

**МІЦНІСТЬ ФІБРОБЕТОНІВ ЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ
У РІЗНОМУ ВІЦІ**

Мішутін А.В., д.т.н., професор,
mishutin52@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9512-6084

Кінтя Л., аспірант

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Анотація. Досліджено міцність модифікованих бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів у віці 3-х і 28-ми діб. За оптимальним планом проведено 4-х факторний експеримент. У якості модифікаторів для бетону використано добавку комплексної дії полікарбосилатного типу Coral ExpertSuid-5 і метакаолін. Встановлено, що модифіковані метакаоліном у кількості 20-25 кг/м³ бетони з підвищеною до 0,9% кількістю добавки комплексної дії мають високу міцність при стиску у віці 3-х діб, від 42 до 50 МПа, а також міцність у віці 28-ми діб від 60 до 70 МПа. За рахунок використання модифікаторів і фібри міцність досліджених бетонів на розтяг при згині у віці 3-х діб досягає 6,8 МПа, у віці 28-ми діб – 9,3 МПа. Висока рання міцність модифікованих бетонів дозволяє розпочинати експлуатацію доріг з цементобетонними покриттями у більш короткі терміни.

Ключові слова: Дорожнє покриття, цементобетон, міцність, модифікатори, фібра, метакаолін.

Вступ. Стратегія розвитку транспортної інфраструктури України передбачає збільшення частки доріг з жорстким цементобетонним покриттям. Жорсткі дорожні покриття мають багато експлуатаційних переваг, основними з яких є висока довговічність та відсутність колійності. Але при влаштуванні покриттів з цементобетону починати їх експлуатацію можна лише після набору бетоном проектної міцності, що потребує відносно тривалого твердіння матеріалу. Відповідно актуальною є задача розробки бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів з підвищеною ранньою міцністю. Вирішити цю задачу можливо за рахунок застосування комплексних модифікаторів: хімічних добавок, що мають пластифікуючий і прискорюючий ефект, а також активних мінеральних добавок.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Жорсткі цементобетонні покриття відрізняються високими експлуатаційними властивостями та при забезпеченні необхідної якості бетону мають високу довговічність [1, 2]. У розвинутих країнах світу частка доріг з цементобетонними покриттями зростає рік від року. Сучасна економічна ситуація в Україні, зокрема необхідність імпортувати бітум, сприяє більш широкому використанню цементобетонів при влаштуванні дорожніх покриттів [3].

На сучасному етапі розвитку будівельних технологій найбільш ефективним методом забезпечення необхідної міцності і довговічності бетонів жорстких дорожніх покриттів є застосування ефективних модифікаторів, зокрема суперпластифікаторів полікарбосилатного типу [1, 4]. Використання суперпластифікаторів в комплексі з активними мінеральними добавками пуцоланового типу дозволяє досягати найбільшого ефекту у вирішенні завдання забезпечення як ранньої, так і проектної міцності бетону, що важливо для дорожніх покриттів з позиції термінів початку їх експлуатації [1, 5]. На сьогодні найбільш доступною і одночасно достатньо якісною добавкою пуцоланового типу на ринку України є метакаолін [5].

Для дорожніх покриттів крім міцності при стиску важливими показниками якості є міцність на розтяг при згині, яка саме і забезпечує функціональну придатність бетону в умовах робочих навантажень на дорожній одяг, а також морозостійкість і зносостійкість бетону, які в значній мірі забезпечують довговічність покриття. Суттєво підвищити зазначені фізико-механічні показники дозволяє застосування дисперсного армування бетону [5]. При цьому з врахуванням інтенсивного впливу на дорожні покриття атмосферних факторів одночасно з

механічним зносом необхідно використовувати стійку до корозії фібру, зокрема поліпропіленову [5, 6]. Таким чином, завдання забезпечення довговічності та міцності бетонів жорстких дорожніх покриттів, з врахуванням їх ранньої міцності, може бути вирішено за рахунок використання комплексних модифікаторів і дисперсного армування [6, 7].

Мета роботи. Вивчення впливу дисперсного армування, хімічної добавки, що поєднує властивості суперпластифікатора і прискорювача твердіння, а також метакаоліна як активної мінеральної добавки на міцність бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів у різному віці.

