СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ САХАРОЗЫ И ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ НА КИНЕТИКУ НАБОРА ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Шошин Е.А., кандидат технических наук, доцент,
Саратовский государственный технический
университет им. Ю.А. Гагарина,
Строкова В.В., доктор технических наук, профессор,
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
Айзенштадт А.М., доктор химических наук, профессор,
Северный (Арктический) федеральный
университет им. М.В. Ломоносова

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-23-00047)
с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова

Аннотация: *рассмотрено совместное влияние ускорителя гидратации цемента (высокодисперсные гидросиликаты кальция) и замедлителя гидратации (сахароза), являющихся компонентами силикат-кальциевой дисперсии (СКД), на процессы схватывания и твердения цементных композитов. Данные термокинетических исследований композиционного вяжущего (КВ), содержащего 10% СКД, выявили смещение максимума экзотермического эффекта гидратации на сутки с одновременным «размытием» теплового эффекта во времени. Однако на поздних сроках гидратации (>70 час) скорость тепловыделения остается стабильно высокой и в 2-3 раза превышает таковую для контрольного образца. Кинетика схватывания паст КВ зависит от содержания СКД в его составе и носит экстремальный характер. Эффективность СКД в составе КВ осуществлялось на примере рядовых тяжелых бетонов (В25) с замещением цемента на СКД. Результаты оценки изменения прочности бетонов на КВ дополнены расчетными показателями прочности в перспективе до 1800 сут. твердения. Ожидаемая прочность на сжатие образцов бетона на КВ с 30 % замещением цемента на СКД в 1,8 раза превышает прочность контрольного образца.*

Ключевые слова: *цементный бетон, сахароза, гидросиликаты кальция, кинетика твердения, сроки схватывания, прочность*

THE JOINT INFLUENCE OF SUCCAROSE AND HIGHLY DISPERSED CALCIUM HYDROSILICATES ON THE STRENGTH DEVELOPMENT KINETICS OF CEMENT CONCRETE

Shoshin E.A., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Strokova V.V., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Aizenshtadt A.M., Doctor of Chemical Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Abstract: *cement hydration accelerator (highly dispersed calcium hydrosilicates) and hydration retarder (sucrose) are components of calcium silicate dispersion (CSD). Their joint influence on the processes of setting and hardening of cement composites is considered. The content of 10% CSD in the composition of the composite binder (CB) leads to a shift of the thermal maximum on the thermokinetic curve by a day. At the same time, at the late stages of hydration (>70 hours), the heat release rate remains consistently high, it is 2-3 times higher than the heat release rate of the control sample. The setting kinetics of CB pastes depends on the content of CSD in its composition and is of an extreme nature. The effectiveness of CSD in the composition of CB was evaluated on the example of ordinary heavy concrete (B25) with the replacement of cement with CSD. The results of assessing the change in the strength of concrete at CB are supplemented with calculated strength indicators in the future up to 1800 days hardening. The expected compressive strength of concrete samples on a composite binder is 1.8 times higher than the strength of the control sample.*

Keywords: *cement concrete, sucrose, calcium hydrosilicates, hardening kinetics, setting time, strength*

Введение

Среди добавок-регуляторов кинетики твердения цементных композитов сахароза известна как эффективный замедляющий агент [1-7]. В то же время, при дозировках 0,02-0,04% сахароза выступает как ускоритель схватывания [8, 9], а превышение 0,5% дозировки способно полностью блокировать процессы схватывания [2, 8, 9]. Однако преодоление замедляющего эффекта сахарозы сопровождается не только полным восстановлением прочности, но и достижением более высоких показателей – вплоть до 50% [8-12]. Одна из причин этого явления, как полагают некоторые авторы, является формирование в присутствии сахарозы более мелкодисперсной структуры алюминатых фаз [2, 1, 8, 13] и большого количества цементного

геля низкой плотности [14], однако механизм последнего до конца не ясен [14].

Высокодисперсные гидросиликаты кальция (ГСК) относятся к ускорителям твердения и доказали свою высокую эффективность [15-18]. Механизм ускоряющего действия наногидросиликатов кальция заключается в переносе процессов формирования цементного геля (CSH-фаз) с поверхности клинкерных частиц в объем жидкой фазы, где распределены наночастицы гидросиликатов (nucleation seeding-эффект). В результате, жидкая фаза более равномерно заполняется продуктами гидратации, а экранирующее действие C-S-H-фаз на поверхности C_3S и приводящее к торможению его гидратации, снижается за счет уменьшения толщины экранирующих оболочек новообразований [18, 19]. Перенос процессов кристаллизации C-S-H-фаз в объем жидкой фазы приводит к снижению в ней концентрации ионов Ca^{2+} и OH^-, что приводит к росту растворимости C_3S. Таким образом, нано-ГСК снижают энергетический барьер лимитирующей стадии фазообразования – зародышеобразования [18].

