

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра технології будівельних виробів
і матеріалознавства

03-09-53М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з навчальної дисципліни
«Бетони і будівельні розчини. Заповнювачі для бетону»
(розділ «Проектування складів високоміцних бетонів») для
здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за
освітньо-професійною програмою «Технології будівельних
конструкцій, виробів і матеріалів» спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
денної форма 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 «Бетони і будівельні розчини. Заповнювачі для бетону» (розділ «Проектування складів високоміцних бетонів») для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» денна форма навчання [Електронне видання] / Дворкін Л. Й., Марчук В. В., Ніхаєва Л. І. – Рівне : НУВГП, 2021. – 37 с.

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

Керівник групи забезпечення спеціальності Караван В. В.

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

1. Проектування складів високоміцних бетонів

Високоміцні бетони класів C55/67...C100/115 слід виготовляти із застосуванням цементу марки не нижче 500 (ДСТУ Б В.2.7-46-2010), крупних заповнювачів зі щільних вивержених порід з маркою за дробимістю не нижче 1200 (ДСТУ Б В.2.7-43-96), дрібного заповнювача з кварцового піску з модулем крупності не менше 2,0.

Для забезпечення необхідного водо цементного відношення в бетонну суміш слід вводити добавки суперпластифікаторів. Вибір виду суперпластифікатору виконується з урахуванням необхідного водоредукуючого ефекту (Додаток, табл. 4).

Для розрахунків Ц/В високоміцних бетонів доцільно застосовувати формулу:

$$f_{cm} = kAR_c (Ц/В - b), \quad (1.1)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від виду добавки і її вмісту, при відсутності добавки $k=1$.

Величини k і b встановлюється експериментально, залежно від виду добавок. Значення коефіцієнта A приймається відповідно при орієнтовних розрахунках і застосуванні заповнювачів високої якості $A=0,65$, середньої якості – $A=0,6$, низької – $A=0,55$.

Наприклад при застосуванні полікарбосилатного суперпластифікатора Melflux 2651 F розрахункові формули для визначення Ц/В набувають виду:

$$f_{cm}^{12\text{год}} = 0,98 AR_c (Ц/В - 1,92); \quad (1.2)$$

$$f_{cm}^{1\text{доба}} = A R_c (Ц/В - 1,6); \quad (1.3)$$

$$f_{cm}^{2\text{добу}} = 1,03A R_c (Ц/В - 1,35); \quad (1.4)$$

$$f_{cm}^{28\text{дiб}} = 0,8 AR_c (Ц/В + 0,22). \quad (1.5)$$

Розрахунок витрат компонентів бетонної суміші здійснюється згідно п. 1.1.1, 2.6.

2. Визначення водопотреби бетонної суміші

2.1. На водопотребу бетонної суміші вирішальне значення має показник легкоукладальності, який призначається залежно від особливостей конструкцій і способу укладки (Додаток, табл. 1).

В практиці проектування складів бетону водопотребу бетонних сумішей визначають по усередненим емпіричним даним (Додаток, табл. 2) можна також використовувати узагальнені розрахункові залежності:

$$V_0 = 176 - 0,8D_{\text{щ}} + 6,1OK + 0,0029D_{\text{щ}}^2 - 0,14OK^2; \quad (1.6)$$

$$V_0 = 197 - 0,91D_{\text{щ}} - 1,12Ж + 0,0026 D_{\text{щ}}^2 - 0,0047Ж^2, \quad (1.7)$$

де $D_{\text{щ}}$ – 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. 3).

2.2 При розрахунках водопотреби бетонних сумішей із пластифікуючими добавками враховується їх *водоредукуючий ефект* (Додаток, табл. 4).

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.

3. Визначення витрати компонентів бетонної суміші

3.1. Витрату цементу (кг/м³) розраховують за формулою:

$$Ц = B \cdot \frac{Ц}{B} \text{ або } Ц = \frac{B}{B / Ц}. \quad (1.8)$$

Мінімальна витрата цементу приймається за ДСТУ Б В.2.7.-43-96 відповідно до табл. 5, Додаток.

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

Об'єм цементного тіста, л/м³:

$$V_{ц.т} = \frac{Ц}{\rho_{ц}} + B. \quad (1.9)$$

Об'єм заповнювачів бетону, л/м³:

$$V_{з} = 1000 - V_{ц.т}. \quad (1.10)$$

Об'єм V_n , л/м³ і маса Π , кг/м³ піску:

$$V_n = r V_{з}, \quad \Pi = \rho_n V_n. \quad (1.11)$$

Об'єм $V_{щ}$, л/м³ і маса \mathcal{I} , кг/м³, крупного заповнювача:

$$V_{щ} = V_{з} - V_n, \quad (1.12)$$

$$\mathcal{I} = \rho_{щ} V_{щ}, \quad (1.13)$$

У наведених вище формулах $\rho_{ц}$, ρ_n , $\rho_{щ}$ – 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. 6, Додаток.

3.3. 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. 7).