Об'єкти та методи дослідження. Дослідження міцності бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів проводилися з використанням методів планування експерименту [8]. За 18-ти точковим оптимальним планом проводився 4-х факторний експеримент, в якому варіювалися наступні фактори складу бетону:

- X_1 , кількість портландцементу ПЦ ІІ/А-Ш-500 (філія «ЮГЦемент», ПАТ «Дікергофф Цемент Україна»), від 400 до 500 кг/м³;
- X_2 , кількість поліпропіленової фібри (довжина 12 мм, діаметр 20 мкм), від 0 до 2 кг/м³;
- X_3 , кількість метакаоліну (продукт випалу збагачених каолінових глин), від 0 до 30 кг/м³;
- X_4 , кількість добавки комплексної дії на основі полімерів карбонових кислот і ефірів (полікарбоксилатного типу) Coral ExpertSuid-5, від 0,6 до 1% від маси цементу.

У якості заповнювачів для бетону використовувався щебінь фракції 5-10 мм і кварцовий пісок з модулем крупності 2,7.

Результати досліджень. Всі суміші досліджених бетонів і фібробетонів мали рівну рухомість Р2 (ОК від 6 до 8 см), відповідно їх В/Ц залежало від складу. Експериментально-статистична (ЕС) модель [8, 9], яка описує вплив варійованих факторів на В/Ц суміші, має вигляд:

$$\begin{aligned} \text{В/Ц} = & 0,403 - 0,043x_1 + 0,015x_1^2 - 0,010x_1x_2 \pm 0x_1x_3 \pm 0x_1x_4 \\ & + 0,021x_2 - 0,013x_2^2 - 0,008x_2x_3 + 0,004x_2x_4 \\ & + 0,009x_3 \pm 0x_3^2 - 0,010x_3x_4 \\ & - 0,018x_4 + 0,009x_4^2 \end{aligned} \quad (1)$$

За даною ЕС-моделлю були побудовані показані на рис.1 однофакторні діаграми, що відображають вплив варійованих факторів складу на В/Ц сумішей в зонах екстремумів, тобто проходять через максимальне і мінімальне значення показника [8, 9]. При побудові даних графіків рівні трьох не відображених на кожному з них факторів фіксувалися на значеннях, що забезпечують відповідно максимальне і мінімальне В/Ц суміші.

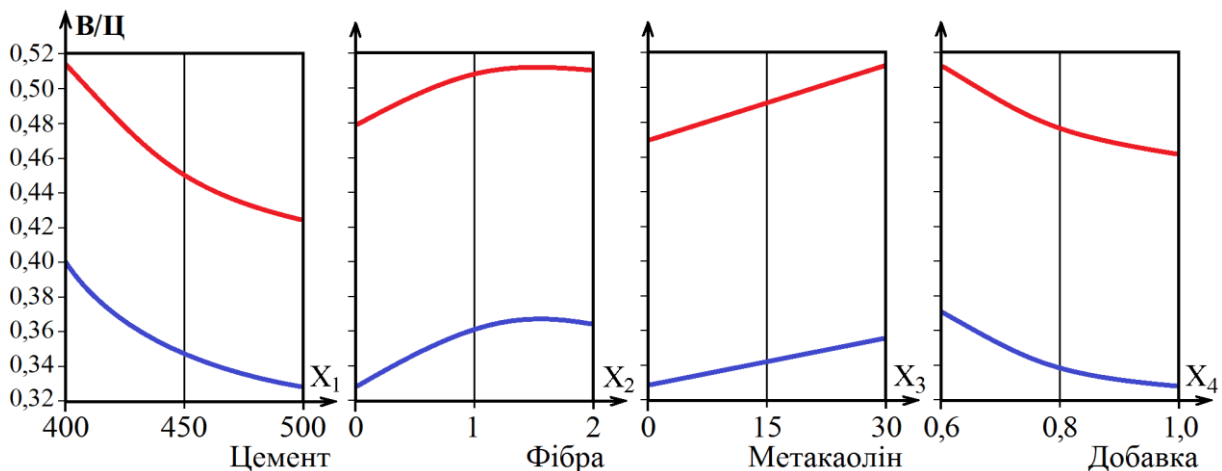


Рис. 1. Вплив варійованих факторів складу на В/Ц бетонних сумішей рівної рухомості в зонах екстремумів

Аналіз наведених на рис. 1 діаграм показує, що при підвищенні кількості портландцементу В/Ц сумішей очікувано знижується. Введення поліпропіленової фібри викликає необхідність підвищення В/Ц для збереження необхідної рухомості суміші. За рахунок додаткової водопотреби метакаоліну при введенні даної активної мінеральної добавки В/Ц суміші також зростає. Підвищення кількості добавки Coral ExpertSuid-5 з 0,6 до 0,8% від маси цементу відчутно знижує В/Ц. Зростання кількості даної добавки комплексної дії до 1% викликає подальше, але менш відчутне, зниження В/Ц.