Данная работа посвящена изучению совместного воздействия сахарозы и гидросиликатного ускорителя твердения на кинетику набора прочности цементных композитов на примере рядового бетона В25.

Материалы и методы

В качестве высокодисперсных гидросиликатов использовалась силикат-кальциевая дисперсия (СКД), получаемая методом термолиза аморфных гидросиликатов кальция, модифицированных углеводами [20] и представляющая собой продукт механохимического синтеза гидросиликатов кальция из опоки и извести в растворе дисахарида (сахароза, расход дисахарида 3%) с последующей его термообработкой при температуре до 200°С при пониженном давлении (15 кПа). СКД отличается высокой удельной поверхностью ($26,3\pm0,7x10^3$ $м^2/кг$, БЭТ), которая формируется наночастицами гидросиликатов кальция, агрегированных в более крупные частицы (частицы ксерогеля) микронного и субмикронного размера [21]. При совмещении СКД с цементом частицы СКД распределяются по поверхности более крупных частиц клинкера, заполняют межчастичное пространство [22] и создают предпосылки для переноса процессов формирования CSH-фаз с поверхности клинкерных минералов в объем жидкой фазы.

Большая часть сахарозы в составе СКД находится в связанном состоянии, однако незначительная часть сахарозы – 2,58% от расхода сахарозы – остается в несвязанном состоянии и подвергается экстрагированию. Таким образом, введение добавки СКД в состав цементной системы приводит, с одной стороны, к диффузии сахарозы из состава СКД в воду затворения и проявлению эффекта замедления, а с другой – провоцирует nucleation seeding-эффект за счет присутствия в составе СКД ксерогеля из наночастиц гидросиликатов кальция.

В качестве вяжущего использовался рядовой портландцемент ЦЕМ I 42.5Н (ООО «Холсим (Рус)»). В качестве мелкого заполнителя использовался речной кварцевый песок, (по ГОСТ 8736-2014). Для испытаний цемента использовался полифракционный песок с нормированным зерновым и химическим составами (ГОСТ 6139-2020). Для приготовления бетонных смесей применялся карбонатный щебень (Ивантеевский каменный карьер, Саратовская обл.) (ГОСТ 8269.1-97).

Прочностные характеристики образцов цементного бетона определялись в возрасте 1, 3, 7, 14, 28 суток нормального твердения на образцах кубиках и призмах с размерами 100×100×100 мм. Прочностные характеристики определялись в соответствии с ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Для оценки кинетики схватывания цементных паст в присутствии СКД был использован пластометр Ребиндера, позволяющий определять величину предельного напряжения сдвига структурированных коллоидных систем [23].

Кинетику процессов твердения оценивали с помощью дифференциального калориметра ToniCAL Trio 7339 (Центр высоких технологий (ЦВТ) БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород).

Результаты и обсуждение

В диапазоне концентраций СКД 5-20% наблюдается преимущественное влияние сахарозы как замедляющего гидратацию агента (рис. 1), тогда как при содержании СКД 30% и 50% проявляется ускоряющий гидратацию цемента эффект минеральной составляющей СКД.

Калориметрические измерения показали, что содержание свободных сахаров в составе добавок СКД определяет влияние этих добавок на термокинетическую кривую гидратации композиционных вяжущих. Присутствие сахарозы в составе СКД обуславливает смещение максимума экзотермического эффекта гидратации [24] с 9 часов (для контрольного образца (рис. 2)), до 35 часов (рис. 3) с одновременным «размытием» теплового эффекта во времени. В то же время, в контрольном образце скорость тепловыделения на 73-й час наблюдения снизилась в 10 раз (с 10 Дж×г/ч до 1 Дж×г/ч (рис. 2), тогда как в присутствии СКД скорость тепловыделения на поздних сроках гидратации (более 30 ч) сохранялась примерно на одном уровне (2,5-3 Дж×г/ч, рис. 3).

