

ВЛИЯНИЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДИФИКАТОРА (ДОБАВКА, СНИЖАЮЩАЯ УСАДКУ – СУПЕРПЛАСТИФИКАТОР – МИКРОКРЕМНЕЗЕМ) НА СВОЙСТВА САМОУПЛОТНЯЮЩЕЙСЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ И ТВЕРДЕНИЕ БЕТОНА

ВПЛИВ ПОЛФУНКЦІОНАЛЬНОГО МОДИФІКАТОРА (ДОБАВКА, ЩО ЗНИЖУЄ УСАДКУ – СУПЕРПЛАСТИФІКАТОР – МІКРОКРЕМНЕЗЕМ) НА ВЛАСТИВОСТІ БЕТОННОЇ СУМІШІ, ЩО САМОУЩІЛЬНЮЄТЬСЯ, І ТВЕРДЕННЯ БЕТОНУ

THE INFLUENCE OF MULTIFUNCTIONAL MODIFIER (SHRINKAGE REDUCING ADMIXTURE – SUPERPLASTICIZER – SILICA FUME) ON THE PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE MIXTURE AND CONCRETE HARDENING

Зайченко Н.М., д.т.н., проф. (Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка), **Назарова А.В., к.т.н., с.н.с., Ал-Маршди Косай** (Луганский национальный аграрный университет)

Зайченко М.М., д.т.н., проф. (Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Макіївка), **Назарова А.В., к.т.н., с.н.с., Ал-Маршді Косай** (Луганський національний аграрний університет)

Zaichenko M.M., Doctor of Engineering, Professor (Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makiyivka), **Nazarova A.V., PhD, Al-Marshdi Kosai** (Lugansk National Agricultural University)

Установлено, что с увеличением содержания полифункционального модификатора в составе самоуплотняющейся бетонной смеси, в т.ч. добавки SRA, наблюдается повышение показателей технологических свойств. В то же время, добавка SRA снижает прочность бетона при сжатии в зависимости от дозировки на 6,3-12,3 % в раннем и на 5,8-7,9 % в проектном возрасте твердения.

Встановлено, що зі збільшенням вмісту поліфункціонального модифікатора у складі самоупільнювальної бетонної суміші, в т.ч. добавки SRA, спостерігається підвищення показників технологічних властивостей. В той же час, добавка SRA знижує міцність бетону при стиску в залежності від дозування на 6,3-12,3 % у ранньому і на 5,8-7,9 % в проектному віці тверднення.

It has been established that the higher content of the multifunctional modifier in the formulation of self-compacting concrete mixtures, including admixture of SRA, the higher the indicators of technological properties. At the same time the admixture SRA reduces compressive strength of concrete according to the dosing on 6.3-12.3% at early and on 5.8-7.9% in designed age of hardening.

Ключові слова:

Самоуплотняюча бетонна суміш, растекаємост, добавка, знижуюча усадку, суперпластифікатор, мікрокремнезем, бетон, міцність при стиску. Самоущільнювальна бетонна суміш, розтікання, добавка, що знижує усадку, суперпластифікатор, мікрокремнезем, бетон, міцність при стиску. Self-compacting concrete, flowability, shrinkage reducing admixture, superplasticizer, silica fume, concrete, compressive strength.

Состояние вопроса и задачи исследования. Важнейшей задачей ученых в области строительного материаловедения является формирование общественного мнения об эффективности инновационных проектов в дорожном строительстве, основанных на широком применении цементного бетона [1]. Целесообразность применения цементного бетона при строительстве дорог, автомагистралей и аэропортов обусловлена высокой несущей способностью и низкими эксплуатационными расходами. По данным [2] стоимость эксплуатации цементобетонных покрытий на 20-25 % ниже в сравнении с асфальтобетонными (расчетный срок 20 лет). При этом доступен широкий выбор материалов для ремонта дорог – быстротвердеющие, высокопрочные составы на основе портландского, глиноземистого, сульфаталюминатного, фосфатного или модифицированного полимером цемента, армирующие волокна и т.п. [3].

