31	0,29
	40	1,5...2,0	0,29	0,28
		2,0...2,5	0,30	0,29
	70	1,5...2,0	0,29	0,28
		2,0...2,5	0,30	0,29

Примітка. Наведені значення r рекомендуються для бетонної суміші з рухомістю 2 см. При збільшенні рухомості на кожні 2 см значення r збільшується на 0,01.

Таблиця 30

Коефіцієнт розсунення α (для пластичних бетонних сумішей)

Витрата цементу, кг/м ³	Значення α при B/C					
	0,3	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	1,31	1,4	1,45	–	–	–
500	1,44	1,52	–	–	–	–
600	1,52	1,56	–	–	–	–

Примітка. 1. Таблиця складена для пісків із водопотребою $M_{кр}=7\%$. При збільшенні B_n на кожен відсоток α зменшується на 0,03, а при зниженні B_n зростає відповідно на 0,03. Водопотреба піску показує кількість води, яку необхідно додати в цементне тісто щоб отримати розчинову суміш складу 1:2, з такою рухомістю як нормальної густоти. **2.** Для жорстких бетонних сумішей ($C < 400$ кг/м³) $\alpha = 1,05...1,15$.

Таблиця 31

Допустимий вміст шкідливих домішок у воді для бетону

Призначення води	Максимально-допустимий вміст, мг/л			
	розчинних солей	іонів SO_4^{2-}	іонів Cl^-	зважених частинок
Для замішування бетонної суміші при виготовленні попередньо напружених залізобетонних конструкцій	2000	600	350	200
Для замішування бетонної суміші при виготовленні конструкцій із не- напруженої арматури, у т.ч. для водоскидних споруд і зони змінного рівня води масивних споруд	5000	2700	1200	200
Для замішування бетонної суміші при виготовленні неармованих конструкцій, до яких не пред'являються вимоги по обмеженню утворення висолів, а також бетону конструкцій підводної і внутрішньої зон масивних споруд	10000	2700	3500	300
Для промивання заповнювачів	5000	2700	1200	500

продовження табл. 31

Призначення води	Максимально-допустимий вміст, мг/л			
	розчинних солей	іонів SO_4^{2-}	іонів Cl^-	зважених частинок
Для поливання робочих швів при перервах у бетонуванні, поверхонь стиків, що підлягають замонолічуванню, і поверхонь водоскидних конструкцій, а також для трубного охолодження масиву бетону	1000	500	350	200
Для поливання закінчених зовнішніх поверхонь бетонних і залізобетонних конструкцій	5000	2700	1200	500
Для поливання зовнішніх поверхонь конструкцій, якщо на поверхні може бути допущена поява цвілі та висолів	35000	2700	20000	500

Таблиця 32

Види фібри: основні характеристики
(згідно EN 14889-1, ТУ У В.2.7-28.7-00191046-015:2007)

Основні показники	Вид фібри				
	Хвилеподібна Ф1 60/1	Анкерна із загнутими кінцями Ф2 60/1	Анкерна із сплюще-ними кінцями Ф3 50/1	Анкерна із загнутими кінцями Ф4 33/0,85/0,75	Прямолінійна фібра з анкерами у вигляді конусів Ф5 54/1
Довжина (L), мм	60,0 ± 6,0	60,0 ± 6,0	50,0 ± 5,0	33,0 ± 3,0	54,0 ± 4,0
Діаметр (d), мм	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,1	0,9*	1,0 ± 0,03
$\Lambda=L/d$	60	60	50	37	54
Тимчасовий опір розриву, МПа не менше	1335	1335	1335	1260	1100
Довжина загнутого/сплющеного кінця, мм	-	5,0 ± 0,1	4,0 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,0 ± 0,1
Висота хвилі/ загнутого кінця, мм	4,5 ± 0,1	5,0 ± 0,1	-	5,0 ± 0,1	-
Середня густина сталі (ρ), г/см ³	7,86	7,86	7,86	7,86	7,86

Примітка.* Еквівалентний діаметр

Вихід міцності бетону на портландцементі із
протиморозними добавками

Добавки і їх композиції	Розрахункова температура тверднення бетону, °С	Міцність, % від $f_{cm_{28}}$ при твердненні бетону на морозі за період, діб			
		7	14	28	90
НН	-5	30	50	70	90
	-10	20	35	55	70
	-15	10	25	35	50
ХН+ХК	-5	35	65	80	100
	-10	25	35	45	70
	-15	15	25	35	50
	-20	10	15	20	40
НКС, НК+С, ННК+С	-5	30	50	70	90
	-10	20	35	50	70
	-15	15	25	35	60
	-20	10	20	30	50
ННХК, ХК+НН ХК+НН К,ННХ К+С	-5	40	60	80	100
	-10	25	40	50	80
	-15	20	35	45	70
	-20	15	30	40	60
	-25	10	15	25	40
П	-5	50	65	75	100
	-10	30	50	70	90
	-15	25	40	65	80
	-20	25	40	55	70
	-25	20	30	50	60

Примітка. 1. НН – нітрит натрію; ХН – хлорид натрію; П – поташ; ХК – хлорид кальцію; НК – нітрат кальцію; ННК – нітрит-нітрат кальцію; НКС – нітрат кальцію з сечовиною; С – сечовина. **2.** Міцність бетону на швидкотверднучому портландцементі у віці 28 діб і менше орієнтовно складає 120%, а на шлако- і пуцоланових портландцементях – 80% від значень, які приведені в таблиці.

ЗМІСТ

ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДІВ ВАЖКИХ БЕТОНІВ З КОМПЛЕКСОМ НОРМОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ

	3
1.	Завдання на проектування складу бетону.....	3
2.	Вибір вихідних матеріалів.....	4
3.	Схема розрахунку складів важкого бетону.....	11
4.	Визначення цементно-водного відношення	12
5.	Визначення водопотреби бетонної суміші.....	20
6.	Визначення витрати компонентів бетонної суміші.....	22
7.	Експериментальне корегування складів бетонів.....	28
	Література	35
	ДОДАТКИ	37