

УДК 666.9:66.022.3

DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-6-138-147

А.И. КУДЯКОВ¹, А.С. СИМАКОВА¹, В.А. КОНДРАТЕНКО¹,
А.Б. СТЕШЕНКО¹, А.Д. ЛАТЫПОВ²,

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,

²Национальный исследовательский Томский государственный университет

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА И КАМНЯ*

В статье представлены результаты исследований по управлению процессом начального структурообразования цементного теста и твердения камня путем введения органических добавок. Физико-химическими методами установлено, что при модифицировании цементного теста органическими добавками формируется мелкокристаллическая и более однородная по размерам кристаллитов структура. Наибольший прирост прочности цементного камня в возрасте 3 сут обеспечивается при использовании глиоксаля (GI 0,01). При введении глиоксаля (GI 0,01), олигомера молочной кислоты (PLA) и гликолевой кислоты (GA) достигнут прирост прочности цементного камня в возрасте 28 сут на 35, 34 и 30 % соответственно. Полученные в ходе исследований данные по добавкам глиоксаля, олигомера молочной кислоты и гликолевой кислоты могут быть использованы при разработке комплексных модифицирующих добавок в производстве дорожных бетонов.

Ключевые слова: цементное тесто и камень; органические добавки; глиоксаль; олигомер молочной кислоты; гликолевая кислота; водопотребность; структурообразование; твердение; микроструктура; прочность при сжатии.

Для цитирования: Кудяков А.И., Симакова А.С., Кондратенко В.А., Стещенко А.Б., Латыпов А.Д. Влияние органических добавок на свойства цементного теста и камня // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 6. С. 138–147.

A.I. KUDYAKOV¹, A.S. SIMAKOVA¹, V.A. KONDRATENKO¹,
A.B. STESHENKO¹, A.D. LATYPOV²,

¹Tomsk State University of Architecture and Building,

²National Research Tomsk State University

CEMENT PASTE AND BRICK PROPERTIES MODIFIED BY ORGANIC ADDITIVES

The paper presents the research results of the initial structure formation of cement paste and brick due to the introduction of organic additives. Physicochemical methods show that the grain size of the cement paste modified by organic additives becomes finer and more uniform. The largest increase in the strength of cement brick after 3 days of ageing occurs due to the addition of glyoxal. Introduction of glyoxal, lactic acid oligomer and glycolic acid to the hardened cement paste after 28-day ageing increases its strength by 35, 34 and 30 %, respectively. Research findings on glyoxal, lactic acid oligomer and glycolic acid additives may be used in the development of complex modifiers in the road concrete production.

Keywords: cement paste; cement brick; organic modifier; glyoxal; lactic acid oligomer; glycolic acid; water demand; structure formation; rheological properties; microstructure; strength.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-48-703042.

For citation: Kudyakov A.I., Simakova A.S., Kondratenko V.A., Steshenko A.B., Latypov A.D. Vliyanie organicheskikh dobavok na svoistva tsementnogo testa i kamnya [Cement paste and brick properties modified by organic additives]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 6. Pp. 138–147.

Введение

В связи с совершенствованием архитектурно-строительных систем зданий и сооружений и необходимостью повышения их эксплуатационной надежности меняются требования к качеству конструкционных строительных материалов, в том числе и к наиболее распространенному и ресурсоемкому – цементному бетону. В реальном секторе строительства востребовано более 40 видов цементных бетонов, необходимые характеристики которых достигаются исполнением совокупности современных технологических приемов, направленных на управление структурообразованием цементного теста и камня в бетоне. В зависимости от назначения цементного бетона и применяемых строительных технологий в одних случаях требуется замедленное начальное структурообразование для обеспечения живучести бетонной смеси при транспортировке, в других – ускоренное твердение, например при тепловлажностной обработке отформованных изделий в заводских условиях. В современных технологиях при подборе состава и необходимости обеспечения заданной скорости твердения бетона применяются различные инновационные приемы. Наиболее эффективным является введение при приготовлении бетонной смеси химических добавок минерального и органического происхождения. Строительный рынок России представлен преимущественно химическими добавками импортного производства. Поэтому разработка отечественных органических добавок и технологий модифицированных бетонов с их применением является актуальной [1–4]. Твердение и формирование эксплуатационных свойств бетона с химическими добавками происходит преимущественно за счет структурообразования цементного теста и камня.