Дороги с жесткими покрытиями из бетона строятся преимущественно для участков с интенсивным движением и большими нагрузками, где требуется высокая долговечность покрытий. Наибольший процент жестких дорожных покрытий реализовано на автострадах США, Бельгии, Германии и Австрии. Так, в США 60 % межштатных дорог с интенсивным движением транспортных средств имеют цементобетонные покрытия. Бельгия и Нидерланды являются лидерами по строительству автомобильных дорог с бетонным покрытием не только на участках с интенсивным движением автомобилей, но и для сельскохозяйственных дорог. Строительство автомобильных дорог с жесткими дорожными покрытиями в Австрии концентрируется преимущественно на высококлассных автобанах и скоростной дорожной сети, где постоянно растут интенсивность движения с участием тяжелых грузовиков (свыше 8000 ед. в сутки) и требования к безопасности движения (туннели, перекрестки, пешеходные переходы, остановки и т.п.) [1, 4].

С другой стороны, следует отметить, что как асфальтобетонные (нежесткие), так и цементобетонные (упруго-жесткие) дорожные одежды работают в условиях сложного напряженного состояния под действием повторных динамических нагрузок от автомобилей и переменных температурно-влажностных условий окружающей среды. Так, при эксплуатации в условиях жаркого климата асфальтобетонные покрытия подвержены деформациям и разрушениям, из которых наиболее распространены колеи, волны, наплывы и выбоины [4, 5].

В то же время, основными недостатками дорожных одежд, выполненных из цементного бетона, являются длительный технологический процесс набора прочности бетона до введения дороги в эксплуатацию, а также поверхностные разрушения вследствие трещинообразования [4]. Наиболее важные характеристики цементов для бетонов дорожных покрытий – прочность при изгибе и равномерность изменения объема, обеспечивающая минимальные усадочные деформации. Особую опасность представляют пересекающиеся трещины в покрытии, после чего снижается его способность распределять нагрузку на нижележащие слои, происходит процесс постепенного разрушения, складывающийся из развития микротрещин, их увеличения, образования макротрещин, их распространения и последующего нарушения сплошности слоя, т.е. происходит процесс усталостного разрушения материала [6].

В дополнение к указанным недостаткам следует особо выделить проблемы, связанные с особенностями строительства и эксплуатации цементобетонных покрытий в условиях сухого жаркого климата. Согласно АСІ-305 "Hot weather concreting" бетонирование в условиях сухого жаркого климата рассматривается как любая комбинация высокой температуры окружающего воздуха и бетонной смеси, низкой относительной влажности среды, высокой скорости ветра и избыточной солнечной радиации, которые могут оказать влияние на твердение и свойства бетона [7]. Климатические условия в жарких и засушливых районах мира являются крайне неблагоприятными для бетона. Температура в течение летних суток, например в Пакистане, Ираке, Саудовской Аравии, может меняться в пределах 30°C, относительная влажность воздуха от 40 до 100 % [8]. Такие условия обуславливают повышенную водопотребность и более высокую скорость потери подвижности бетонной смеси, ускорение сроков схватывания, более высокую тенденцию к развитию пластической усадки. Для затвердевшего бетона характерно снижение проектной прочности вследствие повышенной водопотребности и/или более высокой температуры бетонной смеси в процессе укладки и твердения, тенденция к развитию усадки при высушивании и термического трещинообразования, пониженная долговечность вследствие наличия трещин [8-11]. Поэтому прочность, долговечность, износоустойчивость, простота эксплуатации и ремонта

являются основными требованиями при проектировании и конструировании слоев автомобильных дорог, особенно в условиях сухого жаркого климата.

Перспективным в технологии дорожного цементного бетона является разработка комплексных модификаторов полифункционального действия для повышения удобоукладываемости бетонных смесей и сохраняемости ее во времени, регулирования кинетики твердения бетона и повышения его конечной прочности и долговечности. Необходимы мероприятия по предотвращению потерь влаги из бетона немедленно после формирования [12].

