

**ПОРІВНЯННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНІВ ЖОРСТКИХ ДОРОЖНИХ
ПОКРИТТІВ НА РІЗНИХ ТИПАХ ЗАПОВНЮВАЧА**

**СРАВНЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ
ПОКРЫТИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЗАПОЛНИТЕЛЯ**

**COMPARISON PROPERTIES OF CONCRETE PAVEMENT ON
DIFFERENT TYPES OF FILLER**

**Мішутін А.В., д.т.н., проф., Кровяков С.О., к.т.н., доц., Полторапавлов
А.О., асп. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)**

**Мишутин А.В., д.т.н., проф., Кровяков С.А., к.т.н., доц., Полторапавлов
А.А., асп. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса)**

**Mishutin A.V., doctor of technical sciences, professor, Kroviakov S.O., Ph.D.,
associate professor, Poltorapavlov A.O. (Odessa state academy of civil
engineering and architecture)**

**Досліджено ефективність бетонів дорожніх покриттів на вапняковому і
гранітному щебені. Встановлено, що міцність на розтягування і
морозостійкість бетону на вапняком щебені не нижче, ніж бетону на
гранітному щебені. Показано, що бетон на вапняковому щебені може
бути ефективно використаний в нижніх шарах двохшарових покриттів.**

**Исследована эффективность бетонов дорожных покрытий на известня-
ковом и гранитном щебне. Установлено, что прочность на растяжение и
морозостойкость бетона на известняком щебне не ниже, чем бетона на
гранитном щебне. Показано, что бетон на известняковом щебне может быть
эффективно использован в нижних слоях двухслойных покрытий.**

**The efficiency of limestone gravel for concrete pavements was investigated.
Properties of concrete on the limestone and granite rubble were compared.
Tensile strength and frost-resistance of concrete on limestone is not lower
than the concrete on granite rubble. It was established that limestone concrete
rubble can be used effectively in lower double-layer of pavement.**

Ключові слова:

**Покриття, щебінь, вапняк, граніт, фібра, міцність, морозостійкість,
стиранність, моделювання.**

Покрытие, щебень, известняк, гранит, фибра, прочность, морозостойкость, истираемость, моделирование.

Cover, gravel, limestone, granite, fiber, strength, frost-resistance, abrasability, modeling.

Вступ. При будівництві більшості транспортних споруд, а також при влаштуванні жорстких дорожніх покриттів, використовується важкий бетон на гранітному щебені та кварцовому піску. Проте в багатьох випадках ефективнішим можна вважати застосування бетонів на місцевих пористих заповнювачах. Подібні бетони мають достатню конструкційну міцність при високій довговічності та порівняно низькій вартості.

Для півдня України найбільш поширеним заповнювачем є вапняк (карбонат). Бетони на вапнякових заповнювачах досить широко застосовувалися у 50-70-е роки минулого століття, але в сучасному транспортному будівництві нашої країни практично не використовуються. При цьому з розвитком будівельних технологій відкривається перспектива отримання енергоефективних і довговічних бетонів на місцевих пористих заповнювачах, що забезпечують необхідну конструктивну міцність [1].

Аналіз останніх досліджень. Карбонатні породи становлять 19-22% по масі від всіх осадових утворень планети. Вони відомі у відкладеннях різного віку, потужність карбонатних пластів може досягати сотень метрів [2]. Частка карбонатних порід (вапняки, мармури, доломіт), що переробляються на щебінь, становить близько 60% [3].

У багатьох дослідженнях показані високі механічні властивості бетонів на карбонатних заповнювачах. При використанні пористих порід позитивний вплив заповнювачів частіше всього пояснюється процесами самовакуумування його зерен [4]. Пористі зерна відіграють роль своєрідних «насосів», які забирають воду з цементного тіста, в результаті чого бетон ущільнюється. При подальшому твердінні бетону волога, що акумульована зернами заповнювача, знову віддається з заповнювача і покращує процес гідратації цементу. Завдяки самовакуумуванню бетон на пористому заповнювачі також менш схильний до седиментаційних процесів (в порівнянні в традиційними бетонами на гранітному щебені). Є данні, що самовакуумування підвищує хімічну стійкість бетонів, завдяки чому для конструкцій, підданих агресивного впливу, рекомендується застосовувати заповнювачі з великим капілярним водопоглинанням [5]. Є досвід отримання бетонів міцністю до 60 МПа на основі вапнякових заповнювачів [6], а міцність композиту для таких матеріалів може відчутно перевищувати міцність крупного заповнювача. У роботу [7] при використанні низькоміцних вапняків і витраті цементу від 250 до 450 кг/м³ були отримані бетони з міцністю при стиску від 25 до 45 МПа. При цьому всі матеріали показали високу водостійкість, в межах 0.98-1.0.