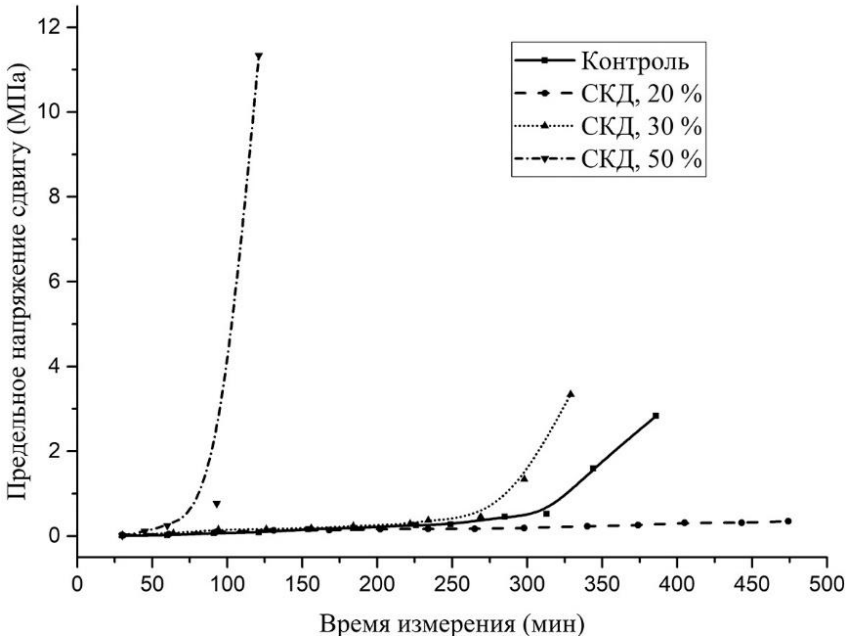

Рис. 1. Кинетика схватывания паст КВ (на основе ЦЕМ I 42.5Н),
содержащих от 20 до 50 % СКД, полученной на основе сырьевой смеси известь/опока

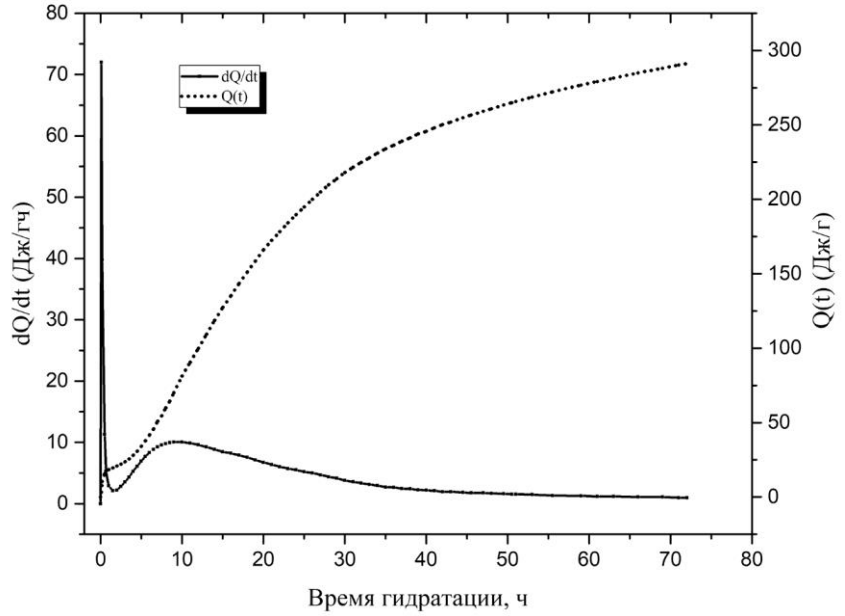

Рис. 2. Кинетика тепловыделения цементной пасты контрольного образца (В/Ц 0,5)

