

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 по прочно-сти на сжатие (МПА)		Прочность на рас-тяжение при изгибе (МПА)	
	ДБН	EN	ДБН	EN	ДБН	EN
Для дорожно-го 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 укрепле-ния 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 (Dynamon 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 (Т); истираемость (G); трещиностойкость (K_{1c}).

Исследования по определению ФМХ ЦБ для АД проводились в лабораториях кафедр: строительных материалов; проектирования, строи-

тельства 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 (Ладыжинская ТЭС); полипропиленовая фибра - MAPEFIBRE («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 испытываемых 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-влажные условия твердения ($t=20^{\circ}C$, $W=80\%$) 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 ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Ц, кг/м ³	Щ, кг/м ³	П, кг/м ³	Д Е кг/м ³	РТ-1, л/м ³	ФП, кг/м ³	МК, кг/м ³	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 З-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 ²)	G (г/см ²)	K_{1c} , (МПа ^x м ^{0,5})
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 ²)	G (г/см ²)	K_{1c} , (МПа ^x м ^{0,5})
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.	fck.cube (МПа)	fctk (МПа)	W (атм)	T (Дж/см ²)	G (г/см ²)	K1c, (МПахм ^{0,5})
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

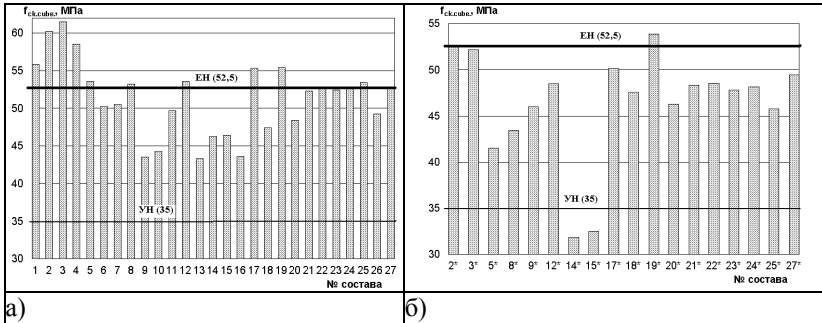


Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии исследуемых составов для точек эксперимента: а) микронаполнитель МК; б) микронаполнитель 3-У

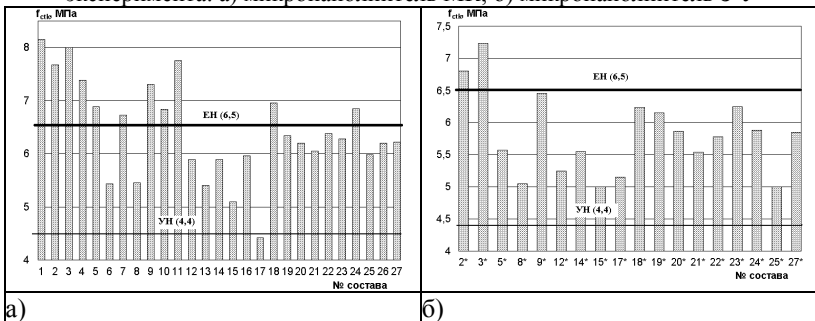


Рис. 2. Зависимость прочности на растяжение при изгибе исследуемых составов: а) микронаполнитель МК; б) микронаполнитель 3-У

Таблица 6

Экспериментально - статистические модели исследуемого бетона

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

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 микро-кремнеземом, 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 протестуваність: 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 испытанія 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.