ДСТУ Б В.2.7-92-99 «Суміші бетонні і цементобетони дорожні на вапнякових заповнювачах» вводять окреме визначення «карбонатний цементобетон» – штучний конгломератний матеріал, який отримано з раціонально підбраної суміші, котра ущільнена та затверділа і складається з вапнякового мінерального кістяка, що зцементований у моноліт з цементом і водою, часто з спеціальними добавками. Згідно ДСТУ Б В.2.7-92-99 бетонні суміші на вапняках малої міцності можуть застосовуватися у нижніх шарах покриття або верхніх шарах покриттів IV-V категорій та внутрішньогосподарських доріг. Проте в якості дрібного заповнювача в «карбонатному цементобетоні» стандарт передбачає використання карбонатного піску або піску з відходів пиляння вапняків-черепашників і відсівів дрібнення вапняків. При використанні кварцових пісків в поєднанні з карбонатним (вапняковим) крупним заповнювачем галузь використання подібним бетонів може бути значно розширена.

Мета і задачі досліджень. Метою проведених досліджень було отримання бетону жорстких дорожніх покриттів на вапняковому заповнювачі із заданими експлуатаційними властивостями та підвищеною довговічністю.

Для досягнення поставленої мети необхідно дослідити властивості бетонів жорстких дорожніх покриттів на різних типах заповнювачів (вапняк і граніт) і провести їх порівняння.

Методика досліджень. Для порівняння всі експерименти проводилися на двох аналогічних серіях бетонів: на вапняковому та гранітному щебені. Застосовувався вапняковий щебінь фракції 5-20 мм з насипною щільністю 1180 кг/м³ (с. Грабово, Одеська область), а також аналогічних за гранулометриєю гранітний щебінь з насипною щільністю 1360 кг/м³. Економічна доцільність даних досліджень пояснюється відносною дешевизною і близькістю доставці місцевого заповнювача.

Проводився 2-х факторний експеримент за 9-ти точковим оптимальним планом [8]. Варіювалися наступні фактори складу бетону:

X₁ – кількість портландцементу, від 300 до 500 кг/м³;

X₂ – кількість поліпропіленової фібри Ваусон (діаметр волокон 18.7 мкм, довжина – 12 мм), від 0 до 1 кг/м³.

Всі суміші були пластифіковані суперпластифікатором С-3 в кількості 0.8% від маси цементу. Досліджені бетонні суміші (в обох серіях) мали рівну рухливість ОК = 2 ± 0.5 см, що досягалося підбором кількості води. Тобто всі бетонні суміші мали рівну технологічність, що гарантувало коректність порівняння властивостей бетонів на різних заповнювачах.

Результати досліджень. Завдяки умов експерименту водопотреба бетонних сумішей залежала від їх складу [9]. Аналіз показав, що найменше В/Ц в обох серіях мають суміші з максимальною кількістю портландцементу і без фібри. При використанні карбонатного щебеню водопотреба і відповідно В/Ц сумішей є дещо вищою, що пояснюється поглинанням води крупним заповнювачем. В цілому, за рахунок застосування

суперпластифікатору С-3 всі досліджені суміші мали досить низькі показники В/Ц (від 0.34 до 0.49 для складів на вапняковому щебені та від 0.32 до 0.46 – на гранітному).

Середня щільність бетонів на вапняковому щебені коливалася від 2270 до 2300 кг/м³, аналогічних складів на гранітному щебені – від 2380 до 2400 кг/м³. Тобто при використанні карбонатного заповнювача з щільних порід вапняку об'ємна маса бетону дорожнього покриття несуттєво відрізняється від об'ємної маси «традиційного» важкого бетону на гранітному щебені.