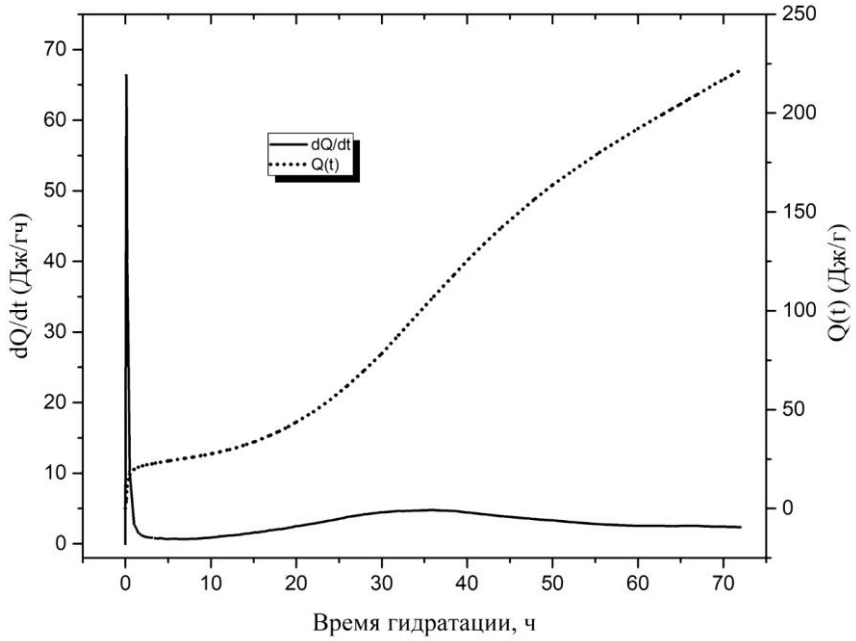

Рис. 3. Кинетика тепловыделения цементной пасты, содержащей 10 % СКД (В/Ц 0,5)

Подтверждение эффективности СКД в составе композиционного вяжущего осуществлялось на примере рядовых тяжелых бетонов с замещением цемента на СКД (композиционное вяжущее, (КВ)). Благодаря своей гранулометрии, пластифицирующей способности и высокому сродству, гидросиликаты СКД легко встраиваются в структуру цементного камня и одновременно уплотняют его, усиливая вяжущие свойства цементной системы [25].

Установлено, что при замене цемента на КВ с содержанием СКД 30% в составе рядового непластифицированного бетона класса В25 достигается 18% прирост прочности на сжатие (рис. 4).

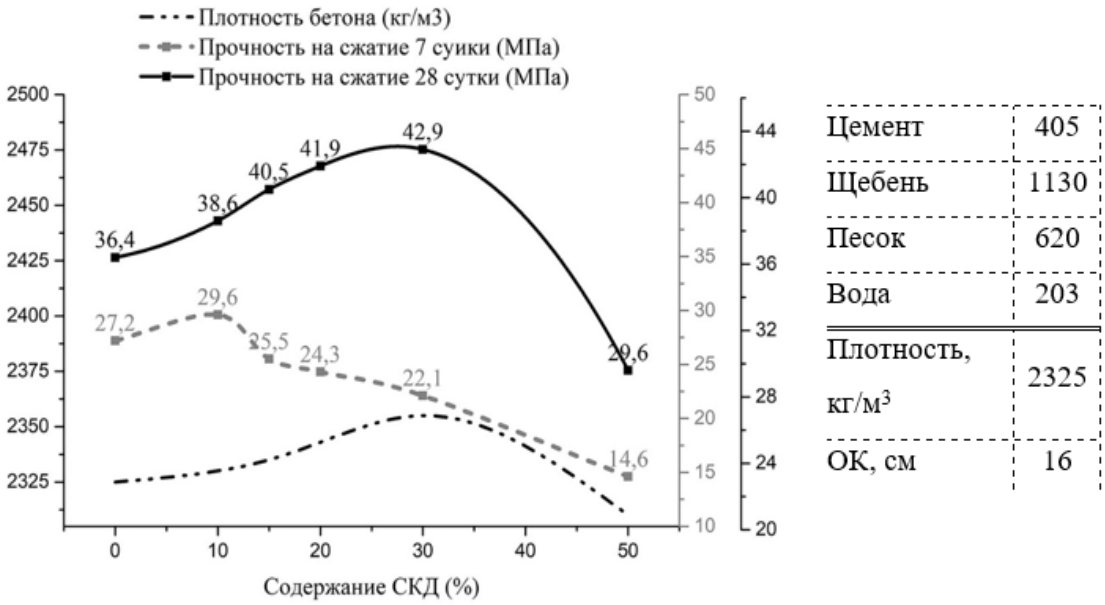

Рис. 4. Зависимость плотности и прочности на сжатие равноподвижных образцов непластифицированного бетона В25 от степени замещения цемента на СКД в составе КВ

Наличие замедляющего эффекта в присутствии СКД, о чем говорилось выше, определяет сложный характер кривой 7-суточной прочности образцов – превышение 10%-го порога содержания СКД приводит к выраженному замедлению набора ранней прочности, замедляющий эффект увеличивается пропорционально содержанию СКД (рис. 4). Однако, на 28 сутки наблюдается 18% прирост 28-суточной прочности образцов бетонов.