Целью исследования является установление закономерностей влияния органических добавок на процессы структурообразования цементного теста и твердения цементного камня.

Рабочая гипотеза и методология исследований сформированы с использованием научных результатов Ю.М. Баженова, Е.М. Чернышова, Е.В. Королева и др. [5, 6]. Имея информацию о структурообразующем значении и временном факторе гидратации клинкерных минералов и кристаллизации гидратных новообразований, можно управлять структурообразованием цементного теста и камня путем введения химических добавок. При научном обосновании выбора модифицирующих добавок бетонной смеси использовалась способность органических добавок влиять на ускорение или замедление структурообразования цементного теста и камня.

Исследовательская часть

В качестве ускорителей твердения цементного камня при проведении исследований применялись 40%-й водный раствор глиоксаля, изготовляемый ТД «Новохим» г. Томска (ТУ 2633-003-67017122–2011), и оксалат кальция. Глиоксаль при взаимодействии с растворами силикатов щелочных металлов

в течение одних суток образует твердые гели [7, 8]. Он обладает пластифицирующим эффектом, но механизм его влияния на свойства цементного камня не раскрыт. Предположительно при взаимодействии глиоксаля с гидроксидом кальция (продукт гидролиза алита в цементном тесте) в результате реакции Канниццаро образуется гликолят кальция [9–11]. Гликолят кальция оказывает замедляющее действие на процессы схватывания цементного теста.

Экспериментально доказано, что наиболее сильными замедлителями начального структурообразования (твердения) бетонов являются органические оксикислоты и их соли [12]. Изменяя их концентрацию в бетонной смеси, можно управлять структурообразованием цементного теста и камня. В качестве замедлителей твердения при проведении исследований использовали гликолевую и молочную кислоты и их олигомеры. В исследованиях использовалась молочная кислота фирмы Purac. Олигомеры получали из молочной (Purac) и гликолевой (Acros Organics) кислот получены методом поликонденсации в лаборатории полимеров и композиционных материалов НИ ТГУ [13].

Исследования закономерностей влияния органических модифицирующих добавок на прочностные свойства цементного камня проводились путем испытания до разрушения на гидравлическом прессе образцов-кубиков размером 20×20×20 мм из цементного теста нормальной плотности. Прочность образцов на сжатие определялась через 3 и 28 сут. Для исследования фазового состава цементного камня применялся рентгенофазовый анализ, проводимый на аппарате Rigaku Miniflex 600, Япония. Параметры съемки $\text{Cu K}\alpha$ $\lambda = 1,5418$ (в ангстремах), 3 градуса в минуту, $2\theta = (3-100)$. Микроструктура цементного камня с добавками исследовалась методом растровой электронной микроскопии на приборе HitachiTM 3000. При проведении исследований применялись следующие составы цементных композиций: без добавок (контрольный); с кристаллическим глиоксалем с концентрацией 0,01 % от массы цемента (G1 крист); с 40%-м раствором глиоксаля с концентрацией 0,01 % от массы цемента (G1 0,01) и 0,03 % (G1 0,03); с гликолевой кислотой с концентрацией 0,33 % от массы цемента (GA); с молочной кислотой (LA), с олигомером молочной кислоты (PLA), с олигомером гликолевой кислоты (PGA) и с оксалатом кальция (CaO_x) с концентрацией 1 % от массы цемента.

Первоначально были исследованы свойства цементного теста, влияющие на технологические параметры качества (водопотребность и живучесть) бетонной смеси, а именно нормальная плотность (водопотребность) и сроки схватывания (ГОСТ 310.3–76). Результаты определения нормальной плотности и сроков схватывания цементного теста с вышеуказанными добавками приведены на рис. 1 и 2.

Установлено снижение нормальной плотности (водопотребности) цементного теста при введении добавок PGA, PLA, GA и глиоксаля, что характеризуется наличием пластифицирующего эффекта при их использовании в качестве добавок в цементных композициях. Наибольший пластифицирующий эффект наблюдается в цементном тесте с добавкой PLA. Эффект пластификации объясняется тем, что молекулы PLA, обладая гидрофобными свойствами, сорбируются на частицах цементного клинкера и затрудняют смачивание его частиц водой, действуя по типу гидрофобизатора.

