

ЖЕСТКИЕ ДОРОЖНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Солоненко И.П.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
Украина*

Постановка проблемы

На долю автомобильного транспорта приходится около 40 % всех грузоперевозок осуществляющихся в Украине. Такая важная роль автотранспорта обусловлена географическим положением страны. Значительный объем автомобильных перевозок невозможно осуществлять без использования высококачественных дорог. Одним из направлений позволяющее повысить физико-механические и эксплуатационные характеристики дорожного покрытия (ДП) является применение для этих целей модифицированного цементобетона [1].

В дорожном строительстве используются бетоны классов В35 (С 30/35) [2]. Согласно требованиям Международной организации по стандартизации (ISO), требования к цементобетонным покрытиям (ЦБ) [3] заметно отличаются от существующих украинских норм (УН), которые представлены в таблице.

Таблица

Нормы для дорожного покрытия из цементобетона
в Украине и в странах Европейского союза [2, 3]

| Показатели | Требования | |
|--|-----------------|----------------|
| | ДБН | EN |
| Водоцементное отношение | 0,5 | 0,4 |
| Классы по прочности на сжатие (МПА) | В 35 | 52,5Н |
| Прочность на растяжение при изгибе (МПА) | 4,4 | 6,5 |
| Обозначение цемента | ПЦ 550- Д0-Н | ЦЕМ I 52,5Н |

Данные таблицы показывают, что требование к В/Ц по EN [3] выше на 20 %, чем по украинским норм [2]. Прочность на сжатие и растяжение при изгибе также выше украинских норм примерно на 50%. Требования по минералогическому составу и прочностным характеристикам для цементов не отличается от EN [3]. Выполнение требований евро-

пейских норм при строительстве дорожного покрытия из цементобетона в Украине требует оптимизации составов бетона.

Цель исследования.

Цель исследования – улучшить физико-механические характеристики модифицированных цементобетонов для жестких дорожных покрытий за счет введения в их состав пластифицирующих и воздуховолекающих добавок, микронаполнителя и полипропиленовую фибру.

Эксперимент проводился согласно рекомендациям [4, 5] по 27-ти точечному композиционному трехуровневому симметричному плану типа «Vi». Факторы и их диапазон варьирования выбирался по результатам предварительных экспериментов [6, 7]:

X_1 - количество портландцемента марки 500, от 370 до 570 кг/м³.

X_2 – количество суперпластификатора (СП) Dynamon Easy 11 (DE 11) на основе акрилового полимера, вводилось в состав от 0 до 1% от массы цемента.

X_3 – количество воздуховолекающей добавки РТ-1 (ВВД), вводилось в состав от 0 до 1,2 л/м³.

X_4 – количество полипропиленовой фибры (Фп) марки МАРЕFIBRE NS 12/ NS 18, вводилось в состав от 0 до 0,6 кг/м³.

X_5 – количество микронаполнителя – микрокремнезем (МК), вводилось в состав от 0 до 10% от массы заполнителя.

Во всех опытах принималась подвижность бетонной смеси в пределах от 16 до 18 см [8], что достигалась путем подбора количества воды затворения. По результатам расчета В/Ц в 27-ми экспериментальных точках была построена экспериментально-статистическая (ЭС) модель [4] влияния факторов состава на данный показатель:

$$В/Ц = 0,46 - 0,05 x_1 - 0,05 x_1^2 + 0,01 x_1 x_2 - 0,11 x_2 - 0,02 x_2^2 + 0,01 x_3^2 + 0,02 x_4^2 + 0,01 x_5 + 0,02 x_5^2 \quad (1)$$

По модели (1) была построена диаграмма в виде «кубы на квадрате» [4, 5] (рис.1).

Анализ полученных результатов (рис. 1) показывает, что введение СП DE 11 увеличивает подвижность и уменьшает водопотребность бетонной смеси. Так введение в состав бетона СП DE 11 (X_2) в количестве от 0,5 до 0,6 % от массы цемента позволяет уменьшить В/Ц отношение и привести его к требованиям национальным нормам ($\leq 0,5$). Увеличение количества введенного СП DE 11 более 0,8% приводит к снижению В/Ц, которое в опытах составило $\leq 0,4$ – это удовлетворяет требованию европейских норм. Повышение СП DE 11 более 1% не приводит к уменьшению В/Ц. Использование в составе МК повышает

водопотребность бетонной смеси на 2..5%. Уменьшение водопотребности при введении МК (X_5) можно добиться путем введения дополнительного количества СП DE 11. Для 5% МК -0,1% СП DE 11, а для 10% МК - 0,2% СП DE 11.