Присутствие в цементной системе СКД провоцирует два противоположных эффекта – замедление и ускорение схватывания, что приводит к появлению экстремума на кривых схватывания (рис. 5). Максимум замедления соответствует 15%-му содержанию СКД.

Как уже отмечалось, преодоление замедляющего эффекта сахарозы сопровождается не только полным восстановлением прочности цементных образцов, но и ее повышением. Особенно наглядно это демонстрируют результаты оценки кинетики набора прочности цементных образцов бетона В25 в перспективе до 1800 сут (по методике Ш.М. Рахимбаева) [26] (табл. 1, рис. 6).

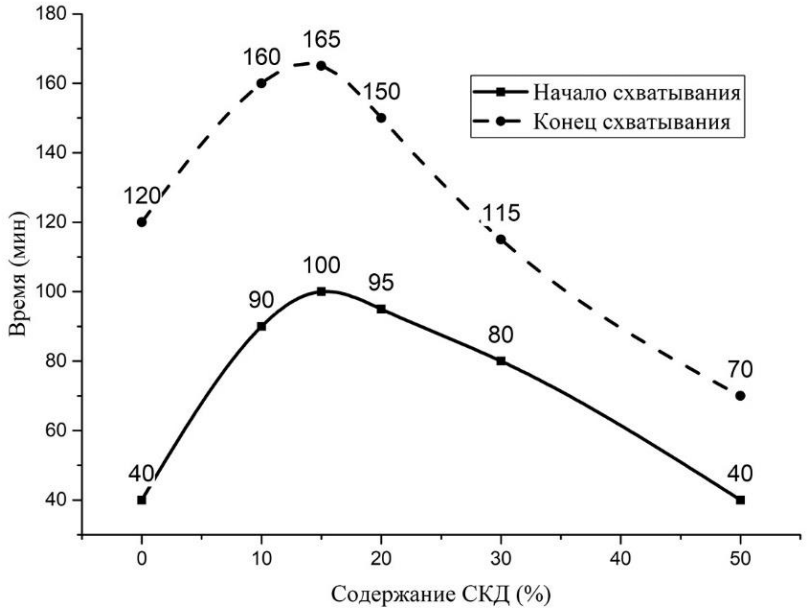

Рис. 5. Изменение сроков схватывания равноподвижных образцов непластифицированного тяжелого бетона В25 от степени замещения цемента на СКД в составе композиционного вяжущего

Расчеты показывают, что уже на 100 сутки гидратации ожидаемая прочность на сжатие образцов на КВ с 30% замещением цемента на СКД достигнет величин 72 МПа, что в 1,8 раза превышает прочность контрольного образца (табл. 1).

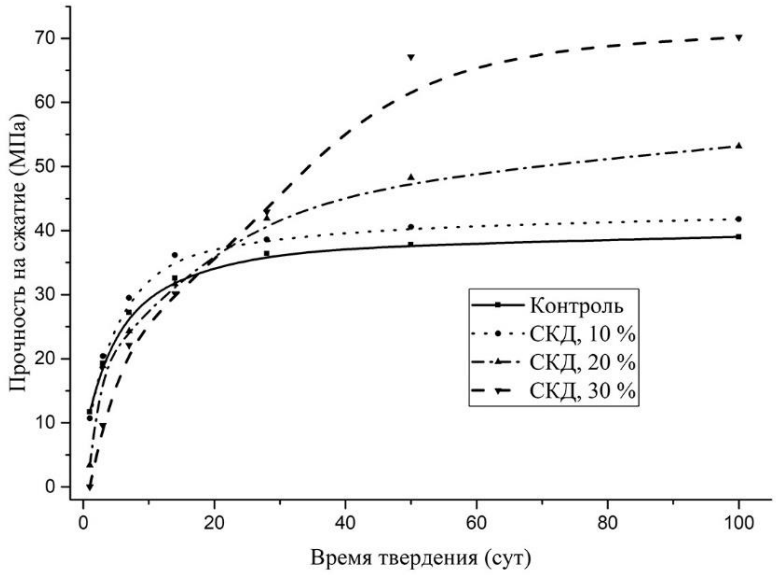

Рис. 6. Кинетика набора прочности бетонов В25 (до 100 сут твердения) на композиционном вяжущем при различном содержании СКД

Таблица 1

Расчетная кинетика набора прочности образцов В25 на КВ с различным содержанием СКД

