

## ПОКРЫТИЯ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ИЗ ЦЕМЕНТОБЕТОНА

**Солоненко И.П.**

*Одесская государственная академия строительства и  
архитектуры, Украина*

### **Постановка проблемы**

Развитие дорожной инфраструктуры нашей страны предусматривает строительство современных автомагистралей с высокими транспортно-эксплуатационными показателями (ТЭП), а также реконструкцию существующих сетей дорог. Это чрезвычайно актуально в связи с целевой программой по интеграции Украины в Европейское сообщество [1].

Один из путей повышения ТЭП – применение в качестве дорожного покрытия для автомобильных дорог (АД) цементобетона (ЦБ). Исследования, проводимые в нашей стране, в США, в странах Европы, Китае, Японии, Австралии и т.д. [2] показывают, что такое покрытие обладает, высокими показателями прочности, долговечности, выдерживают большие динамические нагрузки, позволяют снизить расходы на содержание и ремонт. Это определяет актуальность и важность разработки цементобетонных композиций для АД.

### **Цель и задачи исследования**

В качестве дорожного покрытия (ДП) из ЦБ в Украине используется бетон класса В35 (С 30/35) [3]. Евроинтеграция Украины определяет необходимость гармонизации нормативных документов [4] по требованиям к бетонам для дорожного покрытия.

На сегодняшний день нормы прочности, предъявляемые Европейским комитетом (СЕН), по некоторым показателям выше, чем в Украине (табл. 1). Согласованные требования к материалу ДП позволят в дальнейшем избежать необходимости существенной реконструкции транспортной инфраструктуры при вхождении Украины в Европейский союз.

Целью исследования: изучение возможности повышения физико-механических свойств модифицированных мелкозернистых цементобетонов для дорожного покрытия за счет подбора их составов.

Таблица 1

Нормы прочности цементобетона, применяемые для дорожного строительства в Украине (ДБН В.2.3-4:2007) и в странах Европы (EN 206-1) [3, 5]

Назначе-ния ЦБ	Марка цемента		Классы прочности на сжатие (МПА)		Прочность на растяжение при изгибе (МПА)	
	ДБН	EN	ДБН	EN	ДБН	EN
Для дорожного покрытия	М 450	СЕМ I	В 35	52,5Н	4,4	6,5
Дорожное основание	М 400	СЕМ II/A-III	В 30	42,5Н	4,0	6
Для укрепления грунтов	М 350	СЕМ II/B-T	В 25	32,5Н, 32,5А	3,6	5,5

Исходя из поставленной цели, были определены следующие задачи исследования:

- исследовать влияние на физико-механические характеристики (ФМХ) ЦБ путём введения в его состав пластификатора (Dunapom Easy 11) и воздухововлекающей добавки (ВВД) (РТ-1);
- изучить воздействие на ФМХ путём введения в состав ЦБ модифицированного бетона минеральных наполнителей – микрокремнезема (МК) и золы-уноса (З-У);
- исследовать воздействие на ФМХ путём введения в состав модифицированного бетона полипропиленовой фибры (Фп);
- разработать комплекс экспериментально-статистических моделей (ЭСМ), описывающих изменения ФМХ, модифицированных мелкозернистых бетонов для ДП АД за счет введения в состав пластифицирующих, воздухововлекающих добавок и наполнителей.

#### **Основная часть.**

Перед началом проведения исследования на основе анализа литературных источников и личного опыта автора были выбраны факторы влияния и диапазон их изменения (таб. 2). В качестве функции отклика принимались следующие ФМХ материалов ДП: прочность на сжатие ( $f_{ck,cube}$ ); прочность на растяжения при изгибе

( $f_{ctk}$ ); водонепроницаемость (W); ударостойкость (T); истираемость (G); трещиностойкость ( $K_{1c}$ ).