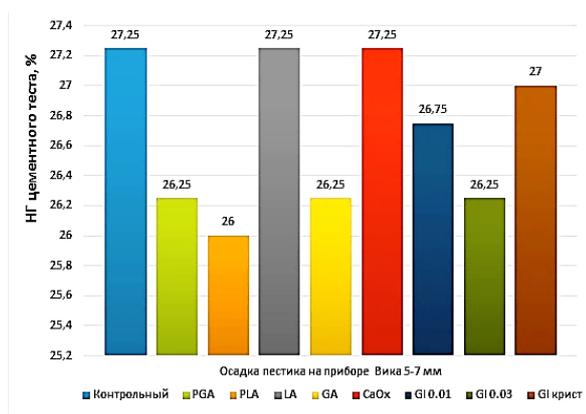


Рис. 1. Нормальная плотность цементного теста с добавками

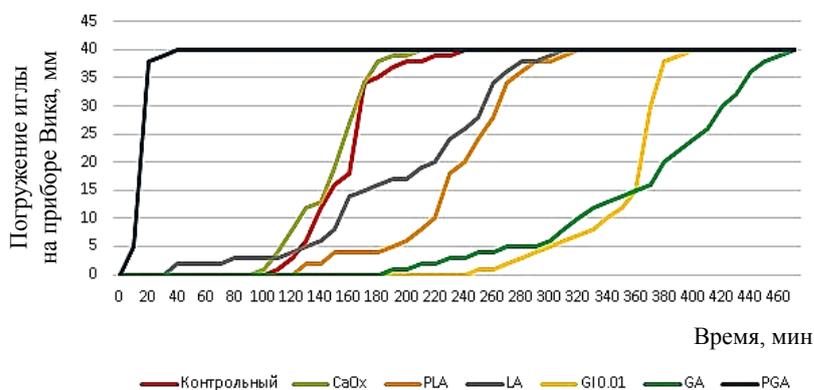


Рис. 2. Начальное структурообразование (схватывание) цементного теста с добавками

По результатам анализа кинетики начального структурообразования (рис. 2) установлено, что существенно ускоряется схватывание (снижается живучесть) при введении в цементное тесто молочной кислоты. Оксалат кальция практически не влияет на начальное структурообразование. Добавки PLA и GA, а также раствора глиоксаля с концентрацией 0,01 % от массы цемента замедляют процессы начального структурообразования [14].

Эффективность действия добавок оценивалась по влиянию, оказываемому на твердение цементного камня. Оно было установлено путем испытания образцов, хранившихся в стандартных влажных условиях, в возрасте 3 и 28 сут (рис. 3). Применяемые добавки оказывают различное влияние на прочность цементного камня на сжатие. В возрасте 3 сут наибольший прирост прочности на сжатие (22,6 %) получен у цементного камня с добавкой глиоксаля, что подтверждает положение о применении его в качестве ускорителя набора прочности. В стандартные сроки твердения в возрасте 28 сут наибольший прирост прочности при сжатии по сравнению с контрольным составом получен при введении раствора глиоксаля в количестве 0,01 % от массы цемента (GI 0,01), PLA и GA и равен 35, 34 и 30 % соответственно [15].