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

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\frac{1}{\rho_{\text{щ}}} + \frac{\alpha P_{\text{щ}}}{\rho_{\text{н.щ}}}}; \quad (1.14)$$

$$\text{П} = \left(1000 - \text{Щ} / \rho_{\text{щ}} - \text{В} / \rho_{\text{в}} - \text{Щ} / \rho_{\text{щ}}\right) \rho_{\text{п}}. \quad (1.15)$$

У формулах 1.14 і 1.15: $\rho_{\text{щ}}$ – пористість щебеню (гравію), $\rho_{\text{щ}}$ і $\rho_{\text{н.щ}}$ – істинна та насипна густина крупного заповнювача; $\rho_{\text{п}}$ – густина піску.

Приклад 1. Розрахувати склад високоміцного швидкотверднучого бетону з міцністю при стиску у віці 28 діб $f_{\text{б}}^{28 \text{ діб}} \geq 100 \text{ МПа}$ з досягненням через 12 год. міцності $f_{\text{б}}^{12 \text{ год}} = 50 \text{ МПа}$, 2 доби - $f_{\text{б}}^{2 \text{ діб}} \geq 80 \text{ МПа}$. Активність цементу прийняти $R_{\text{с}}^{28 \text{ діб}} = 60 \text{ МПа}$, його густина $\rho_{\text{ц}} = 3,1 \text{ кг/л}$. Густина кварцового піску $\rho_{\text{п}} = 2,65 \text{ кг/л}$, модуль крупності дорівнює $M_{\text{к}} = 2$, густина гранітного щебеню $\rho_{\text{щ}} = 2,68 \text{ кг/л}$. Рухомість бетонної суміші $\text{ОК} = 10 \dots 15 \text{ см}$ (марка за легкоукладальністю Р3). Найбільша крупність заповнювача становить 20 мм, насипна густина $\rho_{\text{нщ}} = 1,48 \text{ кг/л}$. Застосовується добавка суперпластифікатора Melflux 2651 F (0.5 % маси цементу).

Попередньо орієнтовно за допомогою формул (1.1...1.5) при $A = 0,6$ знаходимо послідовно значення Ц/В і встановлюємо весь набір необхідних властивостей при $R_{\text{с}} = 60 \text{ МПа}$.

Для забезпечення необхідної міцності бетону через 12 годин:

$$\text{Ц/В}_1 = \frac{50}{0,98 \cdot 0,6 \cdot 60} + 1,92 = 3,34;$$

-через 2 доби:

$$\text{Ц/В}_2 = \frac{80}{1,03 \cdot 0,6 \cdot 60} + 1,35 = 3,51;$$

-через 28 діб:

$$Ц/В_3 = \frac{100}{0,8 \cdot 0,6 \cdot 60} - 0,22 = 3,25.$$

Значення Ц/В, необхідних для забезпечення заданих міцнісних показників високоміцного бетону у різному віці, що знайдені при використанні запропонованих формул (1.1...1.5), достатньо близькі. Для подальших розрахунків обираємо максимальне Ц/В=3,51, яке буде забезпечувати весь набір заданих міцних показників бетону.

Розрахункова витрата води для забезпечення заданої рухомості 10...15 см при максимальній крупності заповнювача 20 мм (у відповідності з табл. 2, Додаток) складатиме:

$$V_0 = 220 \text{ л/м}^3$$

З врахуванням поправочних коефіцієнтів на водоредукуючий ефект при використанні пластифікуючої добавки на полікарбоксилатній основі Melflux 2651F K=0,65 (Додаток, табл. 4), яка вводиться в кількості 0,5 % від маси цементу, загальні витрати води складають:

$$V_{\text{заг}} = V_0 \times K = 220 \times 0,6 = 143 \text{ л/м}^3$$

Тоді витрати цементу знаходимо за формулою:

$$Ц = Ц/В \times V_{\text{заг}} = 3,51 \times 143 = 501 \text{ кг/м}^3$$

Витрати заповнювачів знаходимо за рівняннями 1.14 і 1.15 при коефіцієнті розсуву зерен $\alpha = 1,375$ (Додаток, табл. 7) та міжзерновій пористості $\rho_{\text{щ}} = 1 - \rho_{\text{нщ}}/\rho_{\text{щ}} = 1 - 1,48/2,68 = 0,45$.

$$Щ = \frac{1000}{1,375 \times \frac{0,45}{1,48} + \frac{1}{2,68}} = 1264 \text{ кг/м}^3$$

$$П = \left(1000 - \left(\frac{501}{3,1} + 143 + \frac{1264}{2,68} \right) \right) \times 2,65 = 594 \text{ кг/м}^3$$

Отриманий за розрахунками бетон має наступний склад: цемент – 463 кг/м³, вода – 132 л/м³, щебінь – 1264 кг/м³, пісок –

655 кг/м³. Витрата суперпластифікатора Melflux 2651F складає $463 \times 0,05 = 23,15$ кг/м³.

4. Проектування складів дрібнозернистих бетонів та фібробетонів

4.1. Дрібнозернисті бетони на основі рухомих та жорстких сумішей

Для розрахунку Ц/В дрібнозернистого бетону слід використовувати формулу загального виду (1.1).

Значення коефіцієнтів A і b вибираються за табл. 8, Додаток.