ЕС-моделі, що описують вплив варійованих факторів складу на міцність при стиску досліджених бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів у віці 3-х діб ($f_{ck.cube.3}$) і 28-ми діб ($f_{ck.cube}$), мають вигляд:

$$f_{ck.cube.3}(\text{МПа}) = 40,9 + 5,8x_1 - 1,7x_1^2 + 0,8x_1x_2 \pm 0x_1x_3 \pm 0x_1x_4 - 0,4x_2 + 0,9x_2^2 \pm 0x_2x_3 - 0,6x_2x_4 + 2,1x_3 - 0,8x_3^2 + 1,0x_3x_4 + 3,0x_4 - 1,1x_4^2 \quad (2)$$

$$f_{ck.cube}(\text{МПа}) = 59,4 + 5,9x_1 - 2,4x_1^2 + 1,1x_1x_2 \pm 0x_1x_3 + 1,1x_1x_4 - 2,0x_2 + 2,4x_2^2 \pm 0x_2x_3 - 1,0x_2x_4 + 1,6x_3 - 3,1x_3^2 \pm 0x_3x_4 + 1,5x_4 - 1,9x_4^2 \quad (3)$$

За ЕС-моделями (2) і (3) побудовані показані на рис. 2 однофакторні діаграми, що відображають вплив варійованих факторів складу на міцність досліджених бетонів при стиску у віці 3-х діб (рис. 2, а) і 28-ми діб (рис. 2, б) в зонах екстремумів.