Проведені дослідження механічних властивостей бетонів показали, що кількість поліпропіленової фібри не впливає на міцність матеріалів при стиску. Відповідно на рис.1 показано вплив кількості портландцементу на міцність бетонів жорстких дорожніх покриттів. Як видно з діаграм, міцність при стиску бетонів на карбонатному щебені була дещо нижчою, ніж на гранітному щебені. Проте по мірі збільшення кількості цементу ця різниця знижується і при кількості в'язучого 450-500 кг/м³ вона не перевищує 1.5 МПа, тобто 3..4%. Цей факт можна пояснити, по-перше, кращою роботою пористого заповнювача у «жирних» сумішах з великою кількістю цементу. По-друге, при зростанні кількості в'язучого згідно з принципами підбору складу бетонів дещо знижується частка крупного заповнювача в суміші і зростає розсунення його зерен.

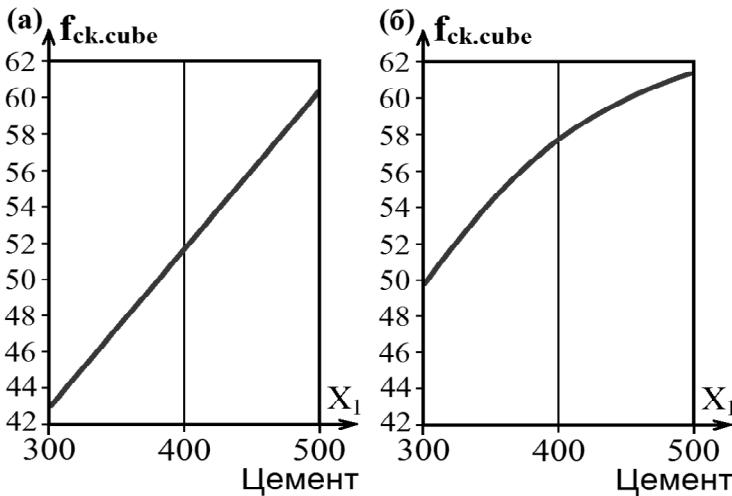


Рис1. Вплив кількості портландцементу на міцність бетонів при стиску; а – склади на карбонатному щебені, б – склади на гранітному щебені

Проте відомо, що для дорожніх покриттів міцність при стиску не є основним показником якості матеріалу. Найважливішою характеристикою для них є міцність на розтяг при згині, так як вона враховується в основних

розрахунках. При виконанні стандартного розрахунку дорожнього одягу жорсткого типу задається клас бетону по міцності на стиск, однак відповідно до класу приймається показник міцності на розтяг при згині.

Побудовані за відповідними експериментально-статистичними (ЕС) моделями діаграми, що відображають вплив факторів, що варіювалися, на міцність бетону на розтяг при згині, показані на рис.2. Аналіз діаграм дозволяє сказати, що міцність досліджених бетонів на розтяг при згині несуттєво залежить від виду застосованого щебеню. Цей ефект можна пояснити тим, що вапняк є доволі пористим заповнювачем, через що, як зазначалося вище, проявляє незначний ефект «самовакумування». Тобто адгезія між розчинною частиною бетону і заповнювачем значно покращується, що в першу чергу відображається на величині міцності на розтяг. Найбільшу міцність мають бетони, в яких введено 0.8-0.9 кг/м³ дисперсного волокна. Більше дозування фібри вже не ефективне, що можна пояснити подвійним ефектом при її застосуванні. З одного боку, вводиться дисперсна арматура, що покращую здатність матеріалу опиратися розтягуючим напруженням, в іншого – фібра декілька підвищує В/Ц суміші. У цілому, за рахунок введення фібри міцність бетонів зростає на 0.4-0.9 МПа для складів на гранітному щебені та на 0.3-0.4 МПа для складів на карбонатному щебені.