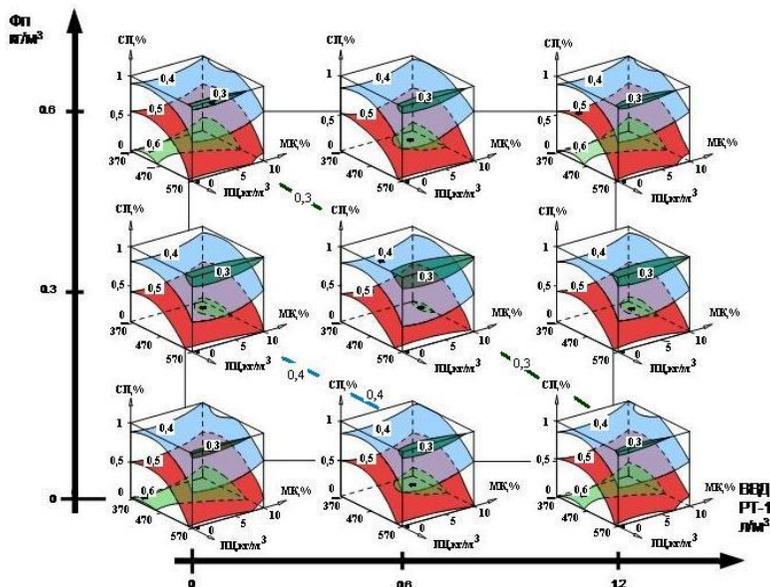


Рис. 1. Влияние варьируемых факторов состава цементобетона для дорожного покрытия на В/Ц смесями равной подвижности

Применение ВВД РТ-1 (X_3), как показали опыты, не значительно влияет на водопотребность смеси (менее 2%). Использование в бетонной смеси дисперсного армирования полипропиленовой фибры МАРЕФИВРЕ NS 12/ NS 18 (X_4) в количестве $0,6 \text{ кг/м}^3$ приводит к повышению В/Ц (5-6%), что объясняется наличием в смеси волокон фибры, которые замедляют её подвижность. Это наблюдалось при оценке подвижности смеси при использовании нормального конуса [8], подвижность смеси уменьшилось на 5-12%.

Все исследуемые опытные образцы ЦБП для АД после 28 суток твердения в нормально-влажностных условиях подвергались испытаниям на прочность при сжатии, растяжение при изгибе, ударостойкость и истираемость.

Как показали испытания, на прочность образца при сжатии оказывают незначительное влияние количество ВВД РТ-1 (X_3) и Фп (X_4) [9],

что позволяет их не учитывать при построении модели диаграммы в виде куба (рис. 2).

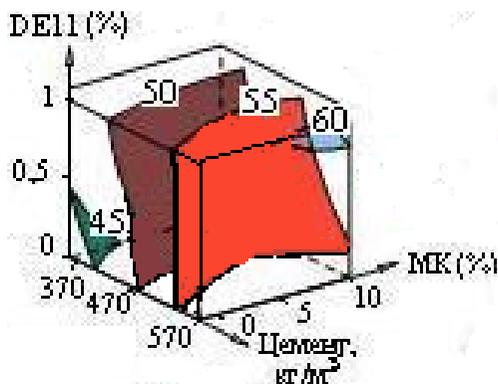


Рис. 2. Влияние количества цемента, СП DE 11 и МК на их прочность при сжатии ЦБ для ДП

Анализ зависимостей, приведенный на рис. 2, показывает, что увеличение количества портландцемента ведет к повышению уровня прочности при сжатии от 45 до 55 МПа (22%). Наибольшую прочность показывают составы, в которые введено 1% СП DE 11 и 10% наполнителя МК от 45 до 60 МПа (33%), такой показатель прочности при сжатии удовлетворяет европейским нормам [5].

Исследования показали, что на прочность образца на растяжение при изгибе оказывают незначительное влияние количество ВВД РТ-1 (X_3) и СП DE 11 (X_2) [9], это позволяет их не учитывать при построении модели в графическом виде куба (рис. 3).