При розрахунку складу дрібнозернистої бетонної суміші необхідно враховувати, що після її ущільнення в бетоні завжди залишається деякий об'єм повітря. Кількість втягнутого повітря визначається легкоукладальністю бетонних сумішей, способом ущільнення і особливостями конкретних повітрявтягувальних добавок.

Об'єм затисненого в дрібнозернистих бетонних сумішах повітря (λ) при вібруванні визначається за формулами:

- для пластичних сумішей:

$$V_{z.n} = -6,52 \cdot \ln(OK+1) + 19,9; \quad (1.16)$$

- для жорстких сумішей:

$$V_{z.n} = 24,95 \cdot \ln(\mathcal{J}+1) - 8,3. \quad (1.17)$$

За відомими значеннями V/\mathcal{C} та легкоукладальності суміші ((OK, см) або (\mathcal{J} , с)) за рис. 4, рис. 5 та табл. 9, Додаток, знаходиться співвідношення між заповнювачем і цементом n .

Відомі значення V/\mathcal{C} і n дають можливість знайти, на основі рівняння матеріального балансу (суми абсолютних об'ємів) витрати всіх компонентів дрібнозернистої бетонної суміші:

$$\Pi = \frac{1 - V_{з.п}}{1/\rho_{ц} + B/\Pi + n/\rho_{п}}, \quad (1.18)$$

$$B = \Pi \cdot V / \Pi, \quad (1.19)$$

$$З = n\Pi. \quad (1.20)$$

У приведених формулах: $V_{з.п}$ – об'єм затисненого повітря; $\rho_{ц}$ і $\rho_{п}$ – густина цементу і заповнювачі (піску) в кг/м^3 .

Приклад 2. Визначити склад дрібнозернистого бетону з міцністю 30 МПа для тонкостінної залізобетонної плити із легкоукладальністю суміші 7...8 с.

Матеріали: портландцемент М400, пісок з модулем крупності $M_k = 1,5$, густиною $\rho_p = 2,63$ кг/л .

1. За формулою:
$$\frac{B}{\Pi} = \frac{AR_{ц}}{f_{cm} + 0,5AR_{ц}}$$

$$B/\Pi = 0,44 \cdot 40 / (30 + 0,55 \cdot 0,44 \cdot 40) = 0,44.$$

2. За графіком (Додаток, рис. 2) встановлюємо значення n . Воно дорівнює 2,5. Враховуючи поправку на крупність піску (Додаток, рис. 2), уточнюємо відношення. Воно складає 1:2,3.

3. Витрата цементу за формулою (1.18):

$$\Pi = \frac{1000}{\left(\frac{1}{3,1}\right) + 0,44 + \left(\frac{2,3}{2,63}\right)} = 610 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

4. Витрата піску:

$$\Pi = 3,7 \cdot 440 = 1630 \text{ кг/м}^3.$$

5. Високоміцні дрібнозернисті бетони

При проектуванні складу високоміцних дрібнозернистих бетонів, котрі виготовляються з використанням ефективних суперпластифікаторів при розрахунку Ц/В за формулою (1.1) слід враховувати коефіцієнт k . Експериментальні значення k для дрібнозернистого бетону з добавкою Melflux 2651 f (0,5...0,7%) знаходяться в межах 1,15...1,25.

Початкова витрата води (V_0) знаходиться з табл. 39, Додаток. Поправочний коефіцієнт, що враховує вплив добавок на водопотребу бетоної суміші – за табл. 4, Додаток.

Витрата компонентів дрібнозернистого бетону (цементу та заповнювача) знаходиться за формулами:

$$Ц = B \cdot \frac{Ц}{B} \text{ або } Ц = \frac{B}{B/Ц} \cdot \quad (1.21)$$

$$З = (1000 - V_{з.п.} - Ц / \rho_c - B / \rho_b) \rho_z \quad (1.22)$$

Приклад 3. Визначити склад дрібнозернистого бетону з міцністю 70 МПа з рухомістю 16 см.

Матеріали: портландцемент ПЦ-500, модуль крупності заповнювача (суміш піску з фракцією гранітних відсівів 2,5...5 мм) $M_k = 3,5$, густина $\rho_z = 2,67$ кг/л. Добавка Melflux 2651 f (0,5%)

1. За формулою (1.1), приймаючи значення коефіцієнтів A і b за табл. А.8, та $k=1,15$ (для добавки Melflux 2651 f):

$$B/Ц = 1,15 \cdot 0,52 \cdot 50 / (70 + 1,15 \cdot 0,65 \cdot 0,52 \cdot 50) = 0,33.$$

2. За табл. 11, Додаток, встановлюємо орієнтовне значення витрати води (V_0). $V_0 = 270$ л/м³. Враховуючи поправку на використання добавки знаходимо витрату води:

$$V = V_0 \cdot K_d = 270 \cdot 0,64 = 173 \text{ л/м}^3.$$

3. Витрата цементу:

$$Ц = 173 \cdot 0,33 = 517 \text{ кг/м}^3.$$

4. Об'єм затисненого повітря (1.16):

$$V_{z,n} = -6,52 \cdot \ln(15+1) + 19,9 = 1,8 \text{ л.}$$

5. Витрата заповнювача:

$$З = (1000 - 1,8 - 517 / 3,1 - 173) \cdot 2,67 = 1757 \text{ кг/м}^3.$$

6. Вібропресовані дрібнозернисті бетони

Для розрахунку Ц/В (чи В/Ц) бетону, яке повинне забезпечити задану міцність при стиску можна застосовувати формула загального виду (1.1):

Усереднені значення коефіцієнтів A та b наведені в табл. 8, Додаток.

