

УДК 666.972.5

**Н. М. ЗАЙЧЕНКО, А. А. СОКОЛОВА**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**УСАДКА И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ДОРОЖНЫХ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ  
С КОМПЛЕКСНЫМ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМ МОДИФИКАТОРОМ**

**Аннотация.** В работе рассмотрено исследование влияния комплексного органоминерального модификатора на свойства дорожного цементного бетона. Установлено, что по мере увеличения содержания добавки, снижающей усадку бетона SRA, наблюдается уменьшение влажностной и стесненной усадки бетона на 23...37 и 6...40 % соответственно, а также скорости испарения и потерь массы вследствие испарения влаги с поверхности бетона на 26...48 %. С учетом пластифицирующего эффекта добавки SRA возможно снижение водоцементного отношения без ухудшения технологических свойств смесей, что обеспечит устранение негативного влияния добавки на прочность бетона.

**Ключевые слова:** дорожный цементный бетон, комплексный органоминеральный модификатор, добавка, снижающая усадку бетона Shrinkage Reducing Admixture (SRA).

**ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Рост интенсивности движения автомобилей, а также их грузоподъемности приводит к существенному возрастанию изнашивающего и разрушающего воздействия автомобилей на дорогу, следствием чего является необходимость в создании прочных дорожных одежд, улучшения транспортно-эксплуатационных качеств покрытий, а также увеличения срока их службы [1, 2].

Решение «дорожных» проблем подразумевает поиск наиболее эффективных материалов и конструкций для устройства дорожного полотна [3, 7]. Как показывает отечественный и мировой опыт, возрастающим требованиям движения, особенно на грузонапряженных магистралях, в наибольшей степени отвечают цементобетонные покрытия [1, 2].

Технология строительства дорог с применением цементобетонных покрытий используется в мире уже около 50 лет [4]. Удельный вес автомобильных дорог с цементобетонным покрытием в развитых странах составляет не менее 30 % от общего объема дорог: в ФРГ – 31 %, США – 35 %, Бельгии – 41 % [1, 5, 8]. Теория и практика убедительно показывают, что в любых климатических условиях, при любой интенсивности и любом составе движения цементобетонные покрытия являются наиболее долговечными. Опыт Германии показал, что после 28 лет эксплуатации в ремонте нуждаются 100 % асфальтобетонных покрытий и 5 % бетонных. Срок службы этих покрытий в среднем достигает порядка 30 лет. Так, при фактическом сроке службы цементобетонных покрытий в США в среднем 26 лет, асфальтобетонных – 16 лет, в Германии – соответственно 26 и 18 лет, за рубежом становится выполнимой задача обеспечить срок службы покрытий 50 лет и более долговечными [9].

Отличительной особенностью цементобетонных покрытий перед асфальтобетонными заключается в том, что при фактически одинаковой стоимости они характеризуются значительно большим межремонтным сроком эксплуатации. Цементобетонное покрытие в меньшей степени подвержено деформациям – на нем не появляются колеи, ямы, выбоины и волнообразность, тем самым обеспечивая транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог в течение всего срока эксплуатации [8, 11]. В то же время, для повышения конкурентоспособности цементобетонных покрытий в сравнении с асфальтобетонными необходимо совершенствовать свойства дорожного бетона, технологию строительства и конструкции покрытий на его основе. Повышение качества и долговечности цементобетонных покрытий может быть достигнуто за счет применения в составе бетона

комплекса органоминеральных модификаторов, а также мероприятий по уходу за свежесформованным бетоном.

