

УДК 691.32

ОСОБЛИВОСТІ ПІЩАНИХ ТА МАЛОЩЕБЕНЕВИХ ДОРОЖНИХ БЕТОНІВ

ОСОБЕННОСТИ ПЕСЧАНЫХ И МАЛОЩЕБЕНОЧНЫХ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ

ROAD CONCRETE WITH LOW CONTENT OF CRUSHED STONE

Кузло М. Т., д.т.н., проф., (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Кузло Н. Т., д.т.н., проф., (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Kuzlo M. T, doctor of technical sciences, professor., (National University of Water Management and Nature Resources, Rivne)

Розглянуті основні особливості, шляхи досягнення і регулювання властивостей дорожніх бетонів, які направлені на підвищення їх довговічності й ефективності

Рассмотрены основные особенности, пути достижения и регулирования свойств дорожных бетонов, направленных на повышение их долговечности и эффективности

The main features, achieving and controlling the properties of concrete road, aimed at increasing their efficiency and durability

Ключові слова:

дорожній бетон, суперпластифікатор, довговічність.
дорожный бетон, суперпластификатор, долговечность.
road concrete, superplasticizer, durability.

При будівництві доріг і аеродромів залежно від їх конструктивних особливостей, вимог до покриттів і основ, можливих для застосування вихідних матеріалів і технологій провадження робіт застосовують поряд зі звичайним важким дорожнім цементним бетоном й інші його різновиди [1...4].

У дорожньому будівництві найпоширеніші цементні бетони із крупністю заповнювача до 40 мм, які застосовують для влаштування як покриттів, так і основ автомобільних доріг і аеродромів (середньозернисті бетони).

Піщані бетони для будівництва покриттів і основ автомобільних доріг можуть бути ефективні в районах, де крупний заповнювач - щебінь або гравій є привізним і дорогим матеріалом. Вони мають ряд переваг перед звичайним важким бетоном - більшу однорідність, більш високе відношення міцності на розтяг при згині до міцності на стиск, більшу тріщиностійкість. Разом з тим, висока питома поверхня піщаного заповнювача в бетоні обумовлює підвищену витрату цементу, яка необхідна для заповнення міжзернових пор і створення достатньої обмазки цементного тіста. Зниження витрати цементу досягається вибором оптимального гранулометричного складу заповнювача, введенням активних мінеральних добавок і мікронаповнювачів, застосуванням суперпластифікаторів і ефективних способів ущільнення. Залежно від виду добавок змінюється їх оптимальний вміст у бетоні (рис.1).

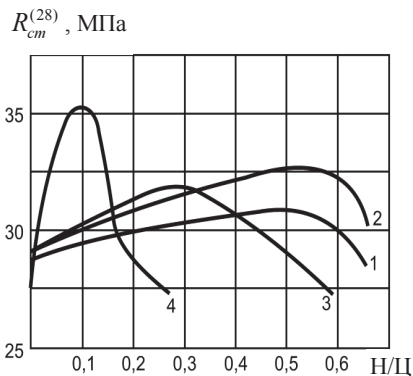


Рис.1. Залежність міцності піщаного бетону від ступеня наповнення мінеральними добавками (витрата цементу 430 кг/м³, Ц/В=2,0), наповнювач: 1 – зола Ладижинської ТЕС; 2 – мелений шлак; 3 – зола Бурштинської ТЕС; 4 – мікрокремнезем

Залежність міцності піщаного бетону від Ц/В за Ю.М.Баженовим можна представити у вигляді емпіричної формули:

$$R_{\sigma} = AR_{\sigma} \left(\frac{Ц}{В + V_{\text{зн}}} - 0,8 \right), \quad (1)$$

де А – коефіцієнт: для матеріалів високої якості А=0,8, середньої – 0,75 і низької – 0,65; V_{зн} – об'єм залученого повітря.