Визначення співвідношення заповнювача і цементу (n) виконується за формулою:

$$n = \frac{B/Ц - \left(\frac{B}{Ц} \right)_{ц.т.}^{зал.}}{K_{зм}}, \quad (1.23)$$

де $\left(\frac{B}{Ц} \right)_{ц.т.}^{зал.}$ – залишкове водоцементне

відношення цементного тіста після ущільнення, $K_{зм}$ – коефіцієнт змочування заповнювача.

Для більшості вібропресів для формування стінових блоків, тротуарних плит та бордюрів, розповсюджених на

території України значення $\left(\frac{B}{Ц} \right)_{ц.т.}^{зал.}$ знаходиться в

межах 0,16...0,17. При відомих параметрах ущільнення

вібропреса (тривалість вібрування, амплітуда, частота, величина динамічного та статичного навантажень)

$\left(\frac{B}{C}\right)_{ц.т.}^{зал.}$ можна визначити користуючись номограмою (рис. А.8).

Коефіцієнт змочування заповнювача відповідних фракцій заповнювача знаходимо за табл. 10, Додаток.

Кількість затиснутого повітря ($V_{з.п}$) при вібропресуванні визначається з урахуванням параметрів ущільнення бетонної суміші за номограмою (Додаток, рис. 3).

Витрату цементу, заповнювача та води визначається за формулами (1.12...1.14).

Приклад 4. Розрахувати витрати компонентів на виготовлення бетонних виробів способом вібропресування з дрібнозернистого бетону. Потрібна міцність бетону у віці 28 діб 60 МПа. Параметри формувальної установки: тривалість вібрування – 12 с, частота – 50 Гц, амплітуда – 0,5 мм, динамічне навантаження 0,1 МПа. Характеристики вихідних матеріалів: активність портландцементу – 50 МПа, НГ – 26,5%, істинна густина – 3,1 г/см³, насипна густина – 1300 кг/м³; заповнювач – пісок з $M_{кр}=2,0$ ($K_{зм}=0,035$), істинна густина – 2,65 г/см³, насипна густина – 1450 кг/м³.

Послідовність розрахунку.

Із рівняння (1.1) знаходимо В/Ц, необхідне для забезпечення міцності бетону, приймаючи значення коефіцієнтів з табл. 8, Додаток ($A=0,48$ $b=0,2$):

$$\frac{B}{C} = \frac{AR_u}{R + b AR_u} = \frac{0,48 \cdot 50}{60 + 0,2 \cdot 0,48 \cdot 50} = 0,35.$$

Значення $\left(\frac{B}{Ц}\right)_{ц.т.}^{зал.}$ визначене за номограмою (Додаток,

рис. 5.) становить 0,19.

Співвідношення n знаходимо з рівняння (1.23), враховуючи змочуваність заповнювача та розраховані значення В/Ц:

$$n = \frac{\frac{B}{Ц} - \left(\frac{B}{Ц}\right)_{ц.т.}^{зал.}}{K_{зм}} = \frac{0,35 - 0,19}{0,035} = 4,57$$

За номограмою рис. $V_{з.п.} = 70$ л.

Витрату цементу знаходимо з рівняння (1.18):

$$Ц = \frac{1000 - V_{з.п.}}{\frac{1}{\rho_{ц}} + \frac{B}{Ц} + \frac{(3/Ц)}{\rho_{з}}} = \frac{1000 - 70}{\frac{1}{3,1} + 0,35 + \frac{4,57}{2,65}} = 388 \text{ кг/м}^3$$

Витрата води:

$$B = Ц \cdot \frac{B}{Ц} = 388 \cdot 0,35 = 136 \text{ л/м}^3$$

Витрата заповнювача:

$$З = Ц \cdot n = 388 \cdot 4,57 = 1773 \text{ кг/м}^3$$

7. Високоміцний дрібнозернистий фібробетон.

Розрахунок складу високоміцного дрібнозернистого фібробетону складається з двох етапів. На першому етапі розраховується склад дрібнозернистого бетону згідно алгоритму наведеного в п. 1.2.4. На другому етапі визначається вміст фібри (Додаток, рис. 4) і корегується вміст води за формулою:

$$V_{\phi} = (-0,003 \cdot \Phi - 0,0778) \cdot OK + 0,0656 \cdot \Phi + 0,6875 \quad (1.14)$$

де ОК – задана рухомість суміші, см;

Φ – вміст фібри, кг/м³.

Також корегуванню підлягають витрати цементу і заповнювача (формули 1.11...1.12).

Приклад 5. Визначити склад дрібнозернистого фібробетону з міцністю при стиску 60 МПа та міцністю на розтяг при згині 12 МПа із рухомістю суміші 15 см.