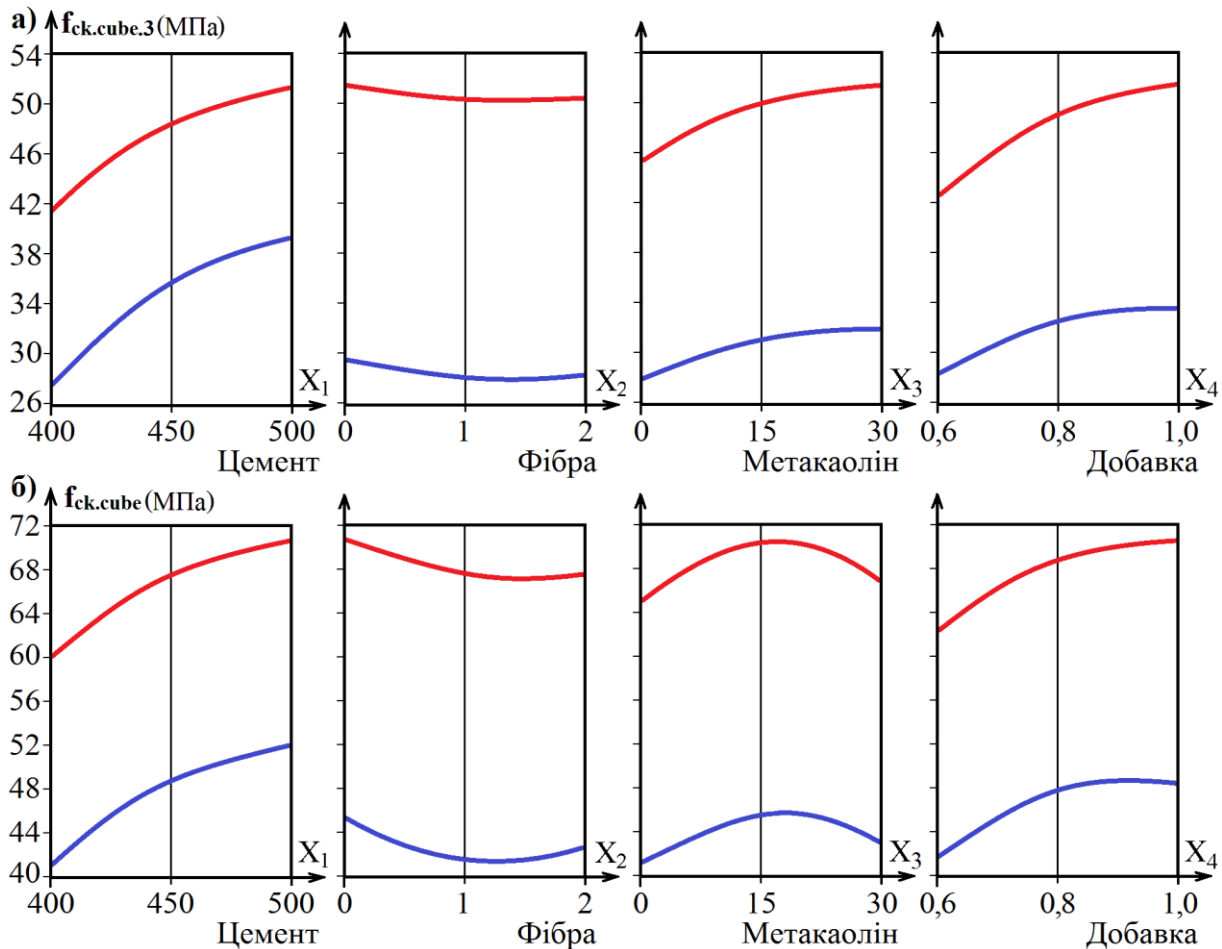


Рис. 2. Вплив варійованих факторів складу на міцність досліджених бетонів при стиску у віці 3-х діб (а) і 28-ми діб (б) в зонах екстремумів

Аналіз наведених діаграм показує, що бетони, модифіковані метакаоліном у кількості 20-25 кг/м³ та з підвищеною до 0,9% кількістю добавки комплексної дії мають високу міцність у віці 3-х діб – від 42 до 50 МПа (рис. 2, а). При цьому кількість поліпропіленової фібри несуттєво впливає на ранню міцність досліджених бетонів при стиску. В цілому за рахунок використання модифікаторів рання міцність досліджених бетонів з залежності від кількості цементу у їх складі досягає 40-50 МПа, що дозволяє прискорювати терміни початку експлуатації дорожнього покриття.

Позитивний вплив модифікаторів зберігається і у «стандартному» 28 денному віці. У даному віці більш раціональною з точки зору підвищення міцності при стиску є кількість метакаоліну в діапазоні від 15 до 20 кг/м³ та кількість добавки комплексної дії Coral ExpertSuid-5 в діапазоні від 0,8 до 0,9 % від маси цементу.

За ЕС-моделями, аналогічними (2) і (3), були побудовані показані на рис. 3 однофакторні діаграми, що відображають вплив варійованих факторів складу на міцність досліджених бетонів на розтяг при згині у віці 3-х діб (рис. 3, а) і 28-ми діб (рис. 3, б) в зонах екстремумів.