Анализ зависимости, представленной на рис. 3, позволяет сделать вывод, что увеличение количества цемента от 500 до 570 кг/м³ практически пропорционально повышает прочность на растяжение при изгибе (от 5 до 7 МПа). Увеличение введенного количества МК в состав бетона от 8 до 10% от массы заполнителя повышает f_{ctk} (на 2 МПа). Использование дисперсного армирования фиброй позволяет повысить показатель f_{ctk} на 2 МПа.

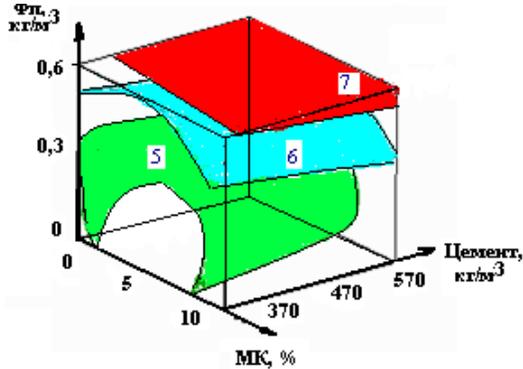


Рис. 3. Влияние количества цемента, Фп и МК на их прочность на растяжение при изгибе f_{ctk} (МПа)

ЭС-модели по ударостойкости и истираемости материала ЦБ для ДП АД имеют вид:

$$T \text{ (Дж/см}^2\text{)} = 6,23 + 0,83x_1 + 0,65x_1^2 - 0,19x_1x_2 + 0,19x_3x_4 + 0,83x_2 - 0,35x_2^2 - 0,31x_2x_4 - 0,19x_3x_5 - 0,85x_3^2 + 0,19x_1x_4 + 0,31x_2x_5 + 0,78x_4 + 1,15x_4^2 - 0,19x_1x_5 + 0,28x_5 \quad (2)$$

$$G \text{ (г/см}^2\text{)} = 0,63 - 0,04x_1 + 0,02x_1x_2 + 0,01x_2x_3 + 0,04x_4x_5 - 0,04x_2 + 0,05x_2^2 + 0,02x_2x_4 + 0,03x_3x_5 - 0,13x_4 - 0,12x_4^2 + 0,02x_1x_5 - 0,03x_5 - 0,03x_5^2 \quad (3)$$

Анализ показывает, что на модель ударостойкости (2) несущественно влияет количество добавки ВВД РТ-1 (X_3) и СП DE 11 (X_2), это позволяет их не учитывать при анализе результатов (рис.4).

Анализ рис. 4 позволяет сказать, что наибольшее влияние на величину ударной прочности исследованных композитов оказывает количество введенной Фп. Так, при введении 0,6 кг волокон на м^3 бетона, его ударостойкость возрастала примерно до 6 Дж/см² (на 33%) по сравнению с контрольным образцом. При замене 6-10% от массы заполнителя наполнителем МК повышается ударная прочность бетонов до 8 Дж/см² (на 50%). Увеличение количества цемента от 530 до 570 кг/м³ повышает уровень ударостойкости бетона до 7 Дж/см² (на 43%).

По модели (3) можно сделать вывод, что количество добавки ВВД РТ-1 (X_3) и СП DE 11 (X_2) несущественно влияет на истираемость об-

разцов ЦБ для ДП. Поэтому показана диаграмма в виде куба (рис.5), отображающая влияние количества портландцемента, Фп и МК.

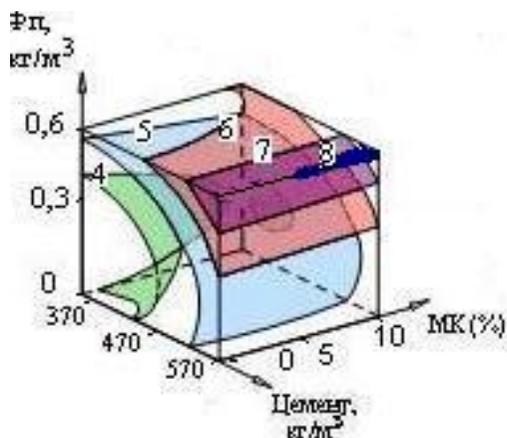


Рис. 4. Влияние количества цемента, Фп и МК на ударостойкость Т (Дж/см²)

