

ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ

УДК 691.32

Дворкін Л.Й., д-р техн. наук, **Марчук В.В.**, канд. техн. наук,
Фурсович М.О., канд. техн. наук.

РОЗРАХУНОК СКЛАДІВ ДОРОЖНИХ БЕТОНІВ З ЗАДАНОЮ МОРОЗОСТІЙКІСТЮ

Анотація. У статті пропонується методика проектування складу дорожніх бетонів. Розглянуті основні особливості, шляхи досягнення і регулювання властивостей дорожніх бетонів, які направлені на підвищення їх довговічності й ефективності

Ключові слова: довговічність, дорожний бетон, морозостійкість, суперпластифікатор.

Аннотация. В статье предложена методика проектирования состава дорожных бетонов. Рассмотрены основные особенности, пути достижения и регулирования свойств дорожных бетонов, направленных на повышение их долговечности и эффективности

Ключевые слова: долговечность, дорожный бетон, морозостойкость, суперпластификатор.

Abstract. The method of designing the composition of road concrete. The main features, achieving and controlling the properties of concrete road, aimed at increasing their efficiency and durability

Keywords: durability, frost-resistance, road concrete, superplasticizer.

Вступ

Покриття автомобільних доріг і аеродромів експлуатуються у складних умовах і повинні відповідати ряду спеціальних вимог. Дорожні бетони працюють на згин як плита на пружній основі, тому поряд з міцністю при

стиску важливим показником механічних властивостей дорожніх бетонів є міцність на розтяг при згині.

Основна частина

Класи бетонів за міцністю на розтяг при згині і стиску призначаються залежно від виду покриття і положення шару бетону в конструкції покриття дороги, а також інтенсивності розрахункового навантаження (табл.1).

Таблиця 1 – Мінімальні проектні класи за міцністю для дорожнього бетону

Призначення шару	Інтенсивність розрахункового навантаження, од/дїб	Мінімальна проектна міцність бетону, МПа	
		на стиск	на розтяг при згині
Одношарове покриття або верхній шар двошарового покриття	більше 2000	45	5,5
	від 1000 до 2000	40	5,0
	від 500 до 1000	30	4,5
	менше 500	25	4,0
Нижній шар двошарового покриття	більше 2000	-	4,5
	від 1000 до 2000	-	4,0
	від 500 до 1000	-	3,5
	менше 500	-	3,0
Монолітна основа під покриття цементобетонне	—	5	10
		10	15
		15	20

Показник міцності на стиск є непрямою характеристикою його зносостійкості. Опір зношуванню при експлуатації дорожніх покриттів є зазвичай достатнім при міцності бетону на стиск вище 30 МПа.

Між міцністю цементного бетону на стиск і розтягом при згині є стійкий кореляційний зв'язок (рис.1).

Для важкого бетону міцність бетону на розтяг при згині $f_{c.tf}$ залежно від міцності на стиск f_{cm} у МПа орієнтовно можна визначити за формулою:

$$f_{c.tf} = 0.08(10f_{cm})^{2/3}. \quad (1)$$

Міцність важкого цементного бетону при згині коливається, як правило, в інтервалі 0,1...0,2 міцності при стиску.

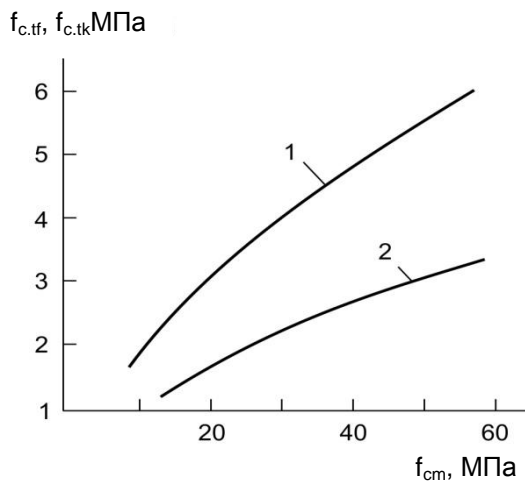


Рисунок 1 – Залежність міцності бетону на розтяг при згині $f_{c.tf}$ (1) і осьовий розтяг $f_{c.tk}$ (2) від міцності при стиску f_{cm}

Співвідношення $f_{cm}/f_{c.tf}$ підвищується зі збільшенням міцності на стиск. Зі збільшенням віку бетону його міцність при згині зростає більш повільно, ніж міцність при стиску і співвідношення $f_{cm}/f_{c.tf}$ збільшується. Суттєвий

вплив на опір бетону розтягу і згину чинять вид заповнювачів і характер їх поверхні: міцність підвищується при застосуванні чистих заповнювачів із гострими і шорсткуватими зернами. Міцність при згині бетону на основі щебеню на 15...20 % вища ніж бетону на гравію. Вона також збільшується при застосуванні досить міцних пористих заповнювачів, що пояснюється їх хорошим зчепленням із цементним каменем. Значний ефект збільшення міцності бетону на згин досягається при застосуванні полімерних добавок.

