

РОЗРАХУНОК СКЛАДІВ ДОРОЖНЬОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНУ

ROAD CEMENT CONCRETE DESIGN

Дворкін Л.Й., д.т.н., проф. (Національний університет водного господарства та природокористування)

Dvorkin Leonid, Doctor of Engineering, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

До особливостей розрахунків складів дорожніх бетонів відносяться необхідність врахування вимог до міцності бетону на розтяг при згині і морозостійкості дорожнього покриття. Можливе застосування ряду відомих [1] розрахункових формул для визначення необхідного цементно-водного відношення, що забезпечує нормований показник міцності бетону на розтяг при згині (табл. 1). Як видно з табл. 1, ці формули дають достатньо близькі результати.

Таблиця 1
Розрахункові значення міцності бетону на розтяг при згині $f_{c,tf}$
при використанні різних формул

Міцність цементу, МПа		Ц/В	$f_{c,tf} = 0,36f_{cm}^{2/3}$	$f_{c,tf} = 0,4R_{ц,ст} (Ц/В - 0,2)$	$f_{c,tf} = 0,39R_{ц,ст} (Ц/В - 0,1)$	$f_{c,tf} = 0,42R_{ц,ст} (Ц/В - 0,3)$
на згин $R_{ц,зг.}$	на стиск $R_{ц}$					
5,5	40	1,5	3,0	2,9	3,0	2,8
		2,5	4,8	5,1	5,1	5,1
6	50	1,5	3,5	3,1	3,3	3,0
		2,5	5,5	5,5	5,6	5,5
6,5	60	1,5	3,9	3,4	3,5	3,3
		2,5	6,2	6,0	6,1	6,0
7,5	60	1,5	3,9	3,9	4,1	3,8
		2,5	6,2	6,0	7,0	6,9

При нормуванні міцності бетону на розтяг при згині ($f_{c,tf}$) поряд з міцністю на стиск (f_{cm}) зручно при розрахунку складів і застосуванні кондиційних матеріалів застосовувати формулу

$$f_{c,tf} = 0,36f_{cm}^{2/3}. \quad (1)$$

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

Забезпечення нормованої морозостійкості бетону досягається як міцнісними показниками, так і введенням при необхідності в бетонну суміш емульгованого повітря.

Статистична обробка великого масиву експериментальних даних в достатньо широкому діапазоні складів ($f_{ct} = 15 \dots 40$ МПа, $V = 140 \dots 220$ л/м³, $V_{п.в} = 0,8 \dots 6,5$ %) дозволила зв'язати морозостійкість, міцність бетону на стиск і об'єм втягнутого повітря:

$$F = A_1 f_{cm}^{A_2} \exp^{A_3 V_{п.в}} \quad (2)$$

Для досліджених складів бетону $A_3 = 0,35$. Для рухомих бетонних сумішей (ОК = 9...12 см), $A_1 = 0,34$, $A_2 = 1,68$; малорухомих – (ОК = 1...4 см), $A_1 = 0,91$, $A_2 = 1,47$; жорстких – $A_1 = 2,48$, $A_2 = 1,28$.

Із формули (2) можна розрахувати об'єм необхідного втягнутого повітря:

$$V_{п.в} = \ln \left(\frac{F}{A_1 f_{cm}^{A_2}} \right) / 0,35, \quad (3)$$

де F – марка бетону за морозостійкістю;

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

A_1 і A_2 – коефіцієнти.

Нижче наведений можливий алгоритм розрахунків складів дорожніх бетонів із застосуванням наведених залежностей і приклад його реалізації.

Таблиця 2

Схема алгоритму проектування складів дорожнього бетону з заданою морозостійкістю

1. Визначають необхідний середній рівень міцності (f_{ct1}) бетону, що забезпечує заданий клас бетону за міцністю на стиск.
2. Визначають міцність бетону на стиск (f_{ct2}), що забезпечує значення інших нормованих властивостей бетону.
3. Для подальшого розрахунку вибирають порівнянням f_{ct1} і f_{ct2} більше значення міцності бетону на стиск.
4. За формулою (3) визначають об'єм втягнутого (емульгованого за допомогою повітрявтягувальної добавки) повітря $V_{п.в}$, що забезпечує при заданій міцності необхідну марку за морозостійкістю. З цією метою можуть бути застосовані і нормативні рекомендації.
5. Уточнюють необхідне значення міцності бетону з урахуванням впливу втягнутого повітря.
6. Розраховують В/Ц бетонної суміші, що забезпечує необхідну міцність бетону на стиск.
8. Знаходять витрату води з урахуванням легкоукладальності бетонної суміші й особливостей заповнювачів.
9. Визначають витрату цементу та інших компонентів бетонної суміші.

Приклад. Розрахувати склад бетону для одношарового покриття автомобільної дороги з заданими показниками міцності на стиск $f_{cm} = 30$ МПа і згин $f_{c,lf} = 4,3$ МПа. Марка бетону за морозостійкістю F300. Бетонна суміш укладається в покриття бетоноукладальною машиною (OK = 2 см).

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

Для розрахунку використовуємо алгоритм, наведений в табл. 2.

1. Визначаємо за формулою (1) необхідну міцність при стиску (f_{ct1}), що забезпечує нормовану міцність при згині: $f_{ct1} = 40,8$ МПа.

2. Оскільки $f_{ct1} > f_{cm}$ приймаємо її для подальших розрахунків.

3. За формулою (3) визначаємо необхідний об'єм втягнутого повітря, $V_{п.в.}$, що забезпечує при заданій міцності необхідну марку бетону за морозостійкістю. Коефіцієнти A_1 , A_2 вибираємо з врахуванням рухомості бетонної суміші:

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

4. Уточнюємо значення міцності бетону з урахуванням впливу втягнутого повітря, приймаючи, що кожний процент втягнутого повітря знижує міцність бетону в середньому на 5 %:

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

5. Необхідна міцність бетону на стиск, що забезпечує задану 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. Для розрахунку використовуємо типову формулу $f_{cm} = AR_y (C/B - 0,5)$. Приймаємо коефіцієнт $A = 0,55$:

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

7. Витрата води для заданої рухомості бетонної суміші з урахуванням особливостей заповнювачів за довідковими даними складе 180 л/м³.

8. Витрата цементу:

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

Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі

9. Витрата щебеню (коефіцієнт розсунення $\alpha_p = 1,39$; пустотність щебеню $\Pi_{щ} = \frac{\rho_{щ} - \rho_{н.щ}}{\rho_{щ}} = \frac{2,7 - 1,4}{2,7} = 0,48$):

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

10. Витрату піску знайдемо з урахуванням втягнутого повітря:

$$\Pi = \left(1000 - \frac{368}{3,1} - \frac{1181}{2,7} - 180 - 10 \right) \cdot 2,67 = 680 \text{ кг/м}^3.$$

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

Отриманий розрахунковий склад бетону підлягає експериментальному уточненню.

Список використаних джерел

1. Л.Й. Дворкін. Проектування складів бетонів (методи, приклади, вправи). К.: Кондор, 2018. 616 с.