Аутогенная усадка и усадка при высушивании являются главными причинами трещинообразования в бетоне с низким значением водоцементного фактора (НРС – высококачественные бетоны). Особенно это проявляется в бетонных покрытиях автомобильных дорог, паркингов, мостовых сооружений. Для решения этой проблемы хорошо зарекомендовали себя химические добавки на основе этиленгликолевого (полипропиленгликолевого) полимера, снижающие усадку бетона – Shrinkage Reducing Admixtures (SRA) [13-15], которые обеспечивают значительное уменьшение поверхностного натяжения поровой жидкости и, соответственно, капиллярного давления, что приводит к снижению деформаций усадки. Отмечено также понижение максимальной температуры при гидратации вяжущего и интегрального тепловыделения. Это связано с замедляющим эффектом добавки на схватывание цементной пасты. В то же время, добавка SRA незначительно снижает прочность бетона при сжатии как в раннем, так и проектном возрасте [13]. Исходя из природы добавки SRA – (синергетический комплекс неионогенного ПАВ и гликоля) [16], можно прогнозировать проявление пластифицирующего эффекта в бетонных смесях, что обеспечит возможность уменьшения значения водоцементного отношения для компенсации снижения прочности бетона. При этом практический интерес представляет изучение влияния комплексного модификатора, включающего добавку SRA, суперпластификатор в виде привитого анионного полиэлектролита и микрокремнезем, на свойства бетонных смесей и твердение бетона, что и определяет цель настоящего исследования.

Характеристика исходных материалов и методик исследований. В ходе экспериментальных исследований использованы следующие материалы:

- вяжущее вещество: портландцемент (ПЦ) Балаклеевского комбината ПЦ I-500;
- заполнители: щебень (Щ) гранитный фракции 5-10 мм; песок (П) кварцевый Краснополянского месторождения ($M_{кр}=2,2$);
- наполнитель (Н): молотый известняк ($S_{уд}=385 \text{ м}^2/\text{кг}$);
- активная минеральная добавка: микрокремнезем (МК) Mareplast SF;
- суперпластификатор (СП) – модифицированный акриловый полимер Dynamon SR-3 (Mapei) – раствор 30%-ной концентрации с плотностью 1,08 кг/л; расход – 0,5 % от массы (ПЦ+МК+Н) в пересчете на сухое вещество;

- добавка, снижающая усадку бетона (SRA): Marcure SRA-25 – раствор плотностью 0,91 кг/л; дозировка 1,5 % (по объему) от массы цемента.

Технологические свойства бетонных смесей определяли согласно Европейским директивам по самоуплотняющемуся бетону (The European Guidelines for Self Compacting Concrete) (рис. 1).

Предел прочности при сжатии бетона определяли на образцах-кубах с размером ребра 0,05 м, твердевших в нормальных условиях, в возрасте трех и 28 суток.

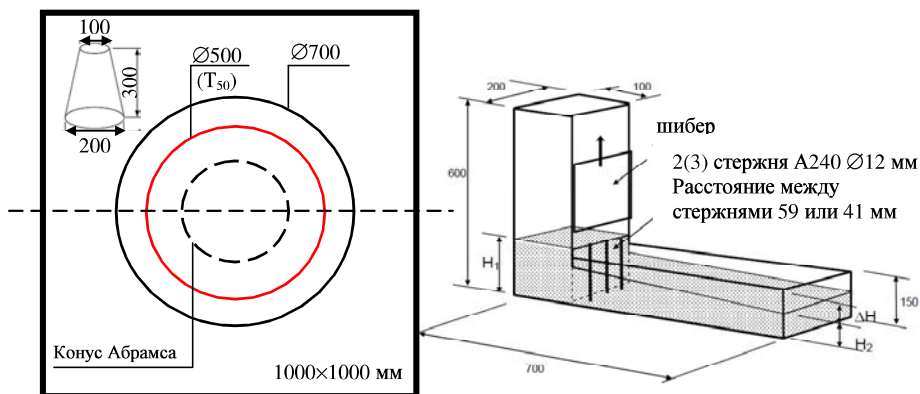


Рис. 1. Схема определения показателей растекаемости (Flowability – Slump-flow test) и способности самоуплотняющихся бетонных смесей течь сквозь арматурные стержни без расслоения или блокирования (Passing Ability – L-box test).