Матеріали: портландцемент М500, дрібний заповнювач з модулем крупності $M_k = 3,5$ середньої якості та дійсною густиною $\rho_n = 2,65$ кг/л. Передбачається використання добавки Melflux 2651 f (0,5%).

1. За формулою (1.1) з врахуванням коефіцієнтів $A = 0,48$ і $b = 0,65$ (табл. А.31) та $k=1,15$ (для добавки Melflux 2651 f):

$$V/C = 1,15 \cdot 0,48 \cdot 50 / (60 + 0,65 \cdot 0,48 \cdot 50) = 0,365.$$

2. Перевіряємо можливість забезпечення заданої міцності на розтяг при згині та міцності при стиску. Як видно з номограми (Додаток, рис. 4), отримане $V/C = 0,365$ та $f_{c,tf} = 12$ МПа знаходяться в межах допустимих значень.

3. За табл. А.25 встановлюємо орієнтовне значення витрати води (V_0). $V_0 = 260$ л/м³. Враховуючи поправку на використання добавки (Додаток, табл. 4) знаходимо витрату води:

$$V' = V_0 \cdot K_d = 260 \cdot 0,65 = 169 \text{ л/м}^3.$$

4. Початкова витрата цементу (1.11):

$$C_o = 169 \cdot 0,365 = 463 \text{ кг/м}^3.$$

5. Об'єм затисненого повітря (1.16):

$$V_{z,n} = -6,52 \cdot \ln(15+1) + 19,9 = 1,8 \text{ л}$$

6. Витрата заповнювача (1.12):

$$З = (1000 - 1,8 - 463/3,1 - 169) \cdot 2,65 = 1801 \text{ кг/м}^3.$$

7. За допомогою номограми (Додаток, рис. 4) визначаємо витрату фібри, необхідну для забезпечення міцності на розтяг при згині 12 МПа. Вона складає 105 кг/м³.

8. Враховуємо поправку, % на витрату води при введенні фібри:

$$В_{\Phi} = (-0,003 \cdot \Phi - 0,0778) \cdot ОК + 0,0656 \cdot \Phi + 0,6875 = 1,7\%.$$

9. Уточнене значення витрати води: $В = В' + В' \cdot В_{\Phi}/100 = 169 + 169 \cdot 1,7/100 = 172 \text{ л}$.

8. Уточнене значення витрати цементу:

$$Ц = \frac{В}{В/Ц} = \frac{172}{0,365} = 471 \text{ кг}.$$

9. Уточнене значення витрати дрібного заповнювача визначаємо за методом абсолютних об'ємів (1.12):

$$\Pi = \left(1000 - 1,8 - \left(\frac{471}{3,1} + \frac{105}{7,85} + \frac{172}{1} \right) \right) \cdot 2,65 = 1752 \text{ кг}.$$

Остаточний склад фібробетонної суміші, кг/м³:

$Ц = 471$; $В = 172$; $\Pi = 1752$; $\Phi = 105$; Melflux 2651f = 2,36.

8. Експериментальне корегування складів бетонів

8.1. 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 ($\rho_{б.с.}$). Фактичні витрати матеріалів на 1 м³ суміші розраховують за формулами:

$$Ц_1 = \frac{\rho_{б.с.}}{\sum g} g_c; \quad П_1 = \frac{\rho_{б.с.}}{\sum g} g_n; \quad Щ_1 = \frac{\rho_{б.с.}}{\sum g} g_{щ};$$

$$B_1 = \frac{\rho_{б.с.}}{\sum g} g_e, \quad (1.15)$$

де g_c , g_n , $g_{щ}$, 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.

8.2. Оптимізацію співвідношення заповнювачів досягають, змінюючи показник r – частку піску в суміші заповнювачів до встановлення мінімально можливої на даних матеріалах водопотреби бетонної суміші (Додаток, рис. 2).

Для оптимізації розрахункового r при значеннях $Ц_1$ і B_1 , що забезпечують задану легкоукладальність суміші розраховують два допоміжні склади бетону з $r_1 = r + (0,03...0,05)$ і $r_2 = r - (0,03...0,05)$. (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.

8.3. 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 $Ц/В$ на $\pm(0,3\dots0,5)$, 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.

8.4. 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 ($П_{ер}$, $кг/м^3$) і крупного ($Щ_{ер}$, $кг/м^3$) заповнювачів збільшують на масу води, що знаходиться в них:

$$П_{ер} = П \cdot (1 + W_n), \quad (1.16)$$

$$\mathit{Ш}_{\text{ер}} = \mathit{Ш} \cdot (1 + W_{\text{щ}}), \quad (1.17)$$

де $\mathit{П}$, $\mathit{Ш}$ – витрата піску і щебеню в номінальному складі; W_n , $W_{\text{щ}}$ – вологість піску і щебеню, частки одиниці.

