



ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНОГО ДОРОЖНЬОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНУ ЗА КРИТЕРІЯМИ РУХЛИВОСТІ СУМІШІ ТА МІЦНОСТІ ПРИ СТИСКУ

М. М. Зайченко ^a, О. І. Сердюк ^a, А. В. Назарова ^b, Маршді Косай Сахіб Раді ^b

^a Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.

^b Луганський національний аграрний університет,
містечко ЛНАУ, м. Луганськ, Україна, 91008.

E-mail: ^a Zaichenko_nicola@mail.ru

Отримана 10 березня 2015; прийнята 27 березня 2015.

Анотація. Застосування самоущільнювальних бетонів (СУБ) у дорожньому будівництві забезпечує покращення якості дорожнього одягу, підвищення швидкості будівництва, зниження енергоспоживання та трудомісткості процесу. Одночасно необхідно вирішити достатньо складне суперечливе завдання – з одного боку, забезпечити високу рухливість (самоущільнювальність) суміші в процесі формування, з іншого – здатність свіжовідформованого масиву зберігати форму без осідання безпосередньо після екструзії з сліп-формера (ефект тиксотропії). Здійснено оптимізацію складу СУБ за величиною водоцементного співвідношення та вмісту добавки тонкодисперсного мінерального наповнювача у вигляді меленого вапняку (МВ). Для забезпечення рухливості суміші за діаметром розтікання стандартного конуса в межах не менше 310 мм і не більше 370 мм, границі міцності при стиску бетону в проектному віці не менше 55 МПа, зона оптимальних складів знаходиться у межах: (В/Ц=0,449–0,425); (МВ=15–33 %).

Ключові слова: самоущільнювальний бетон, оптимізація складу, розтікання конуса, міцність при стиску, рівняння регресії.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ ДОРОЖНОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА ПО КРИТЕРИЯМ ПОДВИЖНОСТИ СМЕСИ И ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ

Н. М. Зайченко ^a, А. И. Сердюк ^a, А. В. Назарова ^b, Маршди Косай Сахіб Раді ^b

^a Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.

^b Луганский национальный аграрный университет,
городок ЛНАУ, г. Луганск, Украина, 91008.

E-mail: ^a Zaichenko_nicola@mail.ru

Получена 10 марта 2015; принята 27 марта 2015.

Аннотация. Применение самоуплотняющихся бетонов (СУБ) в дорожном строительстве обеспечивает улучшение качества дорожной одежды, повышение скорости строительства, снижение энергопотребления и трудоемкости процесса. В то же время необходимо решить достаточно сложную противоречивую задачу – с одной стороны, обеспечить высокую подвижность (самоуплотняемость) смеси в процессе формирования, с другой – способность свежесформованного массива сохранять форму без оседания непосредственно после экструзии из слип-формера (эффект тиксотропии). В работе выполнена оптимизация состава СУБ по величине водоцементного отношения и содержанию добавки тонкодисперсного минерального наполнителя в виде молотого известняка (МИ). Для обеспечения подвижности смеси

по показателю диаметра расплыва стандартного конуса в пределах не менее 310 мм и не более 370 мм, предела прочности при сжатии бетона в проектном возрасте не менее 55 МПа, область оптимальных составов лежит в пределах: (В/Ц=0,449–0,425); (МИ=15–33 %).

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, оптимизация состава, расплыв конуса, прочность при сжатии, уравнение регрессии.

OPTIMIZATION OF SELF-COMPACTING CEMENT ROAD CONCRETE ON THE CRITERIA OF THE MOBILITY OF THE MIXTURE AND COMPRESSIVE STRENGTH

Mykola Zaichenko ^a, Alexander Serduk ^a, Antonina Nazarova ^b, Marshdi Sahib Qosai Radi ^b

^aDonbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

^bLugansk National Agrarian University,
LNAU town, Lugansk, Ukraine, 91008.

E-mail: ^aZaichenko_nicola@mail.ru.

Received 10 March 2015; accepted 27 March 2015.