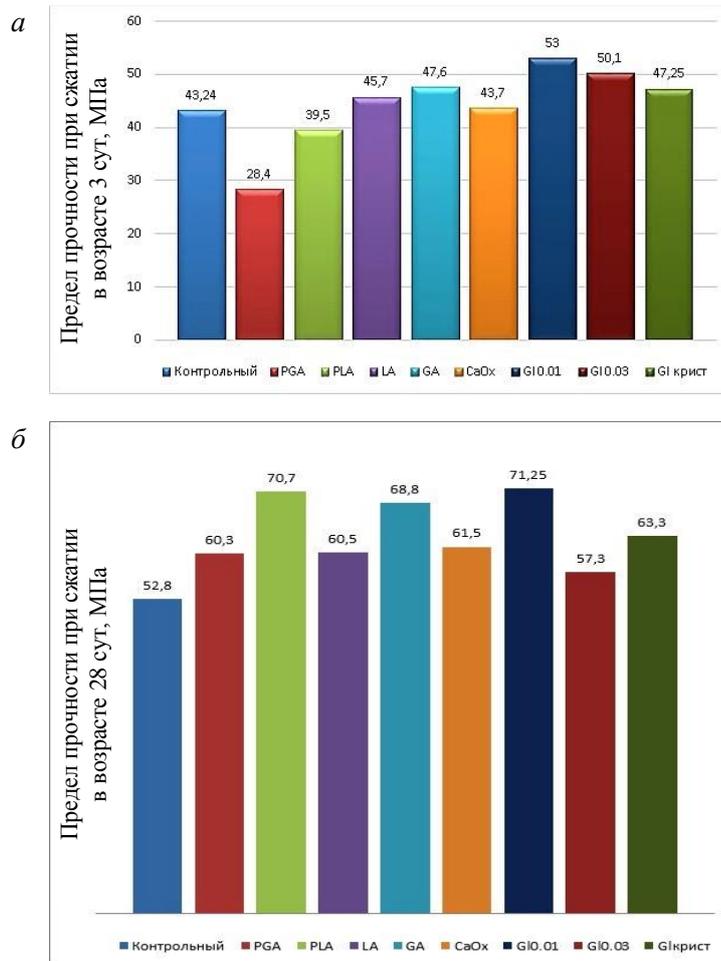


Рис. 3. Предел прочности при сжатии цементного камня с добавками в возрасте 3 (а) и 28 сут (б)

Для установления механизма повышения прочности цементного камня в возрасте 28 сут проведён рентгенофазовый анализ образцов, результаты которого приведены на рис. 4. Для разработки гипотезы о механизме формирования структуры цементного камня необходимо идентифицировать новые фазы, образующиеся в определенное время и степень кристалличности образца.

По результатам анализа дифрактограмм цементного камня контрольного состава (рис. 4, д) идентифицированы следующие фазы: портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – d, $\text{Å} = 4,92; 3,11; 2,63; 1,92; 1,79; 1,45$; гиролит $2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – d, $\text{Å} = 2,31; 2,18; 1,82; 1,57$; тоберморит $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – d, $\text{Å} = 5,6; 1,76$, а также негидратированные минералы портландцементного клинкера: алит (C_3S) – d, $\text{Å} = 3,86; 3,02; 2,95; 2,77; 2,60; 2,18; 2,04; 1,97; 1,54; 1,48$, (белит $\beta \text{C}_2\text{S}$) – d, $\text{Å} = 2,77; 2,28; 2,18; 1,62$ и четырехкальциевый алюмоферрит (C_4AF) – d, $\text{Å} = 2,77; 2,63; 2,43; 2,04; 1,92$. Размеры кристаллитов цементного камня контрольного состава колеблются от 107 до 607 Å . Размер кристаллитов оценивали

по диапазону значений области когерентного рассеяния. Величина области когерентного рассеяния колеблется от 8 до 140 Å. Структура цементного камня является неоднородной по размерам кристаллов.