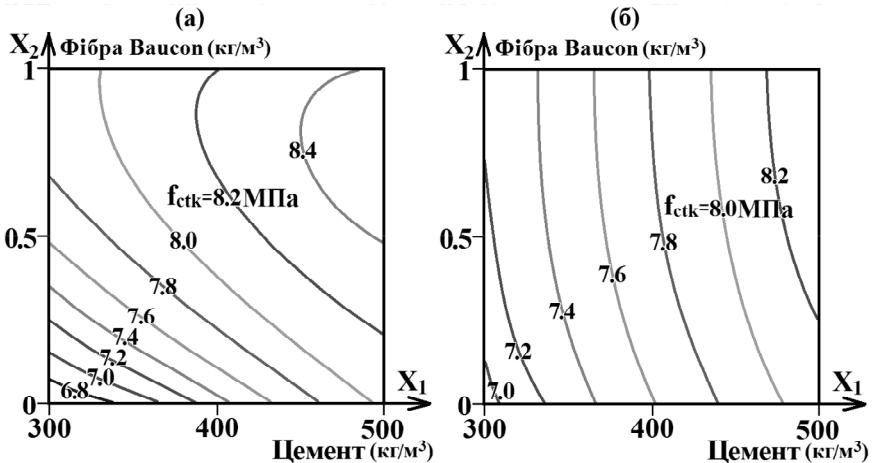


Рис.2. Вплив варійованих факторів складу на міцність бетонів на розтяг при згині; а – склади на карбонатному щебені, б – склади на гранітному щебені

Зносостійкість є важливим показником якості для бетонів верхніх шарів дорожніх покриттів, тому що в значній мірі визначає їх довговічність. Вплив варійованих факторів на стиранність (зносостійкість) бетонів на різних типах щебеню описують наведені нижче ЕС-моделі (індекс «к» – карбонатний щебінь, індекс «г» – гранітний щебінь):

$$G_{1,к} (\text{г/см}^2) = 0.290 - 0.020x_1 \pm 0x_1^2 \pm 0x_1x_2 - 0.030x_2 + 0.010x_2^2 \quad (1)$$

$$G_{1,г} (\text{г/см}^2) = 0.249 - 0.008x_1 + 0.002x_1^2 - 0.003x_1x_2 - 0.022x_2 + 0.012x_2^2 \quad (2)$$

Побудовані за ЕС-моделями (1) і (2) діаграми показані на рис.3. Їх аналіз дозволяє сказати, що збільшення кількості цементу і введення поліпропіленової фібри знижує стиранність бетону дорожнього покриття. При цьому для бетонів на вапняковому щебені діапазон зміни величини G_1 значно вище, ніж для бетонів на гранітному щебені. Дисперсне армування знижує стиранність бетонів як на гранітному, так і карбонатному щебені приблизно з рівною ефективністю. В цілому стиранність бетонів на карбонатному заповнювачі була вищою, ніж аналогічних важких бетонів. Проте при підвищенні кількості цементу ($450-500 \text{ кг/м}^3$) і введенні більше 0.5 кг/м^3 фібри показники стиранності бетону на пористому заповнювачі відрізняються від стиранності «контрольного» бетону на гранітному щебені не більше, ніж на 10-15%.

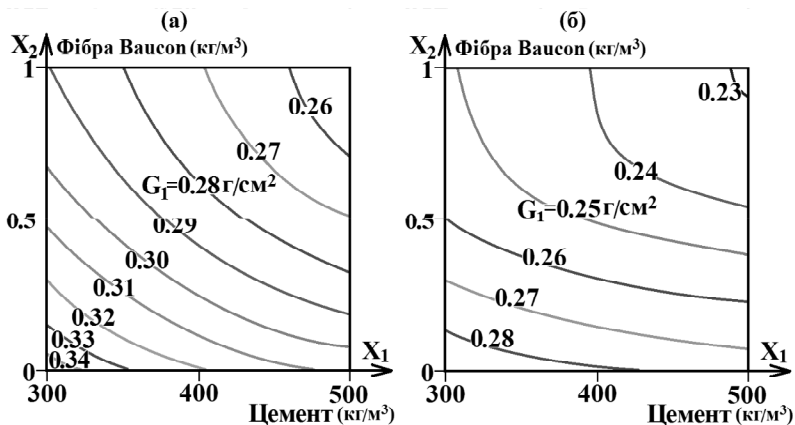


Рис.3. Вплив варійованих факторів складу на стиранність бетонів;
а – склади на карбонатному щебені, б – склади на гранітному щебені