Abstract. Application of self-compacting concrete (SCC) in road construction provides improved quality of the road pavement, increased speed of construction, reduced energy consumption and laboriousness of the process. However, it is necessary to solve the conflicting rather complicated task – to provide high mobility (self-compactness) of concrete mix during the molding process, on the other hand – to provide the ability to retain the shape of fresh concrete without sedimentation immediately after extrusion of the slip-former (the thixotropic effect). The optimization of the formulation of SCC on the water-cement ratio value as well as the content of fine additive in the form of milled limestone (ML) has been done. To ensure the mobility of the concrete mix according to the data of spread diameter of standard cone within 310–370 mm and the concrete compressive strength not less than 55 MPa, the region of optimum formulations has to be in the range of: (W/C=0.449–0.425); (ML=15–33 %).

Keywords: self-compacting concrete, optimization of the formulation, slump flow, compressive strength, regression equation.

Введение

Мировая практика показывает, что в целом ряде стран в качестве основной альтернативы асфальтобетону при строительстве покрытий автомобильных дорог рассматривают цементный бетон [1]. В конце 1950-х в США началось интенсивное строительство сети межштатных магистральных дорог с цементобетонными покрытиями [2]. В настоящее время 60 % межштатных дорог с интенсивным движением транспортных средств имеют цементобетонные покрытия [3, 4]. Строительство дорог с цементобетонным покрытием в Австрии концентрируется преимущественно на высококлассных автобанах и скоростной дорожной сети, где постоянно растет интенсивность движения с участием тяжелых грузовиков и где растут требования к безопасности движения не

только на трассах, но особенно в туннелях, длина которых превышает более 1000 м [5, 6]. В Чехии за последние 15 лет построено 65 % новых дорог из цементобетона. В Австрии и Великобритании доля цементобетонных дорог составляет свыше 50 %, в Бельгии – 40 %, в Германии – 35...38 % [5–8].

Основные преимущества дорожных одежд с цементобетонными покрытиями и основаниями заключаются в том, что при примерно одинаковой строительной стоимости они обеспечивают значительно более долгий межремонтный срок эксплуатации по сравнению с нежесткими дорожными одеждами [2]. Цементобетонные покрытия обеспечивают более высокий уровень транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог и условий движения по ним в

течение срока службы жестких дорожных одежд [9]. Кроме того, при движении автомобилей со скоростью 90...110 км/ч на цементобетонных покрытиях расходуется примерно на 5...10 % меньше топлива, чем на асфальтобетонных [7, 10].

В настоящее время в мировой практике строительства автомобильных дорог с жестким покрытием повсеместно используются специальные бетоноукладчики – слип-формеры, которые не требуют какой-либо стальной или деревянной опалубки и обеспечивают непрерывное бетонирование дорожного полотна толщиной от 50 до 300 мм и шириной от 1 800 до 6 100 мм. Процедура бетонирования объединяет укладку бетонной смеси, ее уплотнение и отделку свежееотформованной поверхности в единый процесс. Бетонная смесь с подвижностью менее 5 см находится в передней части слип-формера, который перемещается вперед со скоростью до 4,5 м/мин. Бетонная смесь, попадая в полость слип-формера, уплотняется внутренними электрическими вибраторами, а затем экструдируется в задней части укладчика. Свежееотформованная бетонная смесь сохраняет форму и готова для дальнейшей отделки поверхности [11].

Недостатком данного способа бетонирования является появление на поверхности дорожного полотна так называемых продольных «вибрационных дорожек» – в местах действия вибраторов, где свойства бетона значительно отличаются от основного массива [12]. В связи с тем, что бетонная смесь имеет достаточно жесткую консистенцию, требуется высокая интенсивность вибрационных колебаний. Современные научно-практические исследования направлены на разработку составов бетонных смесей, не требующих вибрационного уплотнения – самоуплотняющихся бетонных смесей. Применение самоуплотняющихся бетонов в дорожном строительстве обеспечивает улучшение качества дорожного полотна, повышение скорости строительства, снижение энергопотребления и трудоемкости процесса, а также соответствует основным принципам «устойчивого строительства» [11].

