

## 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 цементобетонных для жестких дорожных покрытий за счет введения в их состав пластифицирующих и воздуховывлекающих 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/м<sup>3</sup>.

$X_2$  – 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 воздуховывлекающей добавки РТ-1 (ВВД), вводилось в состав от 0 до 1,2 л/м<sup>3</sup>.

$X_4$  – количество полипропиленовой фибры (Фп) марки МАРЕFIBRE NS 12/ NS 18, вводилось в состав от 0 до 0,6 кг/м<sup>3</sup>.

$X_5$  – 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.

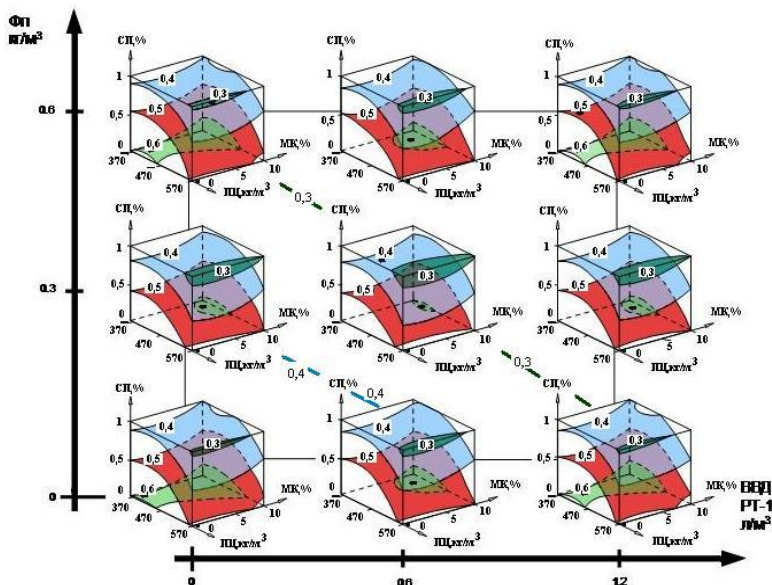


Рис. 1. Влияние варьируемых факторов состава цементобетона для дорожного покрытия на В/Ц смесями равной подвижности

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).

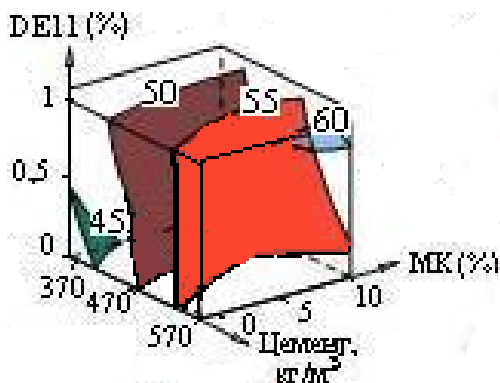


Рис. 2. Влияние количества цемента, СП DE 11 и МК на их прочность при сжатии ЦБ для ДП

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/м<sup>3</sup> 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.

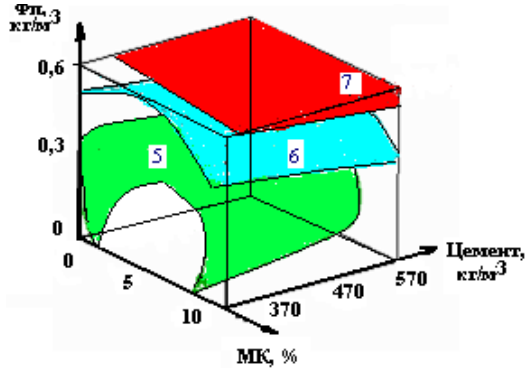


Рис. 3. Влияние количества цемента, Фп и МК на их прочность на растяжение при изгибе  $f_{ctk}$  (МПа)

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  $\text{м}^3$  бетона, его ударостойкость возрастала примерно до 6 Дж/см<sup>2</sup> (на 33%) по сравнению с контрольным образцом. При замене 6-10% от массы заполнителя наполнителем МК повышается ударная прочность бетонов до 8 Дж/см<sup>2</sup> (на 50%). Увеличение количества цемента от 530 до 570 кг/м<sup>3</sup> повышает уровень ударостойкости бетона до 7 Дж/см<sup>2</sup> (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.

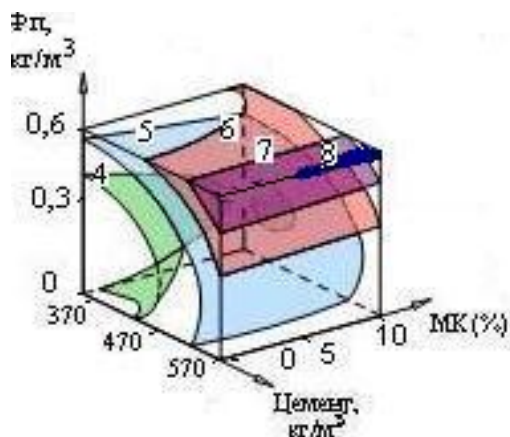


Рис. 4. Влияние количества цемента, Фп и МК на ударостойкость Т (Дж/см<sup>2</sup>)

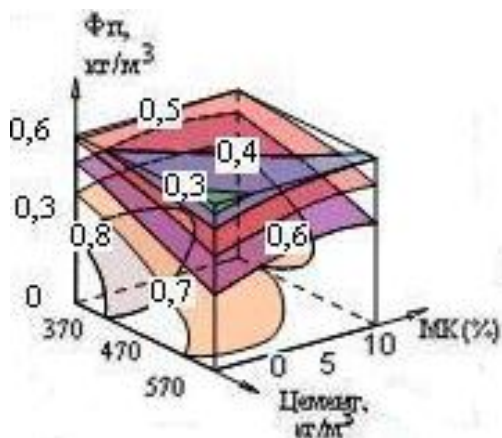


Рис. 5. Влияние количества цемента, Фп и МК на истираемость G (г/см<sup>2</sup>)

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/м<sup>3</sup> показывают уровень истираемости ниже до 0,3 г/см<sup>2</sup> (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/м<sup>3</sup> 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 м<sup>3</sup> бетона его ударостойкость возрастает в 1,5 раза. Введение фибры эффективно снижает истираемость мелкозернистого бетона до 0,3 г/см<sup>2</sup>.

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. Покрyтия 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.