Одним з головних показників якості, який обумовлює довговічність конструкцій транспортних споруд і дорожніх покриттів в кліматичних умовах України є морозостійкість бетону. Проведені дослідження дозволили встановити, що під дією 200 циклів циклічного заморожування і відтаювання втрати маси бетонів на пористому заповнювачі майже не відбувається, а зниження міцності становить до 15%. Аналогічні за складом бетони на гранітному щебені в умовах заморожування і відтаювання втрачають масу швидше, а міцність дещо повільніше. Ці данні кореспондуються зі зробленим у роботі [10] висновкам щодо можливості підвищення морозостійкість

бетону при введенні пористого карбонатного заповнювача. За рахунок дисперсного армування морозостійкість бетонів додатково підвищується приблизно на 50 циклів. Також, як відомо, фібробетони мають високу ударостійкість, тобто стійкість до динамічних навантажень [11], що важливо для дорожніх покриттів.

Висновки. Бетони на вапняковому щебені мають перспективу ефективного використання в нижніх шарах двошарових дорожніх покриттів, в тому числі, з асфальтобетонним шаром зносу. При такій конструкції данні матеріали можна використовувати на дорогах 1-3 категорій. Також подібні бетони можуть бути використані в одношарових покриттях на ділянках, що піддаються значним навантаженням, проте не мають інтенсивного руху, який викликає зношення покриття.

На сьогодні залишається актуальним питання вивчення впливу гранулометрії та раціональної концентрації (співвідношення) вапнякових заповнювачів, як крупних, так і дрібних, на властивості бетонів. Як показано в дослідженнях, підвищене водопоглинання заповнювача має як негативні, так і позитивні сторони. Тому викликає науковий інтерес дослідження можливості покращення ефективності застосування вапняків за рахунок використання гідрофобізаторів або інших поверхнево-активних модифікаторів, що регулюють водопоглинання пористих заповнювачів.

1. Шелихов Н.С. Комплексное использование карбонатного сырья для производства строительных материалов / Н.С. Шелихов, Р.З. Рахимов // Строительные материалы. 2006, № 9. – С. 42-44. 2. Мала гірнича енциклопедія, т. 1 / За редакцією В.С.Білецького. – Донецьк: Донбас, 2004. — 640 с. 3. Зозуля П.В. Карбонатные породы как заполнители и наполнители, в цементах, цементных растворах и бетонах / Зозуля П.В. - Гипроцемент-наука. [Электрон. ресурс]. - Режим доступа: <http://www.giprocement.ru/about/articles.html/p=25>. 4. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов / М.З. Симонов - М.: Стройиздат, 1973. – 584 с. 5. Хохрин Н.К. Парадигмы долговечности легкого бетона/ Н.К. Хохрин. – Самара : СамИИТ, 2000. – 181 с. 6. Маилян Р.Л. Исследование бетона и железобетона на пористых карбонатных заполнителях / Р.Л. Маилян. – Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н по спец. 05.23.05 - Тбилиси, 1970. – 24 с. 7. Черепов В.Д. Бетон на основе низкопрочных карбонатных пород / В.Д. Черепов, Н.П. Коршунова – Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования», 2013, №2 [Электрон. ресурс]. - Режим доступа: <http://www.science-education.ru/108-8676> 8. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с. 9. Мішутін А.В. Застосування вапнякового щебеню для бетонів жорстких дорожніх покриттів / А.В. Мішутін, С.О. Кровяков, А.О. Полторапавлов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. №58 – Одеса; Зовнішрекламсервіс, 2015. – С.250-255. 10. Гордеев А.А. Бетон на карбонатных заполнителях / А.А. Гордеев – Ставрополь-на-Волге: ВНИИНеруд, НТС №8, 1962.- С.19-32. 11. Выровой В.Н. Бетон в условиях ударных воздействий / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, С.Б. Фиц. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с.