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретические и экспериментальное обоснование получения состава высококачественного дорожного цементного бетона и исследование влияния комплексного органоминерального модификатора, представленного микрокремнеземом, суперпластификатором и добавкой, снижающей усадку, на свойства бетона.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования выполнены согласно стандартным и специальным методам с использованием аттестованных средств измерительной техники и испытательного оборудования. Показатели стесненного расширения (стесненной усадки) определены согласно методике, приведенной в ASTM C 878/C 878M-09 «Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-Compensating Concrete». Для исследования влияния температуры бетона и окружающего воздуха, относительной влажности воздуха и скорости ветра на скорость испарения влаги с поверхности бетона был смоделирован процесс укладки бетонного покрытия. Скорость ветра – средняя горизонтальная скорость потока воздуха измерялась над поверхностью испарения чашечным анемометром. Температура и относительная влажность воздуха были измерены над поверхностью испарения на ветреной стороне психрометра.

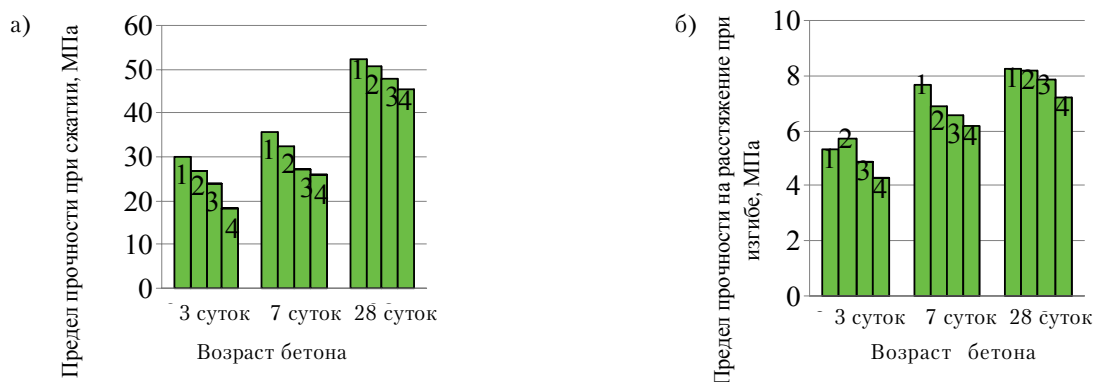
В качестве вяжущего вещества использован портландцемент (ПЦ) Амвросиевского завода ПЦ I-500 Н (активность 51,2 МПа, предел прочности на растяжение при изгибе 6,4 МПа), активной минеральной добавки – микрокремнезем (МК), агрегированный из шламонакопителей Стахановского завода ферросплавов с насыпной плотностью 620 кг/м<sup>3</sup>. Мелким заполнителем (П) служил отсев дробления гранитного щебня с показателем модуля крупности  $M_k = 2,32$ . Крупный заполнитель представлен гранитным щебнем (Щ) Торезского карьера (фракция 5–10 мм, насыпная плотность 1375 кг/м<sup>3</sup>, марка по прочности при раздавливании в цилиндре 1200).

В качестве химических добавок использованы:

- суперпластификатор на основе модифицированного поликарбоксилатного эфира Sika ViskoCrete-3190, плотность 1,055...1,070 г/см<sup>3</sup>;
- добавка, снижающая усадку бетона на основе полипропиленгликолиевого полимера Маресуре SRA25, плотность 0,99±0,02 г/см<sup>3</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты сравнительных исследований влияния содержания комплексного органоминерального модификатора на кинетику твердения бетона представлены на рисунке 1 а, б. Их анализ свидетельствуют о том, что все составы бетона (таблица) показывают повышение показателя предела прочности на протяжении всего периода твердения.



**Рисунок 1** – Кинетика роста прочности бетона: а) предел прочности при сжатии; б) предел прочности на растяжение при изгибе.

Таблица – Состав бетонных смесей

№ состава	Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>					Расход химических добавок, л/м <sup>3</sup>	
	ПЦ	Щ	П	МК	В	Sika*	SRA25*
1	418	1 127	547	47	182	2,0	–
2	418	1 127	547	47	178	2,0	5,0
3	418	1 127	547	47	176	5,6	6,5
4	418	1 127	547	47	173	9,3	8,0

\*Расход суперпластификатора Sika ViskoCrete-3190 принят 0,5–1–2 л /100 кг (ПЦ+МК); расход добавки Маресуре SRA25 – 1–1,5–2 л/100 кг (ПЦ+МК).