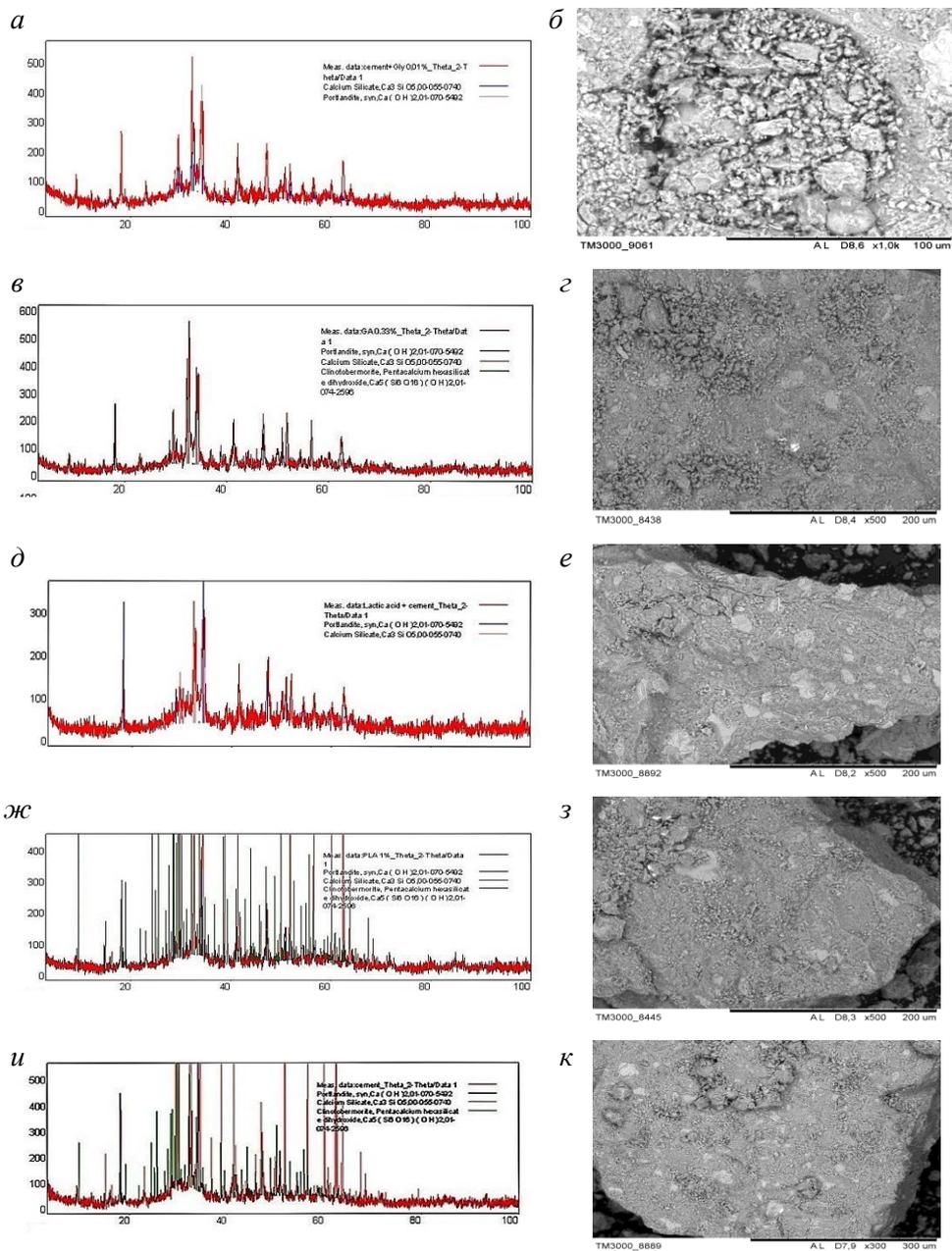


Рис. 4. Рентгенограммы и микрофотографии при 500-кратном увеличении цементного камня, модифицированного:
а, б – гликолевой; *в, з* – гликолевой кислотой; *д, е* – молочной кислотой; *ж, з* – олигомером молочной кислоты; *и, к* – без добавок

На рентгенограмме цементного камня с добавкой раствора глиоксаля с концентрацией 0,01 % от массы вяжущего (рис. 4, а) помимо вышеуказанных фаз негидратированных минералов портландцементного клинкера идентифицируются дифракционные максимумы окенита ($3\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) – d , Å = 1,45; 1,68; 1,97; 3,04; гидрокальюмита – d , Å = 2,62; 2,45; 1,82; 1,76; 1,68; 1,54; тоберморитового геля – d , Å = 3,04; 2,97; 2,77; 1,92; 1,82; 1,76; 1,53; четырехкальциевого девятнадцативодного гидроалюмината d , Å = 2,32; 2,18; 1,97; 1,68; 1,62; гексагонального восьмиводного гидроалюмината кальция – d , Å = 1,97; 1,92; 1,82; 1,79; 1,53. Портландит представлен меньшим количеством линий дифракционных максимумов по сравнению с контрольным составом: d , Å = 4,92; 2,63; 1,92; 1,79. Размеры кристаллитов цементного камня с глиоксалем находятся в интервале от 180 до 995 Å, область когерентного рассеяния – от 21 до 344 Å. С увеличением области когерентного рассеяния становится более выраженной мелкокристаллическая структура.