Морозостійкість дорожнього бетону забезпечується застосуванням відповідних вихідних матеріалів, повітровтягувальних і пластифікуючих добавок, правильним призначенням складів бетонної суміші з необхідними обмеженнями витрати води і водоцементного відношення, а також достатнім ущільненням бетону і доглядом за ним. Одним з основних способів досягнення достатньо високої морозостійкості дорожнього також як і інших видів бетону є введення необхідної кількості втягнутого повітря. Бетони марки за морозостійкістю F100 і вище для дорожніх і аеродромних покриттів варто виготовляти з обов'язковим застосуванням повітровтягувальних або газоутворювальних добавок.

Для розрахунку необхідного об'єму втягнутого повітря може бути використана емпірична формула:

$$V_{ns} = \frac{\ln\left(\frac{F}{A_1 \cdot f_{cm}^{A_2}}\right)}{A_3}, \quad (2)$$

де F і f_{cm} – відповідно нормовані показники критичного числа циклів заморожування і відтавання і міцності бетону при стиску; A_1 і A_2 – коефіцієнти,

обумовлені відповідно водовмістом і легкоукладальністю бетонної суміші; A_3 – коефіцієнт, що враховує особливості вихідних матеріалів (для важких бетонів на щільних морозостійких заповнювачах і середньоалюмінатних портландцементях $A_3 \approx 0,35$).

Дорожні цементні бетони з необхідними експлуатаційними властивостями і високою довговічністю виготовляють із застосуванням відповідних цементів, заповнювачів і добавок. Цемент у бетоні для дорожніх і аеродромних покриттів повинен протистояти дії різноманітних агресивних факторів, що створюють досить важкі умови для його служби. У зв'язку з цим у клінкері обмежують вміст найбільш “вразливого” мінералу – трикальцієвого алюмінату (C_3A) у кількості не більше 8%. Вміст у портландцементі доменних гранульованих шлаків повинен бути не більше 15%, інші мінеральні добавки не застосовуються. Питома поверхня портландцементу з добавкою шлаків повинна бути не менше $2800 \text{ см}^2/\text{г}$. До складу цементу або безпосередньо бетонних сумішей ефективно введення пластифікуючих і гідрофобізуючих добавок.

Для бетонів дорожніх покриттів доріг і аеродромів застосовують портландцемент марок М400 і М500. Початок тужавлення ПЦ повинен наступати не раніше 2 год. від початку замішування, за узгодженням із споживачем допускаються й інші строки тужавлення. Для бетону дорожніх основ допускається застосування шлакопортландцементу.

Заповнювачі для виробництва дорожніх бетонів повинні відповідати загальним вимогам до заповнювачів для важких бетонів за ДСТУ Б В.2.7-43-96 і ряду додаткових умов. Зокрема, вміст пилоподібних і глинистих частинок у щебені з осадових порід не повинен перевищувати:

для одношарових і верхнього шару двошарових покриттів доріг – 2%

для нижнього шару двошарових покриттів і основ удосконалених капітальних покриттів доріг – 3%.

Поряд із природним кварцовим піском у дорожніх бетонах застосовують пісок із відсівів подрібнення. При застосуванні такого піску пред'являються вимоги до марки за міцністю вихідних порід. Вона повинна бути не менше 800, для осадових порід може бути не менше 400, якщо пісок застосовують для нижнього шару двошарових покриттів, а також основ.

Забезпечення заданих у проекті нормативних характеристик дорожнього бетону досягається проектуванням необхідного складу бетонної суміші, вибором необхідних технологічних режимів при її виготовленні, транспортуванні й ущільненні, а також догляді за бетоном [1, 2].. На якість ущільнення бетонної суміші суттєвий вплив здійснює легкоукладальність бетонної суміші, яка вибирається з урахуванням прийнятого способу й обладнання для бетонування [1...4].

Для будівництва дорожніх основ і покриттів на ділянках, де використання бетоноукладальних машин неможливо або недоцільно через їх малу площу, важкі умови будівництва і т.д. застосовують литі бетонні суміші, що самоущільнюються.

Добавки суперпластифікаторів можуть вводитися як у заводських умовах, так і безпосередньо в бетонну суміш до бетонування. Застосовують також різні комплексні добавки для досягнення поряд з високим водоредукуючим ефектом достатнього повітровтягування, забезпечення необхідної рухомості з урахуванням часу транспортування та ін.

Підвищення температури бетонної суміші, особливо вище 30°C, призводить до суттєвого збільшення темпу падіння рухомості. При підвищенні температури бетонної суміші на кожні 5°C у діапазоні 20...35°C водопотреба, яка необхідна для забезпечення сталої легкоукладальності, зростає на 2...4%. При збільшенні рухомості суміші підвищення водопотреби з ростом температури зростає.

Рекомендована тривалість транспортування бетонної суміші для будівництва автомобільних доріг не перевищує 30 хв при температурі повітря від 20 °C до 30 °C і 60 хв при температурі повітря нижче 20°C.

Із розрахунково-експериментальних методів проектування складу дорожніх бетонів найпоширеніший метод СоюзДорНДІ. Цей метод дає можливість при заданому вмісті залученого повітря визначити склад бетонної суміші з необхідною рухомістю чи жорсткістю, що забезпечує проектну міцність на розтяг при згині.