Время твердения, сутки	Прочность на сжатие, МПа			
	Контроль	СКД, 10%	СКД, 20%	СКД, 30%
1	11,7	10,7	3,4	0
3	19,3	20,4	18,9	9,6
7	27,2	29,5	24,3	22,1
14	32,6	36,17	31,68	30,17
28	36,4	38,6	41,9	42,9
50	37,8	40,57	48,25	67,13
100	39,02	41,8	53,15	70,18
400	39,98	42,77	57,54	72,66
600	40,09	42,88	58,07	72,95
800	40,15	42,93	58,34	73,09
1000	40,18	42,96	58,51	73,18
1200	40,21	42,99	58,62	73,23
1400	40,22	43	58,69	73,28
1600	40,24	43,02	58,75	73,31
1800	40,25	43,03	58,8	73,35

Прирост прочности бетонов, модифицированных сахарозой, по данным различных авторов, наблюдается на 60, 90 и более сутки гидратации [8, 27, 28]. Природа этого повышения прочности заключается в том, что, обладая диспергирующим действием на клинкерные частицы [8, 29], сахароза способствует более полной гидратации цемента и повышению плотности камня, что в итоге способствует росту устойчивости бетона к коррозии [27, 30, 31].

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о высокой потенциальной эффективности совместного применения сахарозы (замедлителя) и высокодисперсных гидросиликатов кальция (ускоритель). Такое сочетание добавок позволяет, с одной стороны, минимизировать избыточный замедляющий эффект сахарозы, а с другой – достичь улучшения эксплуатационных свойств цементных изделий, в частности, долговременной прочности и устойчивости к коррозии.

Литература

1. Bazid K., Bulent B. The effect of sugar on setting-ime of various types of cements // Science vision. 2002. Vol. 8 (1). P. 71 – 78.

2. Benjamin J.S., Rawala A., Gary P.F., Law-rence R.R., Vijay G., Jacob N.I., Bradley F.C. Origins of saccharide-dependent hydration at aluminate, silicate, and aluminosilicate surfaces // PNAS. 2011. Vol. 108. № 22. P. 8949 – 8954.

3. Khan B., Ullah M. Effect of a retarding admixture on the setting time of cement pastes in hot weather // Eng. Sci. 2004. Vol. 15. P. 63 – 79.

4. Oyekan G.L., Oyelade O.A., Crushed waste glass as a partial replacement of cement in normal concrete production with sugar added as an admixture // J. Eng. Appl. Sci. 2011. Vol. 6. P. 369 – 372.

5. Giridhar V., Gnaneswar K., Kishore Kumar Reddy P. Effect of sugar and jaggery on strength properties of concrete // Int. J. Eng. Sci. 2013. Vol. 2. P. 1 – 6.

6. Usman N.D., Chom H.A., Salisu C., Abubakar H.O., Gyang J.B. The impact of sugar on setting-time of ordinary Portland ce-ment (OPC) paste and compressive strength of concrete // FUTY J. Environ. 2016. Vol. 10. P. 107 – 114.

7. Devakate A.B. Acharya V.T., Keerthi Gowda B.S. Effect of sugar on setting-time and compressive strength of ordinary Portland cement paste // Int. J. Adv. Struct. Geotech. Eng. 2017. Vol. 04. P. 2319 – 5347.

8. Тараканов, О.В. Цементные материалы с добавками углеводов. Пенза: ПГАСА. 2003. 166 с.

9. Рамачандран В.С. Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. Добавки в бетон: Справочное пособие. М.: Стройиздат. 1988. 575 с.

10. Zhang L. Catalan L.J., Balec R.J., Larsen A.C., Esmaeili H.H., Kinrade S.D. Effects of saccharide set retarders on the hydration of ordinary Portland cement and pure tricalcium silicate // J. Am. Ceram. Soc. 2010. Vol. 93 (1). P. 279 – 287.

11. Abalaka A.E. Effects of sugar on physical properties of ordinary Portland cement paste and concrete, AUJT. 2011. No. 14. P. 225 – 228.

12. Zhang H. Wang W., Li Q., Tian Q., Li L., Liu J. A starch-based admixture for reduction of hydration heat in cement composites // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 173. P. 317 – 322.

13. Shamsad A. Adamu L., Al–Osta M. Effect of sugar dosage on setting time, microstructure and strength of Type I and Type V Portland cements // Case Studies in Construction Materials. 2020. Vol. 13. e00364.