Цементный камень контрольного образца (рис. 4, д) обладает структурой без дефектов и пор, с включением крупных зерен, по-видимому, непрореагировавшего цемента. Микроструктура цементного камня с молочной и гликолевой кислотами является однородной (рис. 4, б, в). Более однородную структуру без дефектов и пор имеет цементный камень с добавкой олигомера молочной кислоты (рис. 4, з).

Для более детального анализа структуры цементного камня с добавкой глиоксаля проведены исследования с большим увеличением (рис. 5).

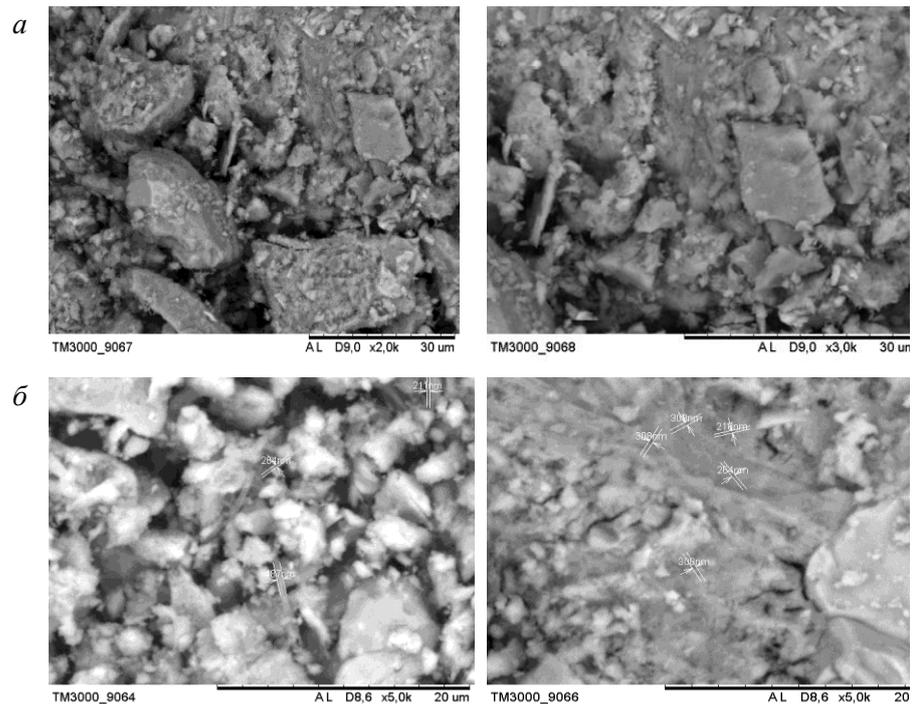


Рис. 5. Микрофотографии цементного камня с глиоксалем (0,01 %) с увеличением: а – в 4000 раз; б – 6000 раз

На снимке прослеживаются структуры размером 200–400 нм предположительно скрученных в трубочки чешуек низкоосновного гидросиликата типа С-S-H-1. Местами структура аморфна, напоминает гель-структуру, местами кристаллична, в виде плотно уложенных пластин, представляющих фазу $5\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$.

Выводы

Проведенными экспериментальными исследованиями подтверждены научно обоснованные предпосылки о возможности управления процессом начального структурообразования цементного теста и твердения камня. При этом установлен пластифицирующий эффект при введении глиоксаля, олигомеров молочной и гликолевой кислот.

Существенно ускоряется схватывание (снижается живучесть) цементного теста при введении добавки молочной кислоты (LA). Добавки олигомеров молочной (PLA) и гликолевой кислот (GA), а также раствора глиоксаля с концентрацией 0,01 % от массы цемента (GI 0,01) замедляют процессы начального структурообразования.

При введении раствора глиоксаля в количестве 0,01 % от массы цемента (GI 0,01), олигомера молочной кислоты (PLA) и гликолевой кислоты (GA) возрастает прочность цементного камня в возрасте 28 сут на 35, 34 и 30 % соответственно.

При модифицировании цементного теста органическими модификаторами формируется мелкокристаллическая и более однородная по размерам кристаллитов структура.