Для кожного складу піщаного бетону є оптимальне значення В/Ц, при якому забезпечуються найвищі значення міцності і густини (рис.2, б). Найбільша міцність досягається також при оптимальному співвідношенні між цементом і піском (Ц:П) (рис.2, а). Для такого співвідношення характерна найбільша густина бетонної суміші. При зменшенні Ц:П нижче оптимальних значень знижується легкоукладальність дрібнозернистих бетонних сумішей (рис.3), що ускладнює їх укладання, при збільшенні - зростає кількість надлишкової води в бетоні, що також призводить до зниження міцності.

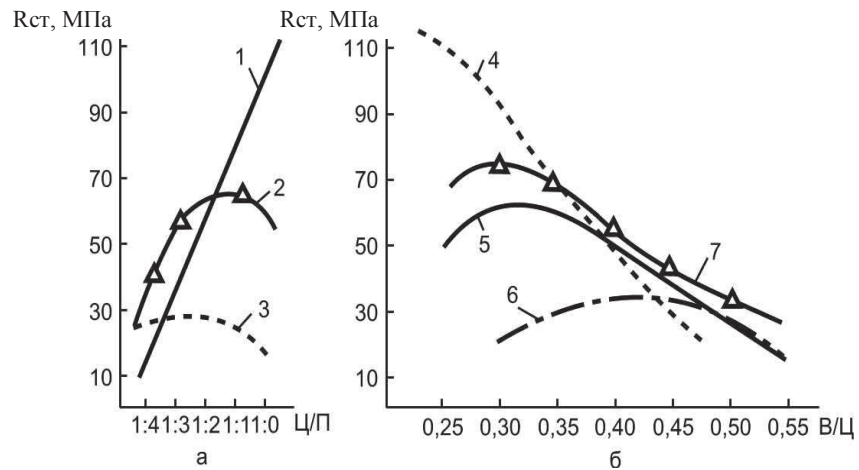


Рис.2. Залежність міцності піщаного бетону від його складу (а) і величини В/Ц (б):
 1– В/Ц=0,3; 2– В/Ц=0,4; 3– В/Ц=0,5; 4– Ц/П=1:0;
 5– Ц/П=1:2; 6– Ц/П=1:4; 7– звичайний бетон

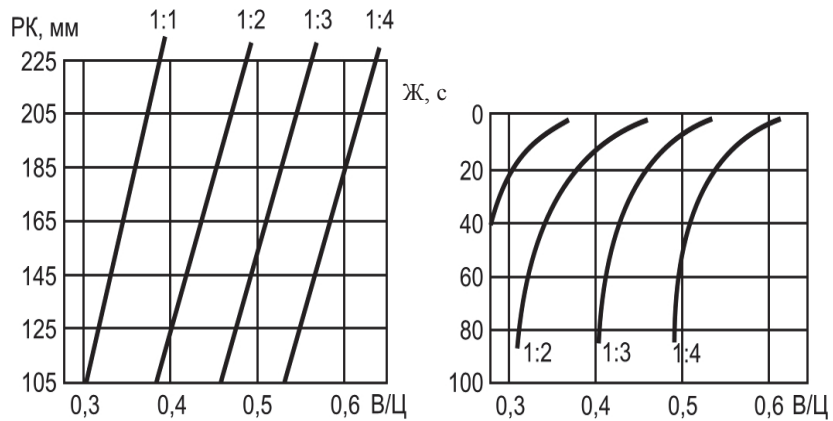


Рис. 3 Графіки для вибору співвідношення між цементом і піском середньої крупності (водопотреба 7%), яка забезпечує задані значення розпливу конуса (РК) і легкоукладальності (Ж) цементно-піщаних сумішей (за Ю.М.Баженовим)

Особливістю дрібнозернистих у тому числі і піщаних бетонних сумішей є підвищене повітровтягування. Апроксимація даних В.П. Сизова дає можливість для розрахунку об'єму залученого повітря запропонувати вирази:

$$\begin{aligned} V_{зп} &= 19,9 - 6,52 \ln(OK + 1), \\ V_{зп} &= 24,95 \ln(Ж + 1) - 8,3, \end{aligned} \quad (2)$$

де ОК і Ж – відповідно осадка конуса і жорсткість бетонної суміші.