При підборі складу дорожнього бетону визначення показників рухомості і жорсткості суміші, об'єму залученого повітря, а також виготовлення контрольних зразків виконується не раніше 30 хв і не пізніше 60 хв після приготування бетонної суміші.

Необхідне орієнтовне Ц/В при заданому об'ємі залученого повітря розраховують за формулою:

$$C / B = \frac{f_{c.tf}}{0,39R_{c.tf} (1 - 0,025V_{n.в})} + 0,1, \quad (3)$$

де $f_{c.tf}$ – необхідна міцність бетону на розтяг при згині, МПа;

$R_{c.tf}$ – міцність цементу при згині, МПа;

$V_{п.в}$ – необхідний об'єм залученого повітря, %.

При проектуванні складів дорожнього бетону за умови забезпечення необхідної легкооброблюваності, зв'язності, повітряутримувальної здатності бетонної суміші передбачаються більш високі значення коефіцієнта розсунення зерен щебеню α , ніж при розрахунках складів звичайного важкого бетону (для останнього зазвичай $\alpha \leq 1,5$). Мінімальне значення α для дорожнього бетону рекомендується приймати: 1,7 – для дрібних пісків з модулем крупності ($M_{кр}$) від 1,5 до 2; 1,8 – для середніх пісків із $M_{кр}$ від 2 до 2,5; 1,9 – 2,0 для крупних пісків із $M_{кр} > 2,5$.

При нормуванні для дорожнього бетону міцності на розтяг при згині, а також міцності на стиск і морозостійкості для розрахунків складів бетонних сумішей може бути використаний алгоритм, схема якою наведена в табл.2.

Таблиця 2 – Алгоритм проектування складу дорожнього бетону

<ol style="list-style-type: none"> 1. Визначають необхідний середній рівень міцності (f_{cm_1}) бетону, що забезпечує заданий клас бетону за міцністю на стиск. 2. Визначають міцність бетону на стиск (f_{cm_2}), що забезпечує значення інших нормованих властивостей бетону. 3. Для подальшого розрахунку вибирають порівнянням f_{cm_1} і f_{cm_2} більше значення міцності бетону на стиск. $f_{cm'}$ 4. За формулою (2) визначають об'єм втягнутого (емульгованого за допомогою повітрявтягуювальної добавки) повітря $V_{n.в.1}$, що забезпечує при заданій міцності необхідну марку за морозостійкістю, %. 5. Уточнюють необхідне значення міцності бетону з урахуванням впливу втягнутого повітря на міцність, приймаючи, що введення в бетонну суміш 1% втягнутого повітря знижує міцність бетону в середньому на 5%. 6. Уточнюють об'єм втягнутого повітря $V_{n.в.2}$, що забезпечує при розрахованій міцності необхідну марку за морозостійкістю. 7. Розраховують В/Ц бетонної суміші, що забезпечує задану 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 розрахунку складу.

Розрахувати склад бетону для одношарового покриття автомобільної дороги 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 в покриття бетоноукладальною машиною (ОК=2 см).

Вихідні матеріали: портландцемент М500, НГ=25,5%; кварцовий пісок із модулем крупності $M_{кр}=2,2$, вмістом відмулюваних домішок 2,5%, густиною $\rho_n=2,67$ кг/л, $\rho_{н.п}=1,55$ 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_{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 розрахунків ($f_{cm} = 40,8$ МПа).

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

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

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 В/Ц бетонної суміші, що забезпечує розрахункову міцність бетону на стиск. Приймаємо коефіцієнт $A=0,55$:

$$B/C = \frac{AR_c}{f_{cm} + 0,5Af_{cm}} = \frac{0,55 \cdot 50}{43 + 0,5 \cdot 0,55 \cdot 50} = 0,49.$$

7. Витрата води для заданої рухомості бетонної суміші з урахуванням особливостей заповнювачів складе 180 л/м^3 [3].

8. Витрата цементу:

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

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

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

10. Витрату піску знайдемо з урахуванням втягнутого повітря:

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

Розрахунковий склад бетону: $C=368 \text{ кг/м}^3$; $B=180 \text{ кг/м}^3$; $Щ=1181 \text{ кг/м}^3$; $П=680 \text{ кг/м}^3$; $V_{п}=10 \text{ л/м}^3$.

Література

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Специальные бетоны: Москва: Инфра-Инженерия, 2012. – 368 с.
2. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Проектування складів бетонів. Монографія. – Рівне: НУВГП, 2015. – 358 с.
3. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Горячих М. В., Шмигальський В. М. Проектування і аналіз ефективності складів бетону. – Рівне, НУВГП, 2009. – 173 с.

Рецензенти:

Мішугін А.В., д-р техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури.
Солодкий С.Й., д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка".

Reviewers:

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci., Odessa State Academy of Construction and Architecture.
Solodky S.Yo., Dr. Tech. Sci., NU "Lviv Polytechnic".

Стаття надійшла до редакції: **21.08.2016 р.**