Результаты экспериментов и обсуждение. Для исследования влияния комплексного полифункционального модификатора на технологические свойства бетонных смесей и твердение бетона запроектированы восемь составов высокопрочного самоуплотняющегося бетона, отличающиеся расходом вяжущего (ПЦ+МК) и содержанием добавок СП и SRA (табл. 1).

Таблица 1

Состав бетонных смесей

№	Расход компонентов, кг/м ³						Добавка		
	ПЦ	Щ	П	Н	В/Ц	В/В	МК, кг	СП, л	SRA, л
1	400	576	1080	175	0,42	0,38	44	9,55	-
2	400	576	1080	175	0,42	0,38	44	9,55	6,00
3	450	576	971	175	0,42	0,38	50	10,40	-
4	450	576	971	175	0,42	0,38	50	10,40	6,75
5	500	576	867	175	0,42	0,38	55	11,28	-
6	500	576	867	175	0,42	0,38	55	11,28	7,50
7	550	576	759	175	0,42	0,38	61	12,13	-
8	550	576	759	175	0,42	0,38	61	12,13	8,25

Установлено, что согласно Европейским директивам по самоуплотняющемуся бетону все исследованные составы по показателю способности течь сквозь арматурные стержни без расслоения или блокирования (L-box test H_2/H_1) могут быть отнесены к классу PA2. С увеличением расхода цемента бетонные смеси характеризуются более высокой растекаемостью (D, мм) – классы SF1 (составы 1-2); SF2 (3-7); SF3 (8) и меньшей вязкостью (T_{50} , с) – классы VS2/VF2 (1-7); VS1/VF1 (8) (табл. 2). При этом, для бетонных смесей с одинаковым расходом вяжущего наличие в составе полифункционального модификатора добавки SRA обеспечивает улучшение всех технологических свойств. Так, для состава с максимальным расходом вяжущего и комплексного модификатора (№ 8) растекаемость смеси увеличивается на 7,9 %, а вязкость снижается на 14,3 %.

В то же время, добавка SRA снижает прочность бетона при сжатии как в раннем (в большей степени), так и проектном возрасте твердения. С увеличением расхода добавки снижение прочности проявляется в большей мере. Следует отметить, что механизм влияния SRA на прочность бетона в литературе остается дискуссионным. Рядом авторов показано, что в отличие от суперпластификаторов, добавка SRA в виде неионогенного полимера практически не адсорбируется на продуктах гидратации. Снижение прочности возможно связано со снижением степени гидратации цемента в связи с тем, что добавка SRA увеличивает удельную поверхность новообразований и, соответственно, количество физически связанной воды. В результате, в бетонах с низким значением водоцементного отношения может быть недостаточно воды, доступной для гидратации цемента [16]. В этой связи эта проблема, как и проблема трещинообразования, вызванная аутогенной усадкой, для высокопрочных цементных бетонов с низким В/Ц может ассоциироваться с необходимостью обязательного внутреннего ухода, что требует проведения дальнейших исследований в этом направлении.

Таблица 2

Свойства бетонных смесей и бетонов

№	Растекаемость смеси		L-box, H_2/H_1	ρ_{ϕ} , кг/м ³	Прочность бетона при сжатии, МПа			
	D, мм	T_{50} , с			R_3	$-\Delta R_3$, %	R_{28}	$-\Delta R_{28}$, %
1	626	2,8	0,80	2436	28,4		65,2	
2	640	2,5	0,83	2432	26,6	-6,3	61,4	-5,8
3	655	2,5	0,84	2405	34,3		74,0	
4	700	2,3	0,89	2410	31,4	-8,45	69,6	-5,95
5	702	2,2	0,89	2390	37,2		73,8	
6	753	2,2	0,92	2386	33,1	-11,0	68,5	-6,8
7	732	2,1	0,90	2359	38,2		77,2	
8	790	1,8	0,94	2362	33,5	-12,3	71,1	-7,9

Выводы. Установлено, что с увеличением содержания полифункционального модификатора в составе самоуплотняющейся бетонной смеси, в т.ч. добавки SRA, наблюдается повышение показателей технологических свойств. В то же время, добавка SRA снижает прочность бетона при сжатии в зависимости от дозировки на 6,3-12,3 % в раннем и на 5,8-7,9 % в проектном возрасте твердения. С учетом пластифицирующего эффекта добавки SRA возможно снижение водоцементного отношения без ухудшения технологических свойств смесей, что обеспечивает устранение негативного влияния добавки на прочность бетона. Дальнейшие исследования должны быть направлены на исследование влияния полифункционального модификатора на показатели усадки бетона.