В то же время необходимо решить достаточно сложную противоречивую задачу – с одной стороны, обеспечить высокую подвижность (самоуплотняемость) смеси в процессе формирования, с другой – способность свежееотформован-

ного массива сохранять форму без оседания непосредственно после экструзии из слип-формера (эффект тиксотропии). Таким образом, согласно [11] самоуплотняющийся дорожный бетон в отличие от традиционного СУБ должен быть не настолько текучим, но обладать достаточной удобоукладываемостью для укладки в полотно без вибрационного уплотнения (1), сохранять форму после экструзии из укладчика (2), а также иметь требуемые прочность и долговечность в бетонном покрытии (3).

Эти условия могут быть выполнены при рациональном подборе состава бетона, в частности при оптимальном содержании химических модификаторов (суперпластификатор, модификатор вязкости) и минеральных добавок (тонко-молотых наполнителей).

Исследованиями, выполненными специалистами Технологического университета штата Айова [11], показано, что бетонные смеси, применяемые для укладки дорожного полотна слип-формерами без вибрационного уплотнения по показателям удобоукладываемости должны занимать промежуточное положение между умеренно подвижными и самоуплотняющимися бетонными смесями. Модифицированные бетонные смеси с тщательно подобранным гранулометрическим составом заполнителей, которые одновременно показывают осадку конуса в пределах 18...24 см и распыл конуса в пределах 330...400 мм, характеризуются достаточно высокой способностью к сохранению формы в процессе бетонирования дорожного полотна.

Целью настоящего исследования является подбор состава дорожного СУБ и его оптимизация по величине водоцементного отношения и содержанию добавки тонкодисперсного минерального наполнителя в виде молотого известняка для обеспечения требуемых показателей подвижности бетонной смеси и предела прочности при сжатии бетона в проектном возрасте.

Характеристика принятых для исследований материалов и методов

В качестве вяжущего материала принят портландцемент ПЦ I-500 Н производства ПАО «Хайдельберг Цемент Украина» (г. Амвросиевка), отвечающий требованиям ДСТУ Б В.2.7-46:2010 «Цементи загальнобудівельного призначення.

Технічні умови»; мелкого заполнителя – кварцевый песок (П) Кондрашевского карьера Луганской области (ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт»); крупного заполнителя – щебень (Щ) гранитный Торезского карьера Донецкой области (фракция 5...20 мм, насыпная плотность 1403 кг/м³).

Для регулирования свойств бетонных смесей и бетонов приняты химические модификаторы: суперпластификатор (СП) на основе модифицированного акрилового полимера (Дунапон SR-3, Марей), добавка, снижающая усадку бетона на основе полипропиленгликолиевого полимера (Маресуре SRA 25, Марей), а также минеральные добавки (наполнители): микрокремнезем (МК) «Марепласт SF» (Марей), молотый известняк (МИ) ($S_{уд} = 385 \text{ м}^2/\text{кг}$), расширяющийся компонент (РК) в виде порошкообразной добавки на основе оксида кальция «Ехранcrete» (Марей).

Технологические свойства бетонных смесей определяли в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-114-2002 «Бетонні суміші. Методи випробувань», самоуплотняющихся бетонных смесей – согласно Европейским директивам по самоуплотняющемуся бетону (The European Guidelines for Self Compacting Concrete) [13, 14]. Прочностные показатели бетонов определяли на образцах-кубах с размером ребра 0,07 м.

Оптимизацию составов комплексного модификатора выполняли с применением метода математического планирования эксперимента (ПФЭ 2^k). Статистический анализ и обработку полученных результатов проводили с использованием программы «Астат 2.6», работающей в среде «MathCAD for Windows».

Результаты экспериментов и обсуждение

После выполненных расчетов и экспериментальной проверки в качестве базового принят состав бетонной смеси, характеризующейся классом подвижности SF1 по показателю текучести (диаметра расплыва $D=540 \text{ мм}$) и пределом прочности при сжатии в возрасте 28 суток 34 МПа. Расход компонентов, кг/м³: ПЦ=433; П=663; Щ=980; В=211 ($V/C=0,52$); РК=30; МК=48; СП=6,9; SRA=6,9.