Установлено, что показатели предела прочности при сжатии в возрасте 28 суток нормального твердения для всех бетонных составов находятся в пределах 45...52 МПа, что превышает показатель средней прочности бетона класса В30 – 38,4 МПа.

Следует отметить, что максимальное содержание добавки, снижающей усадку бетона SRA25, замедляет твердение бетона в раннем возрасте (3 суток – на 30 %; 7 суток – 22 %) и не существенно влияет на прочность в более поздние сроки твердения (28 суток – на 8 %). Это объясняется тем, что добавка SRA снижает полярность воды затворения, что приводит к снижению растворения и ионизации в воде затворения щелочей. Следовательно, поровая жидкость имеет меньшую концентрацию щелочных ионов, что оказывает непосредственное влияние на скорость гидратации цемента и может обуславливать замедление гидратации и твердения [10]. Эта тенденция сохраняется и для показателей предела прочности на растяжение при изгибе.

После формирования образцы бетона твердели в течение суток в формах, а бетонная поверхность была защищена от испарения влаги полиэтиленовой пленкой. После распалубки образцов и последующей их выдержке в воздушно-сухих условиях в бетоне развиваются усадочные деформации, которые наиболее характерно проявляются в бетоне контрольного состава № 1 (без содержания добавки SRA25), достигая в возрасте 90 суток величины:  $\varepsilon = -0,567$  мм/м – стесненная усадка и  $\varepsilon = -0,729$  мм/м – влажностная. Наличие в бетоне максимального количества добавки SRA25 (состав № 4) значительно снижает величину усадки бетона:  $\varepsilon = -0,328$  мм/м – стесненная усадка,  $\varepsilon = -0,445$  мм/м – влажностная.

Результаты сравнительных исследований влияния содержания комплексного органоминерального модификатора на усадочные деформации бетона представлены на рисунке 2 а, б.

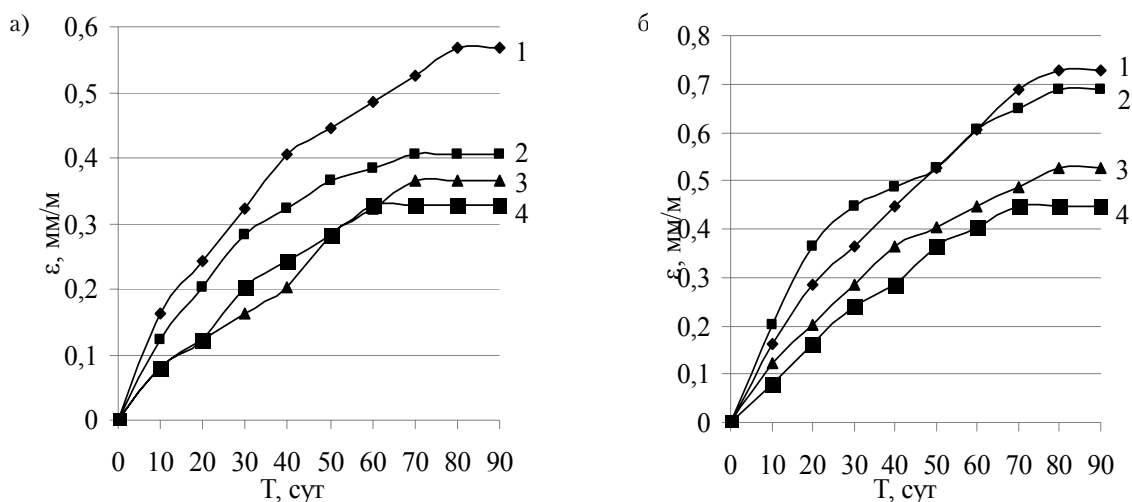


Рисунок 2 – Относительные деформации усадки бетона ( $\varepsilon$ ): а) стесненная усадка; б) влажностная усадка.