Відповідно виробничу витрату води ($B_{\text{ер}}$) зменшують на масу води, що знаходиться в заповнювачах:

$$B_{\text{ер}} = B - \mathit{П} \cdot W_n - \mathit{Ш} \cdot W_{\text{щ}}. \quad (1.18)$$

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:

$$1 : \mathit{П} : \mathit{Ш} = \frac{\mathit{Ц}}{\mathit{Ц}} : \frac{\mathit{П}_{\text{ер}}}{\mathit{Ц}} : \frac{\mathit{Ш}_{\text{ер}}}{\mathit{Ц}}. \quad (1.19)$$

Якщо бетонозмішувач, що використовується для приготування суміші, характеризується місткістю по об'єму сухих матеріалів, тоді попередньо визначається коефіцієнт виходу бетонної суміші ($\beta_{\text{б}}$). 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:

$$\beta_{\text{б}} = \frac{1}{\frac{\mathit{Ц}}{\rho_{\text{н.ц}}} + \frac{\mathit{П}_{\text{ер}}}{\rho_{\text{н.п}}} + \frac{\mathit{Ш}_{\text{ер}}}{\rho_{\text{н.щ}}}}, \quad (1.20)$$

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

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

$$D_i = V_{\text{б.з}} \cdot \rho_i, \quad (1.21)$$

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

ρ_i – витрата i -го матеріалу у виробничому (робочому) складі бетону в $\text{кг}/\text{м}^3$ ($\text{л}/\text{м}^3$);

$V_{б.з}$ – об'єм бетонозмішувача, м^3 .

Приклад 6. Експериментально перевірити і уточнити розрахунковий склад важкого бетону з рухомістю бетонної суміші $OK = 5 \dots 7$ см, міцністю на стиск у віці 28 діб 40 МПа та міцністю після теплової обробки 30 МПа.

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

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 $\text{кг}/\text{м}^3$ піску (0,34 кг на заміс) і 52 $\text{кг}/\text{м}^3$ щебеню (0,52 кг на заміс) і визначаємо, що рухомість бетонної суміші зменшилась до $OK = 5$ см.

Уточнюємо густину бетонної суміші ($\rho'_{б.с.}$) і за формулами (1.15) розраховуємо склад бетону:

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

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

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

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:

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

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

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

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

$$\text{Приймаємо: } Ц_2 = 363 \text{ кг/м}^3; B_2 = 181 \text{ л/м}^3;$$

$$П_2 = 632 \text{ кг/м}^3; Щ_2 = 1250 \text{ кг/м}^3.$$

Склад №3:

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

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

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

$$\text{Приймаємо: } Ц_3 = 363 \text{ кг/м}^3; B_3 = 181 \text{ л/м}^3;$$

$$П_3 = 763 \text{ кг/м}^3; Щ_3 = 1118 \text{ кг/м}^3.$$

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 $Ц/B$) склад №4 бетонної суміші в кг/м^3 : $Ц_4 = 345 \text{ кг/м}^3$; $B_4 = 172 \text{ л/м}^3$;
 $Ц/B = 2$; $П_4 = 646 \text{ кг/м}^3$; $Щ_4 = 1278 \text{ кг/м}^3$; $\rho_б = 2441 \text{ кг/м}^3$.

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

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

$P_5=630 \text{ кг/м}^3$; $Щ_5 = 1247 \text{ кг/м}^3$.

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

$P_6 = 661 \text{ кг/м}^3$; $Щ_6 = 1307 \text{ кг/м}^3$.

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

Результати випробувань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

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: $C_5 = 396 \text{ кг/м}^3$; $B_5 = 172 \text{ л/м}^3$; $P_5 = 630 \text{ кг/м}^3$; $Щ_5 = 1247 \text{ кг/м}^3$.

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. Й. Оптимальное проектирование составов бетонов. Львов : Вища школа, 1981. 160 с.
6. Дворкин Л. Й., Гоц В. И., Дворкин О. Л. Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов. М. : Инфра-Инженерия, 2014. 432 с.
7. Дворкін Л. Й., Дворкін 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

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	-	-

продовження табл. 1

Конструкції	Спосіб укладки бетонної суміші		
	з вібрацією		без вібрації
	ОК, см	Ж, с	ОК, см
Конструкції дуже насичені арматурою і закладними деталями, які заважають укладці пластичних сумішей із вібруванням	20...24	-	-

Таблиця 2

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

Таблиця 3

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)	$\Delta B_{11}' = B_0 - 4X_6$

продовження табл. 3

№	Фактори, які враховуються	Поправки ΔB , л/м ³
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, °С		
	5	$\Delta B_{13}=B_0-5$
	10	$\Delta B_{13}=B_0-4$
	15	$\Delta B_{13}=B_0-2$
	25	$\Delta B_{13}=B_0+3$
	30	$\Delta B_{13}=B_0+7$
	35	$\Delta B_{13}=B_0+11$

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

Таблиця 4

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

Таблиця 5

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 6

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. 6

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 7

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 8

Значення коефіцієнтів A і b у формулі міцності для дрібнозернистого бетону

Вид заповнювачів	Пластичні бетонні суміші	Жорсткі бетонні суміші	Наджорсткі (напівсухі) бетонні суміші
Заповнювач високої якості	$A=0,52$, $b=0,65$	$A=0,52$, $b=0,55$	$A=0,52$, $b=0,2$
Заповнювач середньої якості	$A=0,48$, $b=0,65$	$A=0,48$, $b=0,55$	$A=0,48$, $b=0,2$
Заповнювач низької якості	$A=0,44$, $b=0,65$	$A=0,44$, $b=0,55$	$A=0,44$, $b=0,2$