Для разработки комплексных модифицирующих добавок в производстве дорожных бетонов рекомендованы раствор глиоксаля, молочная кислота и ее олигомер, а также гликолевая кислота.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орлова Н.А., Коваль С.В. Управление кинетикой твердения бетона с помощью добавок органических кислот // Химические добавки для бетона. М.: НИИЖБ, 1987. 96 с.
2. Simakova A., Kudyakov A., Efremova V., Latypov A. The effects of complex glyoxal based modifiers on properties of cement paste and hardened cement paste // AIP Conference Proceedings 3. Сер. «Youth, Science, Solutions: Ideas and Prospects, YSSIP 2016: Proceedings of the III International Young Researchers Conference «Youth, Science, Solutions: Ideas and Prospects», 2017. P. 020006.
3. Кирсанова А.А. Высокофункциональные тяжелые бетоны, модифицированные комплексными добавками, включающими метакраолин: дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2015. 163 с.
4. Крамар Л.Я., Кудряков А.И., Трофимов Б.Я., Шуляков К.В. Цементные тяжелые бетоны для скоростных автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4. С. 147–157.
5. Чернышов Е.М. Развитие теории системно-структурного материаловедения и высоких технологий строительных композитов нового поколения // Строительные материалы. 2011. № 7. С. 54–60.
6. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2002. 500 с.
7. Salomaa P. The kinetics of the Cannizzaro reaction of glyoxal // Acta Chemica Scandinavica. 1956. V. 10. № 2. P. 311–319.

8. Сайк П. Механизмы реакций в органической химии: пер. с англ. / под ред. В.Ф. Травеня. 4-е изд. М.: Химия, 1991. 448 с.
9. Горленко Н.П., Рубанов А.В., Саркисов Ю.С. Противоморозная добавка на основе натриевой соли глиоксалиевой кислоты // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 5. С. 110–116.
10. Горленко Н.П. Процессы структурообразования в системе «цемент – вода» при введении химической добавки глиоксала // Известия высших учебных заведений. Физика. 2014. № 2. С. 127–132.
11. Fratzke A.R., Reilly P.J. Kinetic analysis of the disproportionation of aqueous glyoxal // *IJCK*. 1986. V. 18. P. 757–773.
12. Орлова Н.А. Бетоны с регуляторами скорости твердения на основе солей органических кислот: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1991. 21 с.
13. Ботвин В.В., Шаповалова Е.Г., Зенкова Е.В., Поздняков М.А. Синтез олигомеров гликолевой и молочной кислот // Перспективы развития фундаментальных наук: сб. научных трудов X Международной конференции студентов и молодых ученых, 2013. С. 266–268.
14. Кудяков А.И., Стешенко А.Б., Пермяков Д.Е. Влияние глиоксала кристаллического на контракцию цементного теста // Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики. Ч. 1: материалы VII Международной научно-практической конференции. Томск, 2017. С. 363–367.
15. Ефремова В.А., Симакова А.С., Латыпов А.Д. Исследование свойств цементного камня с добавкой кристаллического глиоксала // Проспект Свободный 2015: сб. материалов Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2015. С. 69–71.