Для сумішей, легкоукладальності яких не можна визначити звичайними методами (дуже жорсткі чи напівсухі (сипучі) суміші), а також для бетонних сумішей, які ущільнюються силовими способами, об'єм залишкового повітря залежить від параметрів і особливостей конкретного способу ущільнення. Наприклад, для сипучих бетонних сумішей, які ущільнюються вібропресуванням кількість залишкового (затисненого) повітря можна знайти по рис.4..

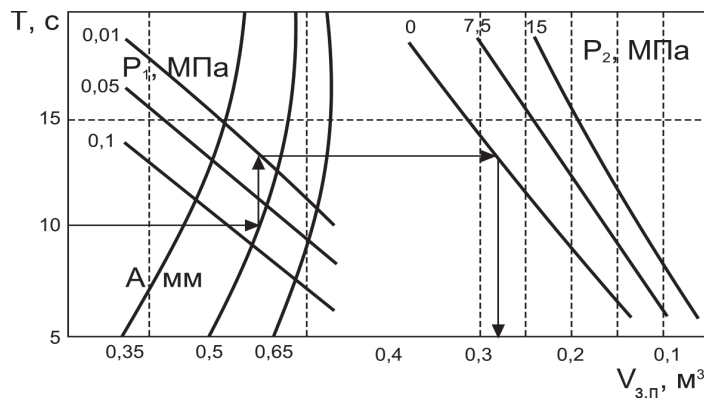


Рис.4. Номограма для визначення об'єму затисненого повітря ($V_{з.п.}$) у вібропресованому дрібнозернистому бетоні

A– амплітуда вібрування; T– тривалість вібрування;
 P_1 – величина динамічного привантаження; P_2 – тиск пресування

Численні експериментальні дані показують, що на міцність піщаного бетону при стиску, окрім Ц/В, активності цементу і якості заповнювача, впливає багато інших факторів, таких як легкоукладальність суміші, умови тверднення бетону, наявність і кількість активних мінеральних добавок і т.д. Поряд із цим значний вплив на властивості піщаного бетону чинить також і спосіб ущільнення суміші.

Якість заповнювача позначається на основних властивостях піщаних бетонів у більшій мірі, ніж для звичайних важких бетонів. Заміна в піщаному бетоні крупного піску дрібним може зменшувати міцність на 25...30% і більше. Як при оптимальних В/Ц, так і при однаковій легкоукладальності суміші при застосуванні піску середньої крупності найбільш економічні склади, що забезпечують мінімальне відношення витрати цементу до міцності бетону досягаються при Ц:П=1:2...1:3. При переході на

дрібнозернисті піски оптимальними є склади 1:1...1:1,5.

При заданому В/Ц співвідношення між піском певної водопотреби і цементом (П:Ц=n) однозначно визначається показником легкоукладальності суміші.

Рухомість піщаних бетонів вимірюють трьома методами: за осадкою стандартного конуса, глибиною занурення т.зв. еталонного конуса і розпливом конуса на струшуючому столику. Показники, вимірювання зазначеними методами взаємозалежні (табл.1). Цементно-піщана суміш, що має однакову осадку конуса порівняно зі звичайною бетонною сумішшю, ущільнюється краще і швидше.

Відомі значення В/Ц і n на основі рівняння матеріального балансу (суми абсолютних об'ємів) дають можливість легко знайти витрати всіх компонентів дрібнозернистої бетонної суміші:

$$Ц = \frac{1 - V_{зп}}{1/\rho_c + B/Ц + n/\rho_n}, \quad (3)$$

$$B = Ц \cdot V/Ц, \quad (4)$$

$$П = nЦ. \quad (5)$$

У наведених формулах $V_{зп}$ – об'єм залученого повітря; ρ_c і ρ_n – густина цементу і піску в $кг/м^3$.