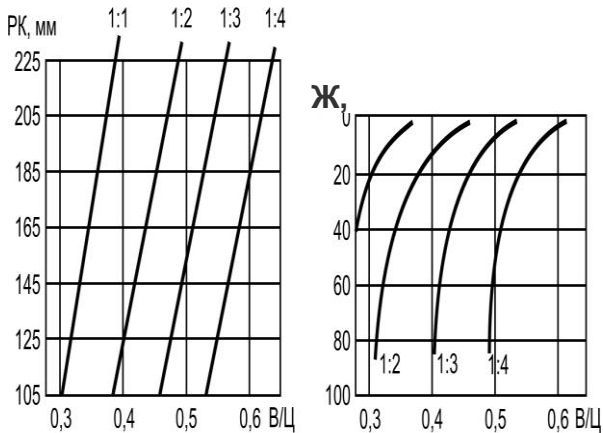


Рис. 1. Графіки для вибору співвідношення між цементом і піском середньої крупності (водопотреба 7%), яке забезпечує задані значення розпливу конусу (PK) і T легкоукладальності (Ж) цементно-піщаних сумішей (за Ю.М.Баженовим)

Таблиця 9

Рухомість дрібнозернистих бетонних сумішей, визначена різними методами

Осадка стандартного конуса, см	Глибина занурення конуса, см	Розплив конуса (РК) на струшуючому столику, мм
1...3	2...3	110...140
3...6	3...5	140...170
5...8	4...6	160...180
8...14	6...8	170...200
12...15	7...9	190...220
15...22	8...11	210...240
20...25	10...14	230...270

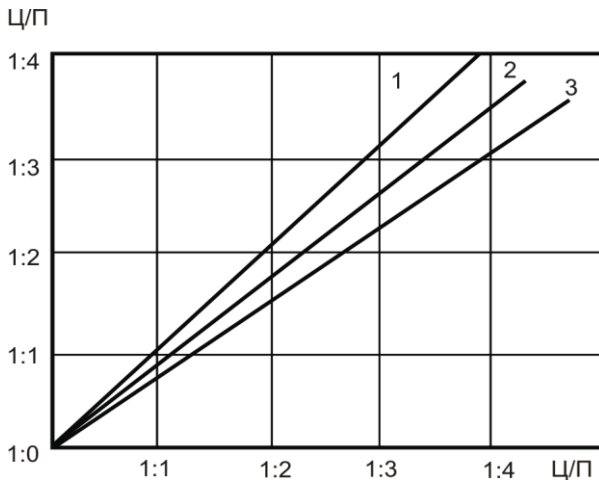


Рис. 2. Графік для корегування співвідношення Ц/П при забезпеченні заданої рухомості цементно-піщаної суміші залежно від модуля крупності піску (M_k): 1 – $M_k = 2,5$; 2 – $M_k = 1,5$; 3 – $M_k = 0,75$

(Ц/П – співвідношення для піску середньої крупності, яке приймається за рис.4)

Таблиця 10

Коефіцієнти змочування ($K_{зм}$) зерен заповнювачів

Фракція, мм	Види заповнювачів		
	Кварцовий пісок	Річковий пісок	Гранітний пісок і щебінь
10...5	–	–	0.0121
5...2,5	0.0072	0.0192	0.022
2,5...1,25	0.00788	0.0207	0.0238
1,25...0,63	0.0132	0.023	0.0264
0,63...0,315	0.0265	0.0346	0.0398
0,315...0,16	0.0504	0.06	0.069
менше 0,16	0.104	0.1201	0.138

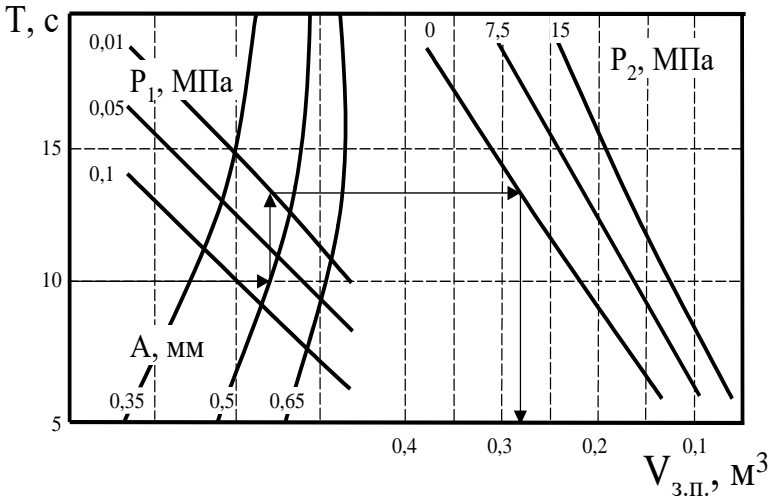
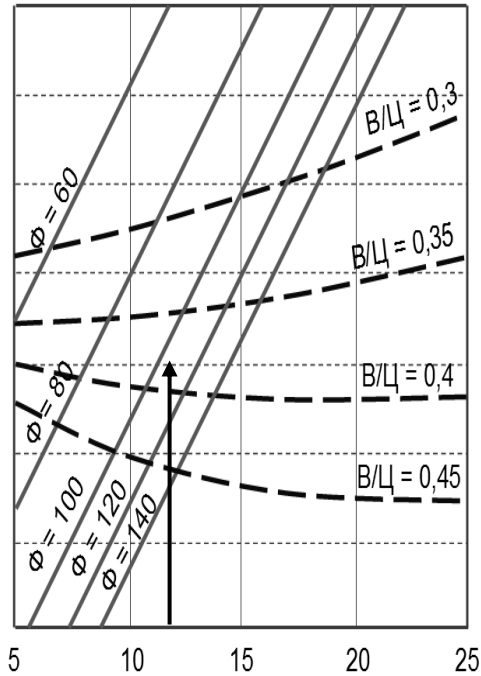