REFERENCES

1. Orlova N.A., Koval' S.V. Upravlenie kinetikoі tverdeniya betona s pomoshch'yu dobavok organicheskikh kislot [Controlling concrete hardening kinetics using organic acid additives]. *Khimicheskie dobavki dlya betona*. Moscow: NIIZhB, 1987. 96 p. (rus)
2. Simakova A., Kudyaikov A., Efremova V., Latypov A. The effects of complex glyoxal based modifiers on properties of cement paste and hardened cement paste. *3rd AIP Conf. Proc. Ser. 'Youth, Science, Solutions: Ideas and Prospects'*. 2017. P. 020006.
3. Kirsanova A.A. Vysokofunktsional'nye tyazhelye betony, modifitsirovannye kompleksnymi dobavkami, vlyuchayushchimi metakaolin [Highly functional heavy concretes modified with complex additives including metakaolin. PhD Thesis]. Tomsk, 2015. 163 p. (rus)
4. Kramar L.Ya., Kudyaikov A.I., Trofimov B.Ya., Shuldyaikov K.V. Tsementnye tyazhelye betony dlya skorostnykh avtomobil'nykh dorog [Cement heavy concretes for highway construction]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 4. Pp. 147–157. (rus)
5. Chernyshov E.M. Razvitie teorii sistemno-strukturnogo materialovedeniya i vysokikh tekhnologii stroitel'nykh kompozitov novogo pokoleniya [Theory development of system-structural materials science and high tech new building composites]. *Stroitel'nye materialy*. 2011. No. 7. Pp. 54–60. (rus)
6. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona [Concrete technology]. Moscow: ASV, 2002. 500 p. (rus)
7. Salomaa P. The kinetics of the Cannizzaro reaction of glyoxal. *Acta Chemica Scandinavica*. 1956. V. 10. No. 2. Pp. 311–319. (rus)
8. Sykes P. Mekhanizmy reaktsii v organicheskoi khimii [A guidebook to mechanism in organic chemistry], 4th ed., V.F. Traven', ed. Moscow: Khimiya, 1991. 448 p. (transl. from Engl.)
9. Gorlenko N.P., Rubanov A.V., Sarkisov Yu.S. Protivomoroznaya dobavka na osnove natrievoi soli glioksalievoi kisloty [Antifreeze agent based on sodium salt of glyoxalic acid]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 5. Pp. 110–116. (rus)
10. Gorlenko N.P. Protsessy strukturoobrazovaniya v sisteme «tsement-voda» pri vvedenii khimicheskoi dobavki glioksalya [Structure formation in cement-water system with glyoxal additive]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika*. 2014. No. 2. Pp. 127–132. (rus)
11. Fratzke A.R., Reilly P.J. Kinetic analysis of the disproportionation of aqueous glyoxal. *IJCK*. 1986. V. 18. Pp. 757–773.

12. Orlova N.A. Betony s regulyatorami skorosti tverdeniya na osnove solei organicheskikh kislot: avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Concrete with hardening rate regulators based on salts of organic acids. PhD Abstract]. Moscow, 1991. 21 p. (rus)
13. Botvin V.V., Shapovalova Ye.G., Zenkova E.V., Pozdnyakov M.A. Sintez oligomerov glikolevoi i molochnoi kislot [Synthesis of glycolic and lactic acid oligomers]. Sbornik nauchnih trudov X Mezhdunarodnoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh 'Perspektivi razvitiya fundamentalnih nauk' (Proc. 10th Int. Conf. of Students and Young Scientists 'Prospects of Fundamental Sciences Development'), 2013, Pp. 266–268. (rus)
14. Kudyakov A.I., Steshenko A.B., Permyakov D.E. Vliyanie glioksalya kristallicheskogo na kontraktsiyu tsementnogo testa [The effect of glyoxal crystalline on cement paste contraction]. Materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Investitsii, stroitel'stvo, nedvizhimost' kak material'nyi bazis modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya ekonomiki. Chast' 1 (Proc. 7th Int. Sci. Conf. 'Investments, Construction, Real Estate as a Material Basis for Economy Modernization and Innovation'). Tomsk, 2017. Pp. 363–367. (rus)
15. Efremova V.A., Simakova A.S., Latypov A.D. Issledovanie svoystv tsementnogo kamnya s dobavkoi kristallicheskogo glioksalya [Cement stone properties with crystalline glyoxal additive]. 'Prospekt Svobodnyi 2015': Sbornik materialov Mezhdunarodnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Proc. Int. Sci. Conf. of Students and Young Scientists). Krasnoyarsk: Sibirskii federal'nyi universitet, 2015. Pp. 69–71. (rus)

Сведения об авторах

Кудряков Александр Иванович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kudyakow@mail.tomsknet.ru.

Симакова Анна Сергеевна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ushakova.anutka@gmail.com

Кондратенко Виктория Александровна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, foxsis1993@mail.ru

Стешенко Алексей Борисович, канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, steshenko.alexey@gmail.com

Латыпов Александр Данисович, мл. научный сотрудник, НИ Томский государственный университет, лаборатория полимеров и композиционных материалов, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, latypovad32@mail.ru

Authors Details

Aleksandr I. Kudyakov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solynaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kudyakow@mail.tomsknet.ru

Anna S. Simakova, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solynaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ushakova.anutka@gmail.com

Victoria A. Kondratenko, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solynaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, foxsis1993@mail.ru

Aleksey B. Steshenko, PhD, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solynaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, steshenko.alexey@gmail.com

Aleksandr D. Latypov, Junior Research Fellow, National Research Tomsk State University, 36, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, latypovad32@mail.ru