На первом этапе была исследована зависимость подвижности бетонной смеси от величины водоцементного отношения при постоянном расходе цемента и добавок-модификаторов. Установлено (рис. 1), что величина расплыва конуса $D=350 \text{ мм}$ достигается при значении водоцементного отношения $V/C=0,445$.

На втором этапе на основе метода планирования эксперимента ПФЭ=2^k выполнена оптимизация состава СУБ по величине водоцементного отношения и содержанию добавки тонкодисперсного минерального наполнителя в виде молотого известняка. Последний используется для повышения когезии (вязкости) бетонной смеси, что необходимо для обеспечения стабильности формы бетонной полосы после формования. Базовый состав бетонной смеси, в котором расход молотого известняка (МИ) принят в количестве 25 % от массы цемента, кг/м³: ПЦ=433; П=635; Щ=953; В=179 ($V/C=0,445$); РК=30; МК=48; МИ=108; СП=6,9; SRA=6,9.

В качестве параметров оптимизации приняты предел прочности бетона при сжатии в проектном возрасте и подвижность бетонной смеси. Граничные значения функций отклика, а также значения факторов варьирования приведены в табл. 1, 2, соответственно.

Матрица планирования и результаты экспериментов представлены соответственно в табл. 3, 4. Уравнения регрессии:

$$\hat{y}_1 = 360,4 + 57,9X_1 - 29,6X_2, \quad (1)$$

$$\hat{y}_2 = 55,4 - 6,88X_1 - 3,28X_2. \quad (2)$$

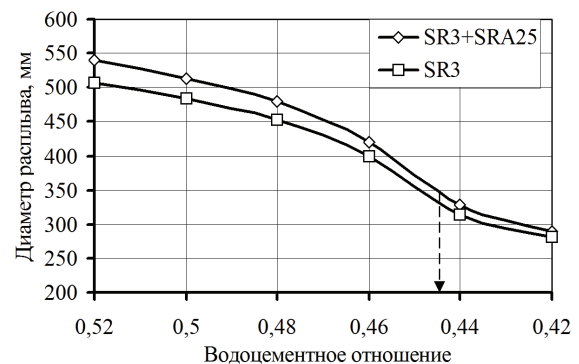


Рисунок 1. Зависимость диаметра расплыва бетонной смеси от водоцементного отношения.

Таблица 1. Параметры оптимизации состава бетонной смеси и их граничные значения

Код параметра оптимизации	Физический смысл параметра оптимизации	Ед. изм.	Граничное значение функции отклика
Y_1	Подвижность бетонной смеси (диаметр расплыва конуса)	мм	не менее 310, не более 370
Y_2	Предел прочности при сжатии образцов бетона в возрасте 28 суток нормального твердения	МПа	не менее 55

Таблица 2. Значение факторов варьирования

Код фактора	Физический смысл фактора	Ед. изм.	Интервал варьирования	Уровни фактора		
				-1	0	+1
X_1	Водоцементное отношение	м.ч.	0,02	0,425	0,445	0,465
X_2	Содержание минерального наполнителя (известняк)	%	10	15	25	35

Таблица 3. Матрица планирования и результаты эксперимента (распływ конуса)

№ оп.	Кодированное значение факторов		Натуральное значение факторов		Выходная переменная D_p , мм			Расчеты	
	X_1	X_2	X_1	X_2	y_{u1}	y_{u2}	\bar{y}_u	s_u^2	\hat{y}_u
1	+1	+1	0,465	35	384	390	387,0	18	388,7
2	-1	+1	0,425	15	271	278	274,5	24,5	272,9
3	+1	-1	0,465	35	446	453	449,5	24,5	447,9
4	-1	-1	0,425	15	328	333	330,5	12,5	332,1

Таблица 4. Матрица планирования и результаты эксперимента (прочность бетона)