1. Буров М.П. Эколого-экономические проблемы и совершенствование бетонного производства / М.П. Буров // Технологии бетонов. – 2012, No 9-10. – С. 26-29. 2. Cement Concrete Roads Vs Bituminous Roads – A Cost Analysis / Cement Manufacturer's Association // Grameen Sampark. – P. 28-31. 3. Concrete Pavement Maintenance / Repair // Cement Concrete & Aggregates Australia. – June 2009. – 15 pp. 4. New Generation Cement Concretes. Ideas, Design, Technology and Applications 2 / R. Hela, L. Bodnarova et al. // LLP-Erasmus: 8203-0519/IP/Kosice 03/REN: Brno University of Technology, 2009. – 174 pp. 5. Голубев В.А. Проблемы покрытия автомобильных дорог / В.А. Голубев, В.А. Анферов // Цемент и его применение. – 1997. – No 1. – С. 37-40. 6. Ильин А.Г. Исследование влияния некоторых особенностей структуры дорожного цементобетона на его усталость / А.Г. Ильин // Дис... канд. техн. наук. – X.: ХАДИ, 1965. – 172 с. 7. Hot weather concrete – Tips and Reminders // www.cemexusa.com. – Technical bulletin. – 2008. – 3 pp. 8. Shrinkage of plain and silica fume cement concrete under hot weather / O.S.B. Al-Amoudi, M. Maslehuddin, M. Shameem, M. Ibrahim // Cem. and Conc. Comp. – 2007. – Vol. 29, No. 9. – P. 690-699. 9. Ahmad S. Investigation on extreme weather concreting / S. Ahmad, A. Nazir // 29th Conf. on Our World in Concrete & Structures, 25-26 August 2004: Proc. – Singapore, 2004. – P. 125-133. 10. Influence of environmental temperatures on the concrete compressive strength: Simulation of hot and cold weather conditions / J. Ortiz, A. Aguado, L. Agullo, T. Garcia // Cem. and Conc. Res. – 2005. – Vol. 35, No 10. – P. 1970-1979. 11. Khan B. Effect of a Retarding Admixture on the Setting Time of Cement Pastes in Hot Weather / B. Khan, M. Ullah // JKAU: Eng. Sci. – 2004. – Vol. 15, No. 1. – P. 63-79. 12. Soroka I. Hot Weather Concreting with Admixtures / I. Soroka, D. Ravina // Cem. and Conc. Comp. – 1998. – Vol. 20, No. 2-3. – P. 129-136. 13. Canpolat F. SRAs – Recent Studies. Report No. CBU-2003-50, REP-543 / F. Canpolat, T.R. Naik // the University of Wisconsin – Milwaukee: Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science. – December 2003. – 18 pp. 14. Folliard K.J. Properties of high-performance concrete containing shrinkage-reducing admixture / K.J. Folliard, N.S. Berke // Cem. and Conc. Res. – 1997. – Vol. 27, No. 9. – P. 1357-1364. 15. Influence of fly ashes on the drying shrinkage of superplasticized concretes in the presence of SRA / A. Borsoi, M. Collepardi, S. Collepardi, R. Troli // 9th CANMET/ACI Intern. Conf. on Superplasticizers and other Chemical Admixtures in Concrete, 12-16 October 2009: Proc. – Seville (Spain), 2009. – P. 287-296. 16. Eberhardt A.B. On the mechanisms of shrinkage reducing admixtures in self-consolidating mortars and concretes / A.B. Eberhardt // Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor Ingenieur an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus Universität Weimar. – Aachen: Shaker Verlag GmbH, 2011. – 286 pp.