Рис. 3. Номограма для визначення об'єму затиснутого повітря у вібропресованому дрібнозернистому бетоні



Міцність на розтяг при згині, МПа

Рис. 4. Номограма для визначення витрати фібри (Φ , $\text{кг}/\text{м}^3$) для дрібнозернистого фібробетону при використанні портландцементу марки 500 та фібри хвилястого профілю ($L = 60$ мм, $d = 1$ мм)

Таблиця 11

Орієнтовна витрата води (V_0) для розрахунку складу високоміцного дрібнозернистого бетону

Осадка конуса, см	Марка за легкоукладальністю	Модуль крупності заповнювача		
		2,0...2,5	3,0...3,5	4,0
0...4	P1	245	235	230
5...9	P2	255	245	240
10...15	P3	270	260	255
16...21	P4	280	270	265

Примітка. 1. При збільшенні вмісту у заповнювачі пилу понад 1% 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 дана для бетонних сумішей на портландцементі з нормальною густиною цементного тіста 26...28 % 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. Поправочні коефіцієнти на використання пластифікуючих добавок наведені у табл. 4, Додаток.

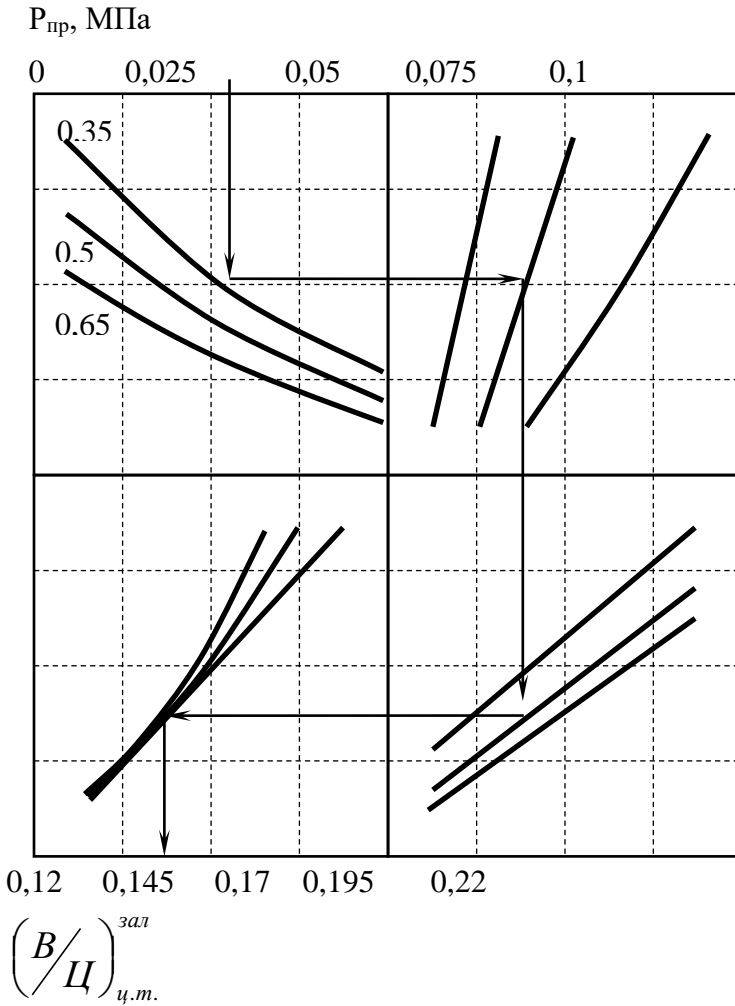


Рис. 5. Номограма для визначення $\left(\frac{B}{C}\right)_{ц.т.}^{зал}$

ЗМІСТ

1.	Проектування складів високоміцних бетонів	3
2.	Визначення водопотреби бетонної суміші	4
3.	Визначення витрати компонентів бетонної суміші	4
4.	Проектування складів дрібнозернистих бетонів та фібробетонів	8
5.	Високоміцні дрібнозернисті бетони.....	10
6.	Вібропресовані дрібнозернисті бетони.....	11
7.	Високоміцний дрібнозернистий фібробетон.....	13
8.	Експериментальне корегування складів бетонів.....	15
	Література	22
	ДОДАТКИ	24