№ оп.	Кодированное значение факторов		Натуральное значение факторов		Выходная переменная R_{28} , МПа				Расчеты	
	X_1	X_2	X_1	X_2	y_{u1}	y_{u2}	y_{u3}	\bar{y}_u	s_u^2	\hat{y}_u
1	+1	+1	0,465	35	46,8	48,5	44,5	46,6	8,06	45,54
2	-1	+1	0,425	15	59,5	57,4	56,3	57,7	5,29	58,7
3	+1	-1	0,465	35	53,4	50,2	49,7	51,1	8,06	52,1
4	-1	-1	0,425	15	64,7	68,3	65,9	66,3	6,72	65,26

Формулы перехода от кодированных значений факторов эксперимента к натуральным для уравнений 1 и 2 соответственно имеют вид:

$$X_1 = \frac{x_1 - 0,445}{0,02}; X_2 = \frac{x_2 - 25}{10}. \quad (3, 4)$$

Графическая интерпретация уравнения регрессии (1), характеризующего изменение подвижности бетонных смесей (распływ конуса, мм) от действующих факторов (X_1, X_2), представлена на рис. 2. Установлено, что на величину текучести бетонной смеси в большей мере оказывает влияние фактор (X_1) – величина водоцементного отношения, чем фактор (X_2) – содержание

добавки тонкомолотого наполнителя. Рост водоцементного отношения ожидаемо приводит к повышению текучести бетонной смеси, напротив повышенное содержание молотого известняка снижает текучесть, что является следствием более высокой вязкости и когезии смеси.

Графическая интерпретация уравнения регрессии (2), характеризующего изменение предела прочности при сжатии бетона, МПа, от действующих факторов (X_1, X_2), представлена на рис. 3. Показано, что с ростом как фактора X_1 , так и фактора X_2 прочность бетона снижается. Область оптимальных значений фактора X_1 находится в пределах: В/Ц=0,455–0,425.

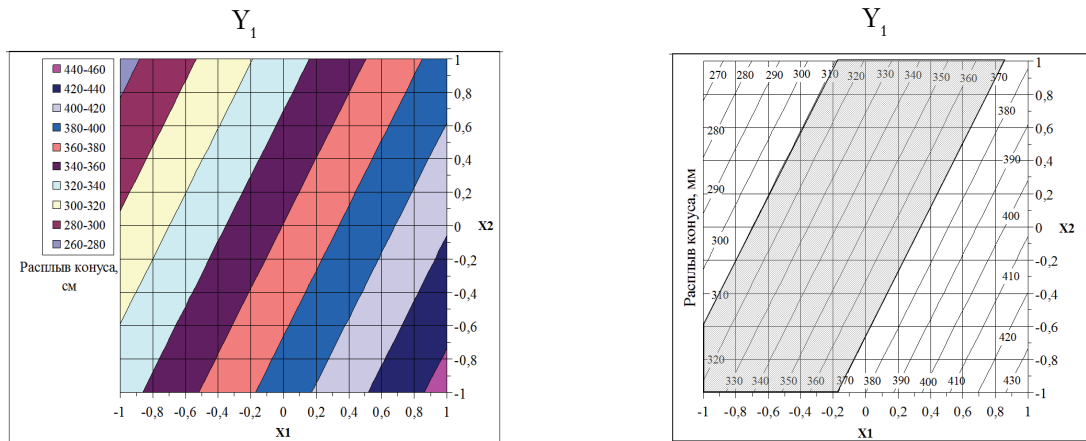


Рисунок 2. Графическая интерпретация уравнения регрессии (1), характеризующего изменение подвижности бетонных смесей (распływ конуса, мм), от действующих факторов (X_1, X_2).