Исследования по определению ФМХ ЦБ для АД проводились в лабораториях кафедр: строительных материалов; проектирования, строительства и эксплуатации, автомобильных дорог; процессов и аппаратов в технологии строительных материалов (ПАТСМ) Одесской государственной академии строительства и архитектуры (ОГАСА). Опыты проводились по методикам [6 - 8] на образцах 10x10x10, 7x7x7, 4x4x16. Образцы изготовлялись из материала: цемент ПЦ – I – Н 500 (ОАО «Югцемент»); песок кварцевый, мытый (Вознесенский карьер) ( $M_{кр} = 2,5$ ); гранитный щебень (фр. от 5 до 10 мм); пластифицирующая добавка Dynamon Easy 11 («MapeI»); воздухововлекающая добавка РТ-1 («MapeI»); микрокремнезем (Никопольский завод ферросплавов); зола - уноса (Ладжинская ТЭС); полипропиленовая фибра - МАРЕFIBRE («MapeI»).

Таблица 2

Факторы и их диапазон изменения

$X_1$ – количество цемента введенного в состав раствора						
$X_2$ – количество пластификатора D E 11 введенного в состав раствора						
$X_3$ – количество ВВД РТ-1 введенного в состав раствора						
$X_4$ – количество полипропиленовой фибры введенного в состав раствора						
$X_5$ – количество наполнителя (МК, З-У) введенного в состав раствора						
<i>диапазон изменения факторов</i>						
УРОВНИ	$X_1$	$X_2, \%$	$X_3 \%$	$X_4 \%$	$X_5 \%$	
					МК	З-У*
Основной (0)	470	0,75	0,6	0,1	5	10
Интервал	100	0,75	0,6	0,1	5	10
Верхний (+1)	570	1,5	1,2	0,2	10	20
Нижний (-1)	370	0	0	0	0	0

\*- опыты с З-У вместо МК

Состав опытных образцов приведен в таблице 3. Количество испытуемых образцов материала (каждого состава бетона) согласно рекомендациям [9] было не менее 3 в каждой точке плана эксперимента. В исследованиях принималась постоянная подвижность смеси от 16 до 21 см, определялась по методике [10]. Необходимая подвижность бетонной смеси достигалась путем изменения водоцементного отношения (в опытах изменялась от 0,25 до 0,65). Изготовленные образцы набирали прочности В

## нормально-влажностные условия твердения ( $t=20^{\circ}\text{C}$ , $W=80\%$ ) в течений 28 суток.

Результаты проведенных исследований представлены в таблицах 4 и 5. В таблице 4 представлены результаты опытов для составов бетонной смеси с применением микронаполнителя МК.