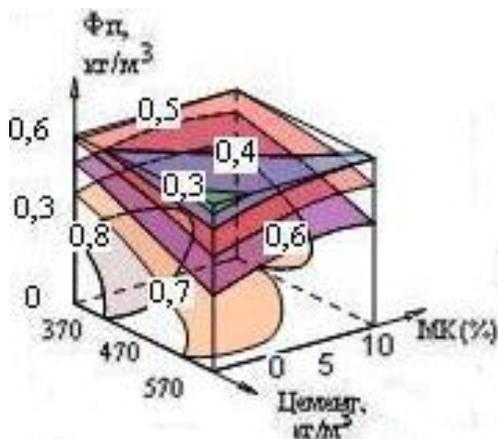


Рис. 5. Влияние количества цемента, Фп и МК на истираемость G (г/см²)

Из рисунка 5 видно, что истираемость ЦБП для АД наиболее эффективно снижается за счет применения дисперсного армирования

полипропиленовой фиброй. Составы с содержанием волокон в количестве 0,3-0,6 кг/м³ показывают уровень истираемости ниже до 0,3 г/см² (более 50%) аналогичных бетонов без фибры, что является хорошо известным и описанным в технической литературе фактом [10, 11]. То есть дисперсное армирование, эффективно повышает износостойкость материала покрытия. При повышении количества портландцемента истираемость бетона снижается за счет увеличения прочности материала. Замена до 5-10% от массы заполнителя на МК приводит к некоторому снижению уровня G, что можно объяснить снижением количества микродефектов в бетоне.

Выводы

1. При замене части заполнителя (до 10%) на наполнитель микрокремнезем повышает прочность бетона на растяжение при изгибе на 15..20%. Прочность при сжатии повышается от 45 до 60 МПа (33%), в которых введено 1% СП DE 11 и 10% наполнителя МК.

2. Введение в состав бетона суперпластификатора Dynamon Easy 11 в количестве от 0,8 до 1% от массы цемента снижает В/Ц отношение смеси от 0,4 до 0,36 (более 10%).

3. Применение фибры от 0,3 до 0,6 кг/м³ требует увеличение количества воды затворения на 8..10%. Повышается прочность на растяжение при изгибе за счет введения в состав бетонной смеси полипропиленовой фибры на 20-25%. При введении 0,6 кг волокон фибры на м³ бетона его ударостойкость возрастает в 1,5 раза. Введение фибры эффективно снижает истираемость мелкозернистого бетона до 0,3 г/см².

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод, что введение в состав цементобетона воздухововлекающую добавку РТ-1, пластификатор Dynamon Easy 11, микронаполнитель микрокремнезем и полипропиленовую фибру ведет к улучшению физико-механических свойств жестких дорожных покрытий при правильном подборе их количества.

SUMMARY

Studies will improve the physical and mechanical properties of modified cement concrete pavements hard by the introduction of sound in its composition additives RT-1, Dynamon Easy 11, MK and Fp.

Литература

1. Войлок И.А., Горшков А.С. Бетонные дороги: актуальность, возможности и оборудование №6(68)2008.: <http://www.stroy-press.ru>
2. ДБН В.2.3-4:2007 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ 2007. - 92 с.
3. EN 197-1:2000 Бетон – Часть 1: общие технологические требования, производство и контроль качества. Брюссель, 2000. – 68 с.
4. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительного-технологических задач на ЭВМ / К.: Вища школа, 1989. – 327 с.
5. Бродский В.З., Бродский Л.И., Голикова Т.И., Никитина Е.П., Панченко Л.А. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей /М.: Металлургия, 1982. - 752 с.
6. Солоненко И.П. Сучасні пластифікуючі добавки для цементобетонів у дорожньому будівництві // Вестник ОГАСА. Вып.№45 – Одесса: ТОВ «Зовнішрекламсервіс» 2012. – С. 254-258.
7. Солоненко И.П. Модифицированные цементобетонные композиции для дорожного покрытия // Вісник ОДАБА. Вып.№48. Частина 2 – Одеса: ТОВ «Зовнішрекламсервіс» 2012. – С. 98-103.
8. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 «Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови». Київ. 2010. - 107 с.
9. Солоненко И.П. Покрытия для автомобильных дорог из цементобетонна. Вісник ОДАБА. Вып.№53. – Одеса: ТОВ «Зовнішрекламсервіс» 2014– С. 355-362.
10. Рабинович Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны. – М., Стройиздат, 1989. – 176 с.
11. Мишутин А.В. Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений / Одесса: Эвен, 2011. – 292 с.