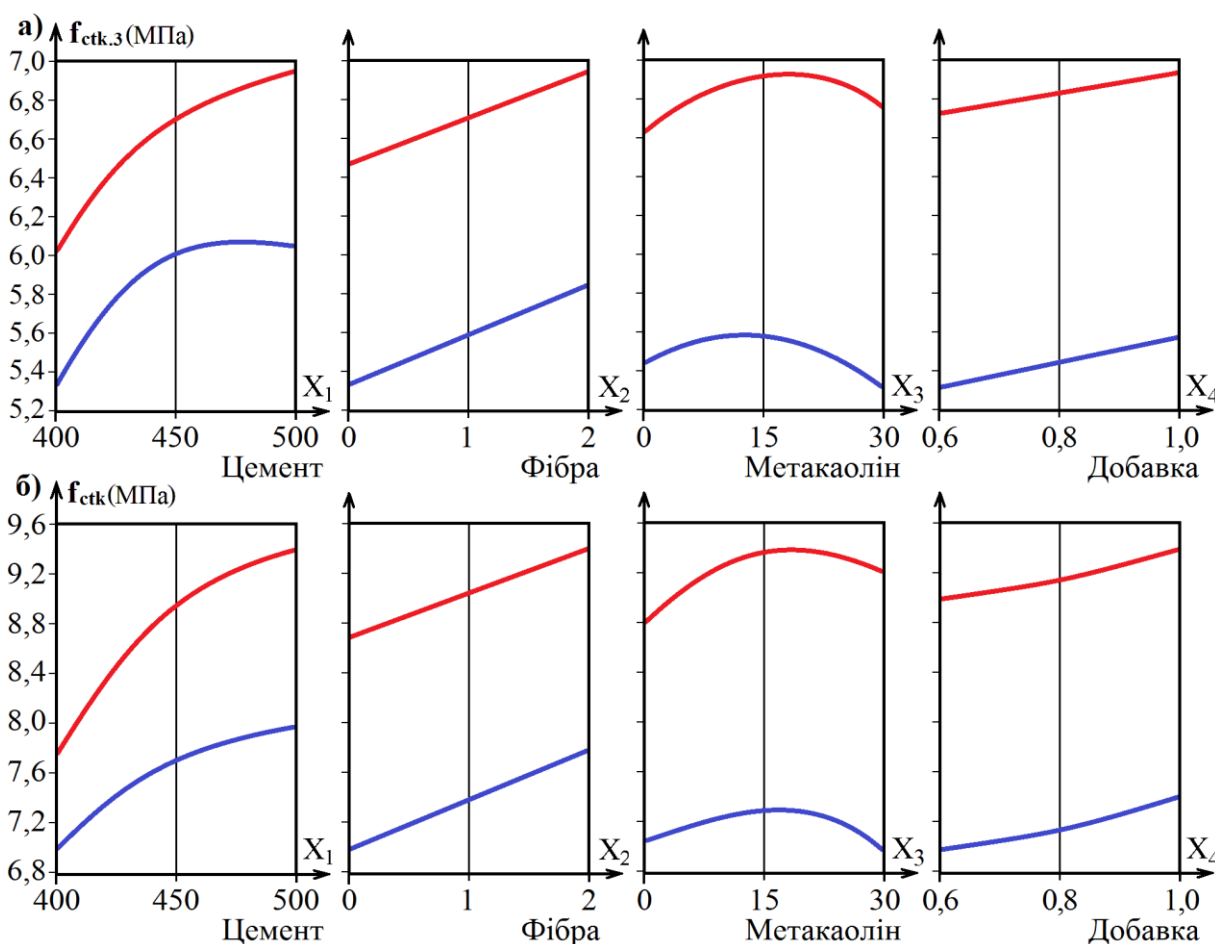


Рис. 3. Вплив варійованих факторів складу на міцність досліджених бетонів на розтяг при згині у віці 3-х діб (а) і 28-ми діб (б) в зонах екстремумів

Як видно з показаних на рис. 3 діаграм, міцність модифікованих бетонів на розтяг при згині у віці 3-х діб складає 75-80% від міцності даних бетонів у «стандартному» 28-ми денному віці. Вплив кількості метакаоліну і добавки комплексної дії Coral ExpertSuid-5 на міцність бетонів на розтяг при згині є аналогічним впливу даних факторів на міцність бетонів при стиску. За рахунок дисперсного армування поліпропіленовою фіброю міцність бетонів дорожніх покриттів на розтяг підвищується на 0,5-0,8 МПа. В цілому дослідженні бетони при використанні раціональної кількості модифікаторів і фібри мають досить високу міцність на

розтяг при згині – від 8 до 9,3 МПа в залежності від кількості цементу.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Бетони жорстких дорожніх покриттів при використанні раціональної кількості добавки комплексної дії полікарбосилатного типу Coral ExpertSuid-5 (0,8-0,9% від маси цементу) і метакаоліну (15-20 кг/м³) мають високу міцність при стиску як у ранньому віці (до 50 МПа і віці 3-х доб), так і у стандартному віці (до 70 МПа). За рахунок застосування поліпропіленової фібри у кількості до 2 кг/м³ міцність бетонів дорожніх покриттів на розтяг при згині підвищується на 0,5-0,8 МПа. При цьому міцність модифікованих бетонів на розтяг при згині у віці 3-х діб складає 75-80% від міцності даних бетонів у 28-ми денному віці.

Висока міцність модифікованих бетонів і фібробетонів дозволяє використовувати їх в дорожніх покриттях доріг з найбільшим навантаження. Висока рання міцність даних бетонів дає можливість розпочинати експлуатацію доріг з цементобетонними покриттями у більш короткі терміни та полегшує виконання необхідних подальших технологічних операцій при будівництві доріг.

Подальшими дослідженнями передбачено проведення аналізу впливу запропонованих комплексних модифікаторів на показники, що визначають довговічність бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів, зокрема на їх морозостійкість і зносостійкість.