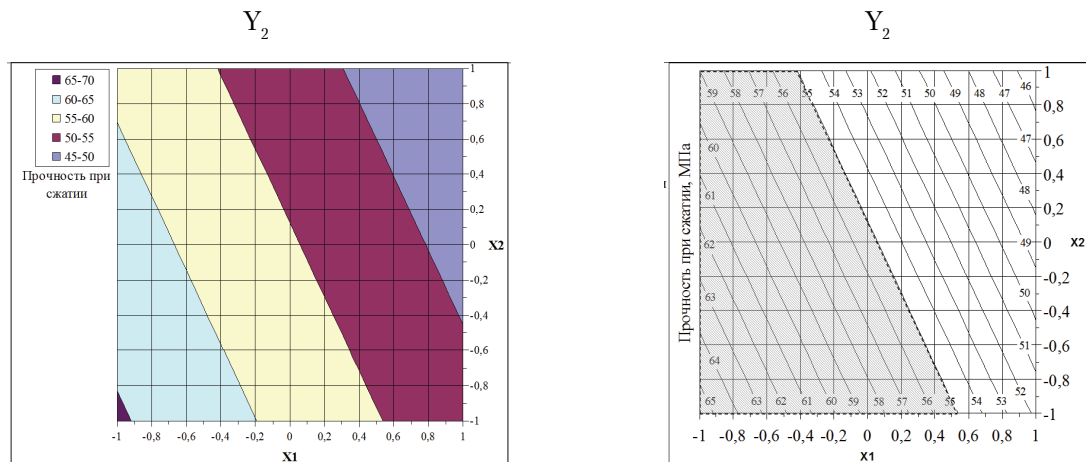


Рисунок 3. Графическая интерпретация уравнения регрессии (2), характеризующего изменение предела прочности при сжатии, МПа, от действующих факторов (X_1, X_2).

В соответствии с принятыми граничными значениями функций отклика: подвижность по диаметру расплыва стандартного конуса в пределах не менее 310 мм и не более 370 мм; предел прочности при сжатии бетона в проектном возрасте не менее 55 МПа, область оптимальных составов бетонных смесей по величине водоцементного отношения ($V/C=0,449-0,425$) и содержанию тонкомолотого наполнителя ($MI=15-33\%$) представлена на рис. 4.

По показателю удобоукладываемости бетонные смеси, которые попадают в область оптимальных составов, находятся в промежуточном положении между показателем подвижности по осадке конуса П5 и показателем текучести по диаметру расплыва, соответствующего классу SF1.

Выводы

Выполнена оптимизация состава дорожного самоуплотняющегося бетона по величине водоцементного отношения и содержанию добавки тонкодисперсного минерального наполнителя в

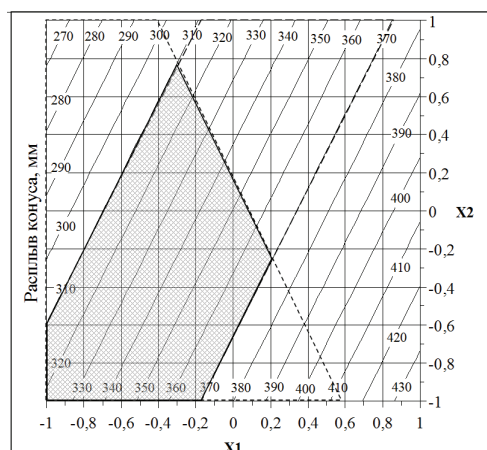


Рисунок 4. Области оптимальных составов СУБ.

виде молотого известняка. Для обеспечения подвижности смеси по диаметру расплыва стандартного конуса в пределах не менее 310 мм и не более 370 мм; предела прочности при сжатии бетона в проектном возрасте не менее 55 МПа, область оптимальных составов лежит в пределах: ($V/C=0,449-0,425$); ($MI=15-33\%$).

Литература

1. Носов, В. П. Эффективность применения цементобетонных покрытий на автомобильных дорогах [Текст] / В. П. Носов // Цемент и его применение. – 1997. – № 1. – С. 26–28.
2. Радовский, Б. С. Опыт использования старого цементобетона как основания под асфальтобетонное покрытие в США [Текст] / Б. С. Радовский // Дорожная техника : Каталог-справочник. – Санкт-Петербург : Славутич, 2010. – С. 20–32.
3. Ушаков, В. В. Автомобильные дороги. Ремонт цементобетонных покрытий автомобильных дорог [Электронный ресурс]. Обзорная информация. Вып. 6 / В. В. Ушаков. – М. : Информационный центр по автомобильным дорогам, 2002. – Режим доступа : <http://www.gosthelp.ru/text/ObzornayainformaciyaAvtom15.html>.
4. Радовский, Б. С. Цементобетонные покрытия в США [Текст] / Б. С. Радовский // Дорожная техника : Каталог-справочник. – Санкт-Петербург : Славутич, 2009. – С. 50–58.
5. Hela, R. New Generation Cement Concretes [Текст]. Ideas, Design, Technology and Applications 2 : LLP-Erasmus: 8203-0519/IP/Kosice 03/REN / R. Hela, L. Bodnřrovb. – Brno : Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, – 2009. – 174 p.