Таблица 3  
План проведения эксперимента, составы бетонной смеси

План						Компоненты состава							
№	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	Ц, кг/м <sup>3</sup>	Щ, кг/м <sup>3</sup>	П, кг/м <sup>3</sup>	Д Е, кг/м <sup>3</sup>	РТ-1, л/м <sup>3</sup>	Фп, кг/м <sup>3</sup>	МК, кг/м <sup>3</sup>	ЗУ* %
1	1	1	1	1	-1	570	1036	490	8,55	1,2	1,14	0	0
2	1	1	1	-1	1	570	1036	490	8,55	1,2	0	57	20
3	1	1	-1	1	1	570	1036	490	8,55	0	1,14	57	20
4	1	1	-1	-1	-1	570	1036	490	8,55	0	0	0	0
5	1	-1	1	1	1	570	1036	490	0	1,2	1,14	57	20
6	1	-1	1	-1	-1	570	1036	490	0	1,2	0	0	0
7	1	-1	-1	1	-1	570	1036	490	0	0	1,14	0	0
8	1	-1	-1	-1	1	570	1036	490	0	0	0	57	20
9	-1	1	1	1	1	370	1080	559	5,55	1,2	0,74	37	20
10	-1	1	1	-1	-1	370	1080	559	5,55	1,2	0	0	0
11	-1	1	-1	1	-1	370	1080	559	5,55	0	0,74	0	0
12	-1	1	-1	-1	1	370	1080	559	5,55	0	0	37	20
13	-1	-1	1	1	-1	370	1080	559	0	1,2	0,74	0	0
14	-1	-1	1	-1	1	370	1080	559	0	1,2	0	37	20
15	-1	-1	-1	1	1	370	1080	559	0	0	0,74	37	20
16	-1	-1	-1	-1	-1	370	1080	559	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	0	570	1036	490	4,275	0,6	0,57	28,5	10
18	-1	0	0	0	0	370	1080	559	2,775	0,6	0,37	18,5	10
19	0	1	0	0	0	470	1055	578	7,05	0,6	0,47	23,5	10
20	0	-1	0	0	0	470	1055	578	0	0,6	0,47	23,5	10
21	0	0	1	0	0	470	1055	578	3,525	1,2	0,47	23,5	10
22	0	0	-1	0	0	470	1055	578	3,525	0	0,47	23,5	10
23	0	0	0	1	0	470	1055	578	3,525	0,6	0,94	23,5	10
24	0	0	0	-1	0	470	1055	578	3,525	0,6	0	23,5	10
25	0	0	0	0	1	470	1055	578	3,525	0,6	0,47	47	20
26	0	0	0	0	-1	470	1055	578	3,525	0,6	0,47	0	0
27	0	0	0	0	0	470	1055	578	3,525	0,6	0,47	23,5	10

В таблице 5 представлены результаты дополнительных опытов для составов бетонной смеси с применением микронаполнителя 3-У. Для наглядности результаты опытов по прочности на сжатие и растяжения при изгибе представлены на рис. 1 и 2.

Проведенные исследования позволили рассчитать ЭСМ по методике [11] с применением диалоговой системы COMPEX, разработанной на кафедре ПАТСМ, ОГАСА. Все модели построены с риском не более  $\alpha=0,1$  (табл. 6).

Таблица 4

Результаты основных опытов (микронаполнитель МК)

№ сост.	$f_{ck,cube}$ (МПА)	$f_{ctk}$ (МПА)	W (атм)	T (Дж/см <sup>2</sup> )	G (г/см <sup>2</sup> )	$K_{1c}$ (МПа <sup>0,5</sup> м <sup>0,5</sup> )
1	55,82	8,15	12	9	0,30	0,14
2	60,20	7,67	16	8	0,55	0,13
3	61,50	8,00	14	9	0,30	0,13
4	58,5	7,38	12	7	0,61	0,13
5	53,52	6,89	8	8	0,40	0,13
6	50,20	5,43	8	6	0,67	0,11
7	50,53	6,73	8	8	0,37	0,13
8	53,20	5,45	8	6	0,55	0,12
9	43,50	7,30	10	8	0,40	0,17
10	44,30	6,84	10	6	0,82	0,15
11	49,70	7,75	10	6	0,41	0,15
12	53,58	5,89	10	8	0,48	0,15
13	43,34	5,40	10	6	0,46	0,12
14	46,30	5,89	6	4	0,74	0,14
15	46,45	5,10	6	6	0,45	0,11
16	43,62	5,96	6	4	0,97	0,14
17	55,30	4,42	12	8	0,65	0,08
18	47,40	6,95	8	6	0,58	0,14
19	55,38	6,34	10	7	0,70	0,11
20	48,42	6,20	10	5	0,65	0,13
21	52,25	6,05	8	5	0,65	0,11
22	52,57	6,38	8	6	0,66	0,12
23	52,40	6,28	10	9	0,38	0,12
24	52,63	6,85	8	6	0,63	0,13
25	53,42	5,98	10	6	0,61	0,11
26	49,23	6,20	8	6	0,58	0,12
27	52,55	6,22	8	6	0,63	0,12

Таблица 5

Результаты дополнительных опытов (микронаполнитель 3-У)