14. Garci Juenger M.C. Jennings H.M. New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes // Cement and Concrete Research. 2002. Vol. 32. Iss. 3. P. 393 – 399.

15. Akat'eva L.V., Ivanov V.K., Gladun V.D., Khol'kin A.I. Preparation of nanosized powders of calcium hydrosilicates for the use in composite materials // Theoretical Foundation of chemical engineering. 2014. Vol. 48. Issue 4. P. 468 – 476.

16. Nicoleau L. Accelerated growth of calcium silicate hydrates: experiments and simulations // Cem. Concr. Res. 2011. Vol. 41. P. 1339 – 1348.

17. Land G., Stephan D. The Synthesis of C–S–H Seeds Methods, Variables and their Impact on the Ability to Accelerate Cement Hydration / 14th International Conference on the chemistry of cement (14th ICCC). 2015. P. 1 – 11.

18. John E., Matschei T., Stephan D. Nucleation seeding with calcium silicate hydrate – A review // Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 113. P. 74 – 85.

19. Dorn T. Blask O., Stephan D. Acceleration of cement hydration – A review of the working mechanisms, effects on setting time, and compressive strength development of accelerating admixtures // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 323. P. 126554.

20. Шошин Е. А. Силикатный наполнитель, получаемый методом термолиза модифицированных гидросиликатов цемента // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 16 – 19.

21. Шошин Е.А., Строкова В.В., Козлов Н.А., Грибков Д.С. Повышение эффективности цементных бетонов за счет применения композиционного вяжущего с силикат-кальциевой дисперсией // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие Смеси. 2019. № 4 (57). С. 22 – 29.

22. Шошин Е.А., Строкова В.В. Влияние природы модифицирующего углевода на свойства силикатных добавок для цементных систем // Строительные материалы. 2019. № 5. С. 55 – 62.

23. Денисенко В. В., Ляшенко П.А. Анализ методов определения пределов пластичности грун-тов // Наунчые труды КубГТУ. 2015. № 10. С. 1 – 17. URL: http://ntk.kubstu.ru/file/606 (дата обращения 18.02.2022)

24. Рахимбаев Ш.М., Минаков С.В. Кинетика тепловыделения цементного теста с тонкомолотыми минеральными добавками // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. № 2. С. 39 – 42.

25. Шошин Е.А., Строкова В.В. Водоредуцирующий и пластифицирующий эффекты применения добавки синтетических силикатов кальция в цементных композициях // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие Смеси. 2019. № 1 (54). С. 18 – 27.

26. Рахимбаев Ш.М., Авершина Н.М. Прогнозирование долговечности строительных материалов по единичному сроку испытания // Строительные материалы. 1994. №4. С. 17 – 18.

27. Babar A., Liaqat A.Q. Durability of recycled aggregate concrete modified with sugar-cane molasses // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 229. P. 116913.

28. Jumadurdiyev A. Ozkul M.H., Saglam A.R., Parlak N. The utilization of beet molasses as a retarding and water-reducing admixture for concrete // Cem. Concr. Res. 2005. Vol. 35 (5). P. 874 – 882.

29. Киреев Ю.Л., Нестерова Л.Л., Лучинина И.Г. О взаимодействии минералов портландцементного клинкера с раствором сахара // Цемент. 1999. № 4. С. 19 – 21.

30. Akar C., Canbaz M. Effect of molasses as an admixture on concrete durability // J. Clean. Prod. 2016. Vol. 112. P. 2374 – 2380.

31. Rashid K., Tariq S., Shaukat W.Attribution of molasses dosage on fresh and hardened performance of recycled aggregate concrete // Constr. Build. Mater. 2019. Vol. 197. P. 497 – 505.

References

1. Bazid K., Bulent B. The effect of sugar on setting-ime of various types of cements. Science vision. 2002. Vol. 8 (1). R. 71 – 78.

2. Benjamin J.S., Rawala A., Gary P.F., Law-rence R.R., Vijay G., Jacob N.I., Bradley F.C. Origins of saccharide-dependent hydration at aluminate, silicate, and aluminosilicate surfaces. PNAS. 2011. Vol. 108. № 22. P. 8949 – 8954.

3. Khan B., Ullah M. Effect of a retarding admixture on the setting time of cement pastes in hot weather. Eng. Sci. 2004. Vol. 15. P. 63 – 79.

4. Oyekan G.L., Oyelade O.A., Crushed waste glass as a partial replacement of cement in normal concrete production with sugar added as an admixture. J. Eng. Appl. Sci. 2011. Vol. 6. P. 369 – 372.