References

1. Nosov, V. P. Efficiency of practice of cement concrete covering on Highway. In: *Cement and its application*, 1997, № 1, p. 26–28. (in Russian)
2. Radovskii, B. S. Experience of usage of aged cement concrete as subbottom asphalt concrete covering in the USA. In: *Highway Engineering: Check list – Reference book*. St. Petersburg: Slavutich, 2010, p. 20–32. (in Russian)
3. Ushakov, V. V. Highways. Repair of cement concrete covering. Survey information. Issue the sixth. Moscow: Information center according to Highways, 2002. Accessed at: <http://www.gosthelp.ru/text/ObzornayainformaciyaAvtom15.html>. (in Russian)
4. Radovskii, B. S. Cement concrete covering in the USA. In: *Highway Engineering: Cyeck list – Reference book*. St. Petersburg: Slavutich, 2009, p. 50–58. (in Russian)
5. Hela, R.; Bodnřrovb, L. New Generation Cement Concretes. Ideas, Design, Technology and Applications 2: LLP-Erasmus: 8203-0519/IP/Kosice 03/REN. Brno: Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, 2009. 174 p.
6. Śliwiński, Jacek; Hager, Izabela; Tracz, Tomasz; Zdeb, Tomasz; Zych, Teresa; Hela, Rudolf; Bodnřrovb, Lenka; Sičřkovb, Alena. New Generation Cement