№ сост.	$f_{ck,cube}$ (МПа)	$f_{ctk}$ (МПа)	W (атм)	T (Дж/см <sup>2</sup> )	G (г/см <sup>2</sup> )	$K_{1c}$ (МПа <sup>х</sup> м <sup>0,5</sup> )
2*	52,70	6,80	10	6	0,64	0,13
3*	52,18	7,23	10	8	0,53	0,14
5*	41,50	5,57	6	7	0,58	0,13
8*	43,45	5,05	6	6	0,65	0,12
9*	46,00	6,45	8	7	0,67	0,14
12*	48,52	5,25	10	6	0,75	0,11
14*	31,80	5,55	6	6	0,76	0,17

Продолжение таблицы 5

№ сост.	$f_{ck,cube}$ (МПа)	$f_{ctk}$ (МПа)	W (атм)	T (Дж/см <sup>2</sup> )	G (г/см <sup>2</sup> )	$K_{1c}$ (МПа <sup>х</sup> м <sup>0,5</sup> )
15*	32,50	5,00	6	7	0,67	0,15
17*	50,15	5,15	6	6	0,55	0,10
18*	47,58	6,24	6	5	0,70	0,13
19*	53,85	6,15	6	6	0,67	0,11
20*	46,28	5,87	6	7	0,66	0,13
21*	48,35	5,54	6	6	0,68	0,11
22*	48,57	5,78	6	6	0,65	0,12
23*	47,80	6,25	6	8	0,61	0,13
24*	48,13	5,88	6	6	0,64	0,12
25*	45,78	5,00	8	6	0,60	0,11
27*	49,45	5,85	6	5	0,64	0,12

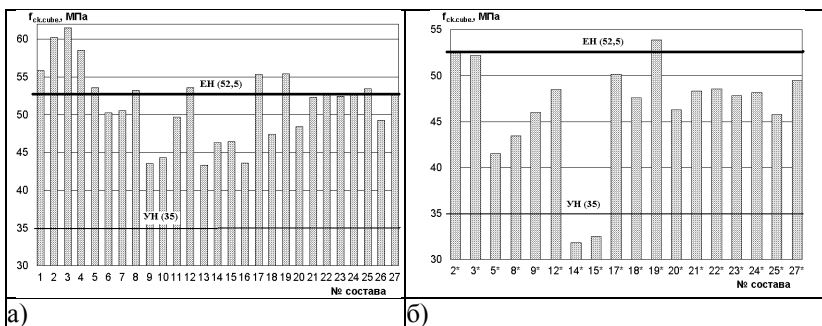


Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии исследуемых составов для точек эксперимента: а) микронаполнитель МК; б) микронаполнитель 3-У

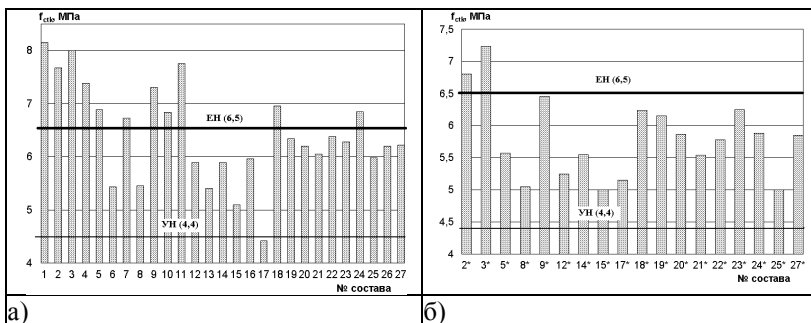


Рис. 2. Зависимость прочности на растяжение при изгибе исследуемых составов: а) микронаполнитель МК; б) микронаполнитель 3-У