Література

1. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Дорофєєв В.С., Мішутін А.В. Гідротехнічні та дорожні бетони. Одеса: Евен, 2012. 214 с.
2. Шейнин А.М. Цементобетон для дорожних и аэродромных покрытий. М.: Транспорт, 1991. 152 с.
3. Толмачев С.Н. Строительство автодорог с цементобетонным покрытием в Украине – реальность сегодняшнего дня. Автошляховик України. 2013. № 4. С. 36-40.
4. Шевчук Г.Я., Собко Ю.М., Топилко Н.І. Шляхи підвищення довговічності цементобетонного дорожнього покриття. Вісник Національного університету "Львівська політехніка", 2012, №737: Теорія і практика будівництва. С.231-233
5. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони. Л.Й. Дворкін, Є.М. Бабич, В.В. Житковський та ін. Рівне: НУВГП, 2017. 332 с.
6. Мишутин А.В., Кровяков С.А. Модифицированные бетоны и фибробетоны для покрытий дорог и городских улиц. Сборник докладов международной юбилейной научно-технической конференции «Автомобильные дороги: безопасность и надежность». Часть 2. Минск: Белдорнии, 2018. С.141-147.
7. Мишутин А.В., Смолянец В.В., Кровяков С.А. Применение цементнобетонных покрытий для городских улиц и магистрали "Север-Юг". Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2013. Вип. 52. С. 176-182.
8. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. К.: Вища школа, 1989. 327 с.
9. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. Одесса: Астропринт, 2006. 116 с.

References

- [1] L.Y. Dvorkin., O.L. Dvorkin, V.S. Dorofeyev, A.V. Mishutin, *Hidrotekhnichni ta dorozhni betony*. Odessa: Even, 2012.
- [2] A.M. Sheinin, *Tsementobeton dlya dorozhnykh i aerodromnykh pokrytyi*. M.: Transport, 1991.
- [3] S.N. Tolmachev, "Stroitel'stvo avtodorog s tsementobetonnym pokrytiyem v Ukraine – real'nost' segodnyashnego dnia", *Avtoshlyakhovyk Ukrayiny*. no. 4, pp.36-40, 2013.
- [4] H.Ya. Shevchuk, Y.M. Sobko, N.I. Topylko, "Shlyakhy pidvyshchennya dovhovichnosti

- tsementobetonnoho dorozhn'oho pokryttya", *Visnyk Natsional'noho universytetu "L'vivs'ka politekhnika"*: Teoriya i praktyka budivnytstva, no. №737, pp. 231-233, 2012.
- [5] L.Y. Dvorkin, Ye. M. Babych, V.V. Zhytkovs'kyu at al., *Vysokomitsni shvydkotverdnuchi betony ta fibrobetony*. Rivne: NUVHP, 2017.
- [6] A.V. Mishutin, S.A. Kroviakov, "Modifitsirovannyye betony i fibrobetony dlya pokrytiy dorog i gorodskikh ulits", *Sbornik dokladov mezhdunarodnoy yubileynoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Avtomobil'nyye dorogi: bezopasnost' i nadezhnost'»*, Minsk: Beldornii, Vol. 2, pp.141-147, 2018.
- [7] A.V. Mishutin, V.V. Smolyanets, S.A. Kroviakov, "Primeneniye tsementnobetonnykh pokrytiy dlya gorodskikh ulits i magistrali "Sever-Yug", *Visnyk Odes'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury*, no.52, pp. 176-182, 2013.
- [8] V.A. Voznesenskiy, T.V. Lyashenko, B.L. Ogarkov, *Chislennyye metody resheniya stroitel'no-tekhnologicheskikh zadach na EVM*. K.: Vishcha shkola, 1989.
- [9] V.A. Voznesenskiy, T.V. Lyashenko, *ES-modeli v komp'yuternom stroitel'nom materialovedenii*. Odessa: Astroprint, 2006.

ПРОЧНОСТЬ ФИБРОБЕТОНОВ ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ В РАЗНОМ ВОЗРАСТЕ

Мишутин А.В., д.т.н., профессор,
mishutin52@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9512-6084

Кинтя Л., аспирант

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Аннотация. Разработка бетонов и фибробетонов жестких дорожных покрытий с повышенной ранней прочностью является актуальным заданием. Анализ литературных данных показал, что прочность и долговечность бетонов жестких дорожных покрытий можно повысить за счет использования комплексных модификаторов и дисперсного армирования.