Таблиця 1

Рухомість дрібнозернистих бетонних сумішей,
визначена різними методами

Осадка стандартного конуса, см	Глибина занурення еталонного конуса, см	Розплив конуса 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

Витрату піску в піщаних бетонних сумішах можна розраховувати також на основі уявлень про заповнення цементним тістом об'єму пор між зернами піску з врахуванням їх необхідного розсунення. У цьому випадку витрату піску можна знайти рішенням системи рівнянь:

$$\frac{Ц}{\rho_c} + \frac{П}{\rho_n} + B + V_{зп} = 1, \quad (6)$$

$$\frac{Ц}{\rho_c} + B = \alpha_{ц,т} P_n \frac{П}{\rho_{н,г}}. \quad (7)$$

де $\rho_{н.п}$ – насипна густина піску, кг/м^3 ; P_n – пустотність піску; $\alpha_{ц.т}$ – коефіцієнт заповнення порожнин і розсунення зерен піску цементним тістом.

Звідки:

$$\Pi = \frac{\rho_n \rho_{н.п} (1 - V_{зп})}{\rho_{н.г} + \alpha_{ц.т} P_n} \quad (8)$$

За експериментальними даними В.П. Сизова коефіцієнт $\alpha_{ц.т}$ залежить від показників легкоукладальності піщаних бетонних сумішей, величини Ц/В, модуля крупності піску та нормальної густоти цементного тіста.

Для піщаних бетонів з активних мінеральних добавок найбільше практичне значення мають кам'яновугільні золи ТЕС, особливо в комплексі з добавками суперпластифікаторів. Введення в бетонну суміш золи, на відміну від інших активних мінеральних добавок, зазвичай не погіршує, а в ряді випадків покращує легкоукладальність. Уже першими дослідниками було встановлено, що залежність рухомості бетонної суміші від вмісту в суміші золи має екстремальний характер і оптимальний вміст її повинен бути не більше 30% маси цементу. На пластифікуючий ефект золи впливає форма, стан поверхні частинок, їх дисперсність. Легкоукладальність бетонної суміші покращується при введенні золи за рахунок скловидної поверхні її частинок, які зменшують внутрішню тертя і знижують в'язкість. Ряд дослідників вважають, що кулеподібні частинки золи можуть розглядатися як тверді "шарикопідшипники" у суміші, аналогічно тому, як пухирці емульгированого повітря при використанні повітровтягувальних добавок виконують пластифікуючу дію на бетонну суміш і є своєрідними повітряними "шарикопідшипниками". Більші фракції золи містять більшу кількість незгорілих вуглецевих частинок, що мають підвищене водопоглинення, і частинок неправильної форми. Тому водопотреба бетонних сумішей при використанні золи підвищеної дисперсності суттєво знижується.

Підвищення дисперсності золи і зниження її водопотреби може бути досягнуто шляхом відбору із останніх полів електрофільтрів чи помелом, що руйнує органо-мінеральні агрегати, які входять до складу золи-виносу.

Бетонні суміші з оптимальною добавкою золи мають досить високу "життєздатність" і придатні для транспортування на далекі відстані.

Вплив золи на міцність піщаного також як і інших видів бетону залежить від її властивостей і дисперсності, вмісту і хіміко-мінералогічного складу цементу, віку й умов обробки бетону.

Особливості структури відображаються на деформативних властивостях піщаних бетонів. Вони мають модуль пружності на 20...30% нижчий ніж у звичайного бетону, більш високі значення усадки і повзучості. Деформативність і повзучість можуть бути значно знижені за рахунок підвищення жорсткості бетонних сумішей, застосування силових методів ущільнення.