6. New Generation Cement Concretes [Текст]. Ideas, Design, Technology and Applications 3 / Jacek Śliwiński, Izabela Hager, Tomasz Tracz [et al.]. – Cracow : Cracow University of Technology, 2010. – 189 p. – ISBN 978-83-7242-531-7.
7. Ушаков, В. В. Магистральям России – Долговечные покрытия [Текст] / В. В. Ушаков // Дороги Евразии : Российский информационно-технический журнал. – 2014. – № 1. – С. 22–25.
8. Толмачев, С. Н. Строительство автодорог с цементобетонным покрытием в Украине – реальность сегодняшнего дня [Текст] / С. Н. Толмачев // Автошляховик України. – 2013. – № 4(234). – С. 36–40.
9. Коганзон, М. С. Автомобилизация требует жестких дорожных одежд. Современные возможности применения цементобетона при строительстве дорожных одежд в России [Электронный ресурс] / М. С. Коганзон // Строительный эксперт : Газета. – 2004. – 12 ноября. – Режим доступа : <http://www.proektstroy.ru/publications/view/7689>.
10. Юшков, В. С. Использование твердых отходов черной металлургии в материалах для строительства автомобильных дорог [Текст] / В. С. Юшков, К. Г. Пугин // В мире научных открытий. – 2010. – № 5, Ч. 4. – С. 53–57.
11. Self-Consolidating Concrete – Applications for Slip-Form Paving: Phase I (Feasibility Study) [Текст] : Final Report / K. Wang, S. P. Shah, D. J. White, J. Gray [et al.]. – [S. l.] : Center for Portland Cement Concrete Pavement, Technology Iowa State University, 2005. – 63 p.
12. Mbele, J.-J. Optimization of Self-Consolidating Concrete for Slip-form pavement [Текст] : A thesis submitted in partial fulfillment for the degree of Master of Science in Civil and Environmental Engineering / Jean-Juste Mbele. – [S. l.] : Northwestern University, 2006. – 83 p.
13. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete [Текст] : Specification, Production and Use / The European Precast Concrete Organisation [et al.]. – [S. l.] : SCC European Project Group, 2005. – 63 p.
14. Болотских, О. Европейские методы физико-механических испытаний бетона [Текст] / О. Болотских. – Х. : Первое издание, 2010. – 143 с.
- Concretes. Ideas, Design, Technology and Applications 3. Cracow: Cracow University of Technology, 2010. 189 p. ISBN 978-83-7242-531-7.
7. Ushakov, V. V. Highway of Russia – durable coatings. In: *Roads of Eurasia: Russian information and technical journal*, 2014, № 1, p. 22–25. (in Russian)
8. Tolmachev, S. N. Highway engineering, having cement concrete covering in Ukraine is actuality of today. In: *Highways of Ukraine*, 2013, № 4(234), p. 36–40. (in Russian)
9. Koganzon, M. S. Automobiliation requires rigid pavement State-of-the-art capability of cement concrete practice when pavement civil engineering in Russia. In: *Engineering expert: Newspaper*, 2004, November, 12. Accessed at: <http://www.proektstroy.ru/publications/view/7689>. (in Russian)
10. Yushkov, V. S.; Pugin, K. G. Practice of hard waste of ferrous metallurgy in materials for Highway Engineering. In: *Throughout the world of scientific discovery*, 2010, № 5, part 4, p. 53–57. (in Russian)
11. Wang, Kejin; Shah, Surendra P.; White, David J.; Gray, Joseph; Voigt, Thomas; Gang, Lu; Hu, Jiong; Halverson, Clinton; Pekmezci, Bekir Yilmaz. Self-Consolidating Concrete – Applications for Slip-Form Paving: Phase I (Feasibility Study): Final Report. [S. l.]: Center for Portland Cement Concrete Pavement, Technology Iowa State University, 2005. 63 p.
12. Mbele, Jean-Juste. Optimization of Self-Consolidating Concrete for Slip-form pavement: A thesis submitted in partial fulfillment for the degree of Master of Science in Civil and Environmental Engineering. [S. l.]: Northwestern University, 2006. 83 p.
13. The European Precast Concrete Organisation [et al.]. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use. [S. l.]: SCC European Project Group, 2005. 63 p.
14. Bolotских, O. European methods of physical testing of concrete. Kharkov: First Edition, 2010. 143 p. (in Russian)

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: високоміцні і особливо високоміцні бетони на основі модифікованих дисперсних компонентів бетону.

Сердюк Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології і хімії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: утилізація відходів промисловості при виробництві будівельних матеріалів та виробів.

Назарова Антоніна Василівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри будівництва Луганського національного аграрного університету. Наукові інтереси: бетони з використанням відходів промисловості.

Маршді Косай Сахіб Раді – аспірант кафедри будівництва Луганського національного аграрного університету. Наукові інтереси: дорожні цементні бетони з компенсованою усадкою.

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: высокопрочные и особо высокопрочные бетоны на основе модифицированных дисперсных компонентов бетона.

Сердук Александр Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: утилизация отходов промышленности при производстве строительных материалов и изделий.

Назарова Антонина Васильевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры строительства Луганского национального аграрного университета. Научные интересы: бетоны с использованием отходов промышленности.

Маршди Косай Сахиб Раді – аспірант кафедри будівництва Луганського національного аграрного університету. Наукові інтереси: дорожні цементні бетони з компенсованою усадкою.

Zaichenko Mykola – D.Sc. in Engineering, Professor, the head of Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-strength and high-performance concretes based on modified fillers.

Serduk Alexander – D.Sc. in Engineering, Professor, a head of Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: utilization of waste products in production of building materials and products.

Nazarova Antonina – Ph.D. in Engineering, Senior Researcher, Assistant Professor, Civil Engineering Department, Lugansk National Agrarian University. Scientific interests: concretes, having waste utilization of industry.

Marshdi Sahib Qosai Radi – postgraduate student, Civil Engineering Department, Lugansk National Agrarian University. Scientific interests: road cement concrete, having equalized shrinkage loss.