В работе исследованы модифицированные бетоны и фибробетоны жестких дорожных покрытий. Эксперимент проводился по оптимальному 4-х факторному плану. Варьировались такие факторы состава бетона: количество портландцемента, от 400 до 500 кг/м³; количество полипропиленовой фибры от 0 до 2 кг/м³; количество метакаолина от 0 до 30 кг/м³; количество добавки Coral ExpertSuid-5 от 0,6 до 1%. Все бетонные смеси имели равную подвижность П2.

Получен комплекс адекватных экспериментально-статистических моделей. Установлено, что при введении фибры и метакаолина В/Ц смесей необходимо повышать для сохранения их подвижности.

Прочностные показатели бетонов определялась в возрасте 3-х и 28-ми суток. Установлено, что модифицированные метакаолином в количестве 20-25 кг/м³ и добавкой Coral ExpertSuid-5 в количестве 0,9% бетоны имеют прочность при сжатии в возрасте 3-х суток от 42 до 50 МПа. Прочность при сжатии модифицированных бетонов в возрасте 28-ми суток достигает 70 МПа. Количество полипропиленовой фибры влияет на прочность при сжатии исследованных бетонов незначительно, при повышении количества цемента прочность бетонов возрастает.

Прочность на растяжение при изгибе бетонов в возрасте 3-х суток составляла от 5,3 до 6,9 МПа, в возрасте 28-ит суток – от 6,9 до 9,3 МПа. За счет применения полипропиленовой фибры прочность на растяжение при изгибе бетонов дорожных покрытий повышалась на 0,5-0,8 МПа. Прочность на растяжение при изгибе модифицированных бетонов и фибробетонов в возрасте 3-х суток составляла 75-80% от величины прочности бетонов в 28-ми суточном возрасте.

Высокая прочность модифицированных бетонов и фибробетонов позволяет использовать их в жестких дорожных покрытиях дорог с большим трафиком. При этом высокая ранняя прочность данных бетонов позволяет начинать эксплуатацию дорог с цементобетонным покрытием в более ранние сроки.

Ключевые слова: Дорожное покрытие, цементобетон, прочность, модификаторы, фибра, метакралин.

STRENGTH OF FIBER CONCRETES OF RIGID PAVEMENTS AT DIFFERENT AGES

Mishutin A.V., Doctor of Engineering, Professor,
mishutin52@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9512-6084

Chintea L., graduate student
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Development of concretes and fiber concretes of rigid pavements with high early strength is a topical task. The analysis showed that the strength and durability of concretes of rigid pavements can be improved through the use of complex modifiers and dispersed reinforcement.

Modified concretes and fiber concretes of rigid pavements are investigated. The experiment was conducted according to the optimal plan. 4 factors of concrete composition varied: the amount of Portland cement from 400 to 500 kg/m³; the amount of polypropylene fiber from 0 to 2 kg/m³; amount of metakaolin from 0 to 30 kg/m³; the amount of Coral ExpertSuid-5 additive from 0.6 to 1%. All concrete mixtures had equal mobility P2.

Complex of adequate experimental statistical models has been obtained. It was found that with the introduction of fiber and metacoline, the W/C must be increased to maintain mobility of mixtures. The strength of concrete at the age of 3 and 28 days was determined. It was found that concretes with metakaolin in an amount of 20-25 kg/m³ and with Coral ExpertSuid-5 additive in an amount of 0.9% have compressive strength at the age of 3 days from 42 to 50 MPa. The compressive strength of modified concrete at the age of 28 days reaches 70 MPa. The amount of polypropylene fiber does not significantly affect the compressive strength. The strength of concrete increases with increasing amount of cement.

The tensile strength of concrete at the age of 3 days is in the range from 5.3 to 6.9 MPa. The tensile strength of concrete at the age of 28 days is in the range from 6.9 to 9.3 MPa. The tensile strength of concrete pavement is increased by 0.5-0.8 MPa due to the use of polypropylene fiber. The tensile strength modified concrete and fiber concrete at the age of 3 days is 75-80% of the strength of concrete at the age of 28 days. The high strength of the modified concrete and fiber concrete allows them to be used in rigid pavements of roads with high traffic. The high early strength of concrete allows to start operating roads with cement concrete pavement faster.

Keywords: pavement, cement concrete, strength, modifiers, fiber, metakaolin.

Стаття надійшла 14.11.2019