Выявлено, что, кроме уменьшения поверхностного натяжения поровой жидкости, добавка SRA обеспечивает значительное снижение скорости испарения и потерь массы вследствие испарения влаги, особенно в ранние сроки твердения (рисунок 3). Значения показателей не превышает 0,5 кг/м<sup>2</sup>·ч, что соответствует рекомендациям Portland Cement Association [6].

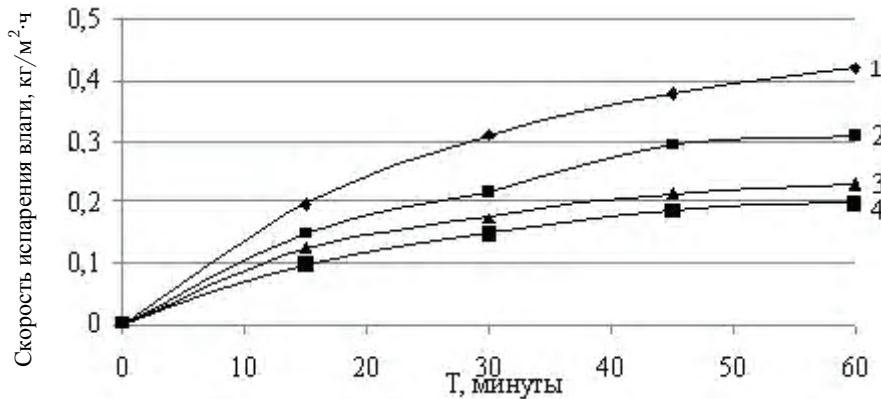


Рисунок 3 – Скорость испарения влаги с поверхности бетона.

### ВЫВОДЫ

Установлено, что по мере увеличения содержания добавки, снижающей усадку бетона SRA, наблюдается уменьшение влажностной и стесненной усадки бетона на 23...37 и 6...40 % соответственно, а также скорости испарения и потерь массы вследствие испарения влаги с поверхности бетона на 26...48 %. В то же время, добавка SRA снижает прочность бетона как в раннем (3 суток – на 10...30 %; 7 суток – 8...22 %), так и проектном возрасте (28 суток – на 3...8 %). С учетом пластифицирующего эффекта добавки SRA возможно снижение водоцементного отношения без ухудшения технологических свойств смесей, что обеспечит устранение негативного влияния добавки на прочность бетона.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков, В. В. Магистральям России – Долговечные покрытия [Текст] / В. В. Ушаков // Российский информационно-технический журнал «Дороги Евразии». – 2014. – № 1. – 75 с.
2. Васильев, А. П. Ремонт и содержание автомобильных дорог [Текст] : Справочная энциклопедия дорожника в II томах. Том. II / Под общ. ред. заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. – Москва : Информавтодор, 2004. – 287 с.
3. Яромко, В. Н. Строительство автомобильных дорог [Текст] : учеб. пособие / В. Н. Яромко, Я. Н. Ковалева. – Минск : Высшая школа. 2016. – 417 с.
4. Васильев, А. П. Строительство и реконструкция автомобильных дорог [Текст] : Справочная энциклопедия дорожника в II томах. Том. I / Под общ. ред. заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. – Москва : Информавтодор, 2005. – 552 с.
5. Якобсон, М. Я. Актуальность и перспективы применения цементобетона в дорожном строительстве [Текст] / М. Я. Якобсон, А. А. Кузнецова, А. С. Введенская, А. В. Бычков // Актуальные проблемы в современном строительстве. Системные технологии. – 2016. – № 18. – 71 с.
6. Зайченко Н. М. Модифицированные цементные бетоны для устойчивого развития [Текст] : учебное пособие / Н. М. Зайченко. – Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. – 474 с.
7. Rajabipour, F. Interactions between shrinkage reducing admixtures (SRA) and cement paste's pore solution [Text] / F. Rajabipour, G. Sant, J. Weiss // Cement and Concrete Research. – 2008. – Vol. 38. – P. 606–615.
8. Bentz, D. P. Curing with shrinkage-reducing admixtures beyond drying shrinkage reduction [Text] / D. P. Bentz // Concrete International. – 2005. – Vol. 27, No. 10. – P. 55–60.
9. Khan, B. Effect of a Retarding Admixture on the Setting Time of Cement Pastes in Hot Weather [Text] / B. Khan, M. Ullah // JKAU: Eng. Sci. – 2004. – Vol. 15, No. 1. – P. 63–79.
10. Soroka, I. Hot Weather Concreting with Admixtures [Text] / I. Soroka, D. Ravina // Cement and Concrete Composites. – 1998. – Vol. 20, No. 2–3. – P. 129–136.
11. Folliard, K. J. Properties of high-performance concrete containing shrinkage-reducing admixture [Text] / K. J. Folliard, N. S. Berke // Cement and Concrete Research. – 1997. – Vol. 27, No. 9. – P. 1357–1364.