Освоєно різні технології отримання піщаних бетонів і виробів на їх основі з покращеними властивостями, які включають домел цементу, спільний домел цементу з піском, застосування віброзмішувачів і струминневих змішувачів, використання методів інтенсивного ущільнення – віброштампування, вібропресування, напівсухого пресування, роликового формування і т.д. Покращення фізико-механічних властивостей піщаних бетонів досягається при частковій або повній заміні піску гранульованими доменними шлаками, що мають високе зчеплення із цементним каменем. Розроблено технологію дрібнозернистого шлакобетону класів В25...В80 із густиною 1800...2300кг/м³.

Міцнісні показники піщаного бетону в дорожньому будівництві встановлюються залежно від його призначення (табл.2).

Таблиця 2

Міцнісні показники дорожнього піщаного бетону

Призначення бетону	Класи бетону за міцністю не менше	
	на розтяг при згині (В _ф)	на стиск (В)
Для одношарових і верхнього шару двошарових покриттів	4,0, 4,4 3,6	30 25
Для нижнього шару двошарових покриттів	2,8 3,2 3,6	20
Для основ удосконалених капітальних покриттів	2,4 2,8 1,6 1,8	12,5 7,5

В якості заповнювача для піщаного дорожнього бетону рекомендуються природні кварцові або кварцово-полевошпатові піски, які відповідають вимогам діючих стандартів і характеризуються модулем крупності та повним залишком на ситі №063 для покриттів і основ не менше відповідно 2,5 і 50%; 2,0 і 30%. При техніко-економічному обґрунтуванні допускається застосування для покриттів середніх пісків, а для основ - дрібних. В якості укрупнювальної добавки можуть застосовуватися подрібнені піски фракції 1,25...5 мм марки 800 і вище для покриттів і не нижче 400 для основ.

Обов'язковими умовами, що забезпечують необхідну якість дорожнього піщаного бетону, є введення в суміш добавок ПАР, приготування в змішувачах примусової дії.

До малощебневих бетонів відносяться бетони з коефіцієнтом розсунення зерен щебеню розчином більше 1,7...1,9. За технологічними властивостями і техніко-економічними показниками найбільш ефективні малощебневі бетони зі вмістом щебеню 800...900 кг/м³ (коефіцієнт розсунення близько 2,5...2,8). За своєю структурою і складом малощебневі бетони займають проміжне положення між звичайними та піщаними бетонами.

Для малощебневих бетонів характерні: підвищена седиментаційна стійкість, висока водоутримувальна здатність і легкооброблюваність (опоряджувальність) бетонних сумішей, підвищена стійкість крайок і бічних граней свіжовідформованої бетонної плити після проходження ковзного опалублення. У порівнянні зі звичайними бетонами рівними за міцністю при стиску вони мають підвищену міцність при розтягу і розтягу при згині.

Разом з тим для малощебневих бетонів характерні підвищена усадка і повзучість. Вони характеризуються підвищеною витратою цементу в порівнянні зі звичайними важкими бетонами. Також як і для піщаних бетонів зменшення витрати цементу і покращення усього комплексу технічних властивостей для малощебневих бетонів досягається застосуванням активних мінеральних добавок, добавок ПАР та інших модифікуючих добавок.

1. Дворкин Л.И., Макаренко Р.М., Кизима В.Р. Цементно-зольные бетоны с добавками полифункциональных модификаторов (ПФМ) для покрытия полов промышленных и гражданских зданий. Рівне: УДУВГП, 2002, 123 с. **2.** Солодкий С.Й. Інноваційні матеріали і технології для будівництва та ремонту дорожніх одягів автомобільних доріг: навч. Посібник / С.Й. Солодкий . - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. - 140 с.. **3.** Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Проектування складів бетонів. Монографія. – Рівне: НУВГП, 2015. – 358 с **4.** Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Специальные бетоны: Москва: Инфра-Инженерия, 2012. – 368 м..