Таблица 6  
Экспериментально - статистические модели исследуемого бетона

Прочность при сжатии с микрокремнеземом
$f_{ck.cube.}(MPa) = 52,251 + 4,477 x_1 - 0,681 x_1^2 + 1,075 x_1x_2 - 1,189 x_2x_3 - 0,256 x_3x_4 - 0,693 x_4x_5 + 2,606 x_2 + 0,745 x_1x_3 - 0,411 x_2x_4 - 1,123 x_3 + 0,255 x_1x_4 - 0,321 x_4 + 0,281 x_1x_5 + 1,468 x_5 - 0,706 x_5^2$
Прочность растяжение при изгибе с микрокремнеземом
$f_{ctk}(MPa) = 6,082 + 0,169 x_1 + 0,682 x_2 + 0,332 x_3x_5 + 0,179 x_1x_4 + 0,236 x_4 + 0,527 x_4^2$
Прочность при сжатии с золой – уноса
$f_{ck.cube.}(MPa) = 49,146 + 3,759 x_1 - 0,426 x_2x_3 + 1,053 x_3x_4 - 0,441 x_4x_5 + 4,353 x_2 - 0,753 x_3 - 0,508 x_1x_4 + 1,845 x_2x_5 - 1,079 x_4^2 - 2,823 x_5 - 1,539 x_5^2$
Прочность растяжение при изгибе с золой – уноса
$f_{ctk}(MPa) = 5,693 + 0,169 x_1 + 0,150 x_1x_2 - 0,133 x_3x_4 + 0,636 x_2 + 0,271 x_2^2 + 0,163 x_2x_4 + 0,240 x_3x_5 + 0,126 x_1x_4 - 0,127 x_2x_5 + 0,244 x_4 + 0,326 x_4^2 - 0,441 x_5$

## Выводы

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

Нормы по прочности покрытиям из цементобетона для автомобильных дорог в

Евросоюзе значительно превышают требования, применяемые в Украине. Поэтому гармонизация национальных стандартов заключается в поэтапном переходе на нормы Евросоюза в вопросе подбора состава покрытия для автомобильных дорог.

**Зависимости** Прочности при сжатии образцов с микрокремнеземом, приведенные на рис. 1 а, показывают, что требованиям ДБН В.2.3-4:2007 [3] соответствуют всем рассматриваемым составам. Нормам EN 206-1 [5] только составы 1-5, 8, 12, 17, 19, 25 и 27.

Образцы бетона с золой уноса (рис. 1 б) 2\*, 3\*, 5\*, 9\*, 12\*, 17\*-25\* и 27\* соответствуют украинским нормам [3]. Европейским нормативам удовлетворяют составы 2\* и 19\*.

По прочности на растяжение при изгибе (рис. 2 а и б) нормам [3] удовлетворяют все рассмотренные составы кроме состава 17. Стандарту [5] соответствуют составы 1-5, 7, 9-11, 18, 24, 2\* и 3\*.

### Summary

**Ukrainian and European standards for coating strength of cement concrete are compared. Results of experimental study of physical and mechanical characteristics of the pavement for roads are presented.**

### *Литература*

1. <http://www.regnum.ru/news/1573071.html>.
2. <http://www.rg.ru/2014/01/09/dorogi-sha.html>.
3. ДБН В.2.3-4:2007 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ 2007. 92 с.



4. Величко О.М., Коломієць Л.В., Гордієнко Т.Б. Метрологічна простежуваність: основи і нормативне забезпечення. П. – Одеса: ВМВ, 2009. – 205 с.
5. EN 206-1 Европейский стандарт. Бетон. Часть 1.
6. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
7. ГОСТ 23046 – 78 Метод испытания на удар.
8. ДСТУ Б В.2.7-212:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стираності.
9. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Проектирование составов дорожных цементных бетонов повышенной долговечности // Вісник. Технічні науки: Зб. наук. праць. Вип. 4 (28).Ч.2. – Рівне : НУВГП, 2004. – С.6-15.
10. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 «Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань».
11. Вознесенский В.А. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко // Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.