Получено 12.04.2018

М. М. ЗАЙЧЕНКО, Г. О. СОКОЛОВА  
УСАДКА І ТРИЩИНІСТІЙКІСТЬ ДОРОЖНІХ ЦЕМЕНТНИХ БЕТОНІВ З  
КОМПЛЕКСНИМ ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИМ МОДИФІКАТОРОМ  
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У роботі розглянуто дослідження впливу комплексного органомінерального модифікатора на властивості дорожнього цементного бетону. Встановлено, що в міру збільшення вмісту добавки, що знижує усадку бетону SRA, спостерігається зменшення вологісної і обмеженої усадки бетону на 23...37 і 6...40 % відповідно, а також швидкості випаровування і втрат маси внаслідок випаровування вологи з поверхні бетону на 26...48 % . З урахуванням пластифікуючого ефекту добавки SRA можливе зниження водоцементного відношення без погіршення технологічних властивостей сумішей, що забезпечить усунення негативного впливу добавки на міцність бетону.

**Ключові слова:** дорожній цементний бетон, комплексний органомінеральний модифікатор, добавка, що знижує усадку бетону Shrinkage Reducing Admixture (SRA).

MYKOLA ZAICHENKO, ANNA SOKOLOVA  
SHRINKAGE AND CRACK RESISTANCE OF ROAD CEMENT CONCRETES  
WITH A COMPLEX ORGANOMINERAL MODIFIER  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** In this work, the study of the effect of a complex organomineral modifier on the properties of road cement concrete is considered. It has been found out that as the content of the additive reduces the shrinkage of concrete SRA, the moisture and shrinkage shrinkage of concrete decreases by 23...37 and 6...40 %, respectively, as well as evaporation rates and mass losses due to evaporation of moisture from the surface of concrete by 26...48 % . Taking into account the plasticizing effect of the SRA additive, it is possible to reduce the water-cement ratio without degrading the technological properties of the mixtures, which will ensure the elimination of the negative influence of the additive on the strength of the concrete.

**Key words:** road cement concrete, complex organomineral modifier, additive reducing concrete shrinkage (SRA).

**Зайченко Николай Михайлович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: высокопрочные и особо высокопрочные бетоны на основе модифицированных дисперсных компонентов бетона.

**Соколова Анна Александровна** – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны с высокими эксплуатационными характеристиками.

**Зайченко Микола Михайлович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: високоміцні і надвисокоміцні бетоны на основі модифікованих дисперсних компонентів бетону.

**Соколова Ганна Олександрівна** – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетоны з високими експлуатаційними характеристиками.

**Zaichenko Mykola** – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high strength and high performance concretes on the base of modified fillers.

**Sokolova Anna** – Master's degree student; Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes with high performance characteristics.