5. Giridhar V., Gnaneswar K., Kishore Kumar Reddy P. Effect of sugar and jaggery on strength properties of concret./ Int. J. Eng. Sci. 2013. Vol. 2. P. 1 – 6.

6. Usman N.D., Chom H.A., Salisu C., Abubakar H.O., Gyang J.B. The impact of sugar on setting-time of ordinary Portland ce-ment (OPC) paste and compressive strength of concrete. FUTY J. Environ. 2016. Vol. 10. P. 107 – 114.

7. Devakate A.B. Acharya V.T., Keerthi Gowda B.S. Effect of sugar on setting-time and compressive strength of ordinary Portland cement paste. Int. J. Adv. Struct. Geotech. Eng. 2017. Vol. 04. P. 2319 – 5347.

8. Tarakanov, O.V. Cementnye materialy s dobavkami uglevodov. Penza: PGASA. 2003. 166 s.

9. Ramachandran V.S. Fel'dman R.F., Kollepardi M. Dobavki v beton: Spravochnoe posobie. M.: Strojizdat. 1988. 575 s.

10. Zhang L. Catalan L.J., Balec R.J., Larsen A.C., Esmaeili H.H., Kinrade S.D. Effects of saccharide set retarders on the hydration of ordinary Portland cement and pure tricalcium silicate. J. Am. Ceram. Soc. 2010. Vol. 93 (1). P. 279 – 287.

11. Abalaka A.E. Effects of sugar on physical properties of ordinary Portland cement paste and concrete, AUJT. 2011. No. 14. P. 225 – 228.

12. Zhang H. Wang W., Li Q., Tian Q., Li L., Liu J. A starch-based admixture for reduction of hydration heat in cement composites. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 173. P. 317 – 322.

13. Shamsad A. Adamu L., Al–Osta M. Effect of sugar dosage on setting time, microstructure and strength of Type I and Type V Portland cements. Case Studies in Construction Materials. 2020. Vol. 13. e00364.

14. Garci Juenger M.C. Jennings H.M. New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes. Cement and Concrete Research. 2002. Vol. 32. Iss. 3. P. 393 – 399.

15. Akat'eva L.V., Ivanov V.K., Gladun V.D., Khol'kin A.I. Preparation of nanosized powders of calcium hydrosilicates for the use in composite materials. Theoretical Foundation of chemical engineering. 2014. Vol. 48. Issue 4. P. 468 – 476.

16. Nicoleau L. Accelerated growth of calcium silicate hydrates: experiments and simulations. Cem. Concr. Res. 2011. Vol. 41. P. 1339 – 1348.

17. Land G., Stephan D. The Synthesis of C–S–H Seeds Methods, Variables and their Impact on the Ability to Accelerate Cement Hydration. 14th International Conference on the chemistry of cement (14th ICCC). 2015. P. 1 – 11.

18. John E., Matschei T., Stephan D. Nucleation seeding with calcium silicate hydrate – A review. Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 113. P. 74 – 85.

19. Dorn T. Blask O., Stephan D. Acceleration of cement hydration – A review of the working mecha-nisms, effects on setting time, and compressive strength development of accelerating admixtures. Construc-tion and Building Materials. 2022. Vol. 323. P. 126554.

20. Shoshin E. A. Silikatnyj napolnitel', poluchaemyj metodom termoliza modificirovannyh gidrosilikatov cementa. Stroitel'nye materialy. 2017. № 7. S. 16 – 19.

21. Shoshin E.A., Strokova V.V., Kozlov N.A., Gribkov D.S. Povyshenie jeffektivnosti cementnyh betonov za schet primenenija kompozicionnogo vjazhushhego s silikat-kal'cievoj dispersiej. ALITinform: Cement. Beton. Suhie Smesi. 2019. № 4 (57). S. 22 – 29.

22. Shoshin E.A., Strokova V.V. Vlijanie prirody modificirujushhego uglevoda na svojstva silikatnyh dobavok dlja cementnyh system. Stroitel'nye materialy. 2019. № 5. S. 55 – 62.

23. Denisenko V. V., Ljashenko P.A. Analiz metodov opredelenija predelov plastichnosti gruntov.Naunchye trudy KubGTU. 2015. № 10. S. 1 – 17. URL: http://ntk.kubstu.ru/file/606 (data obrashhenija 18.02.2022)

24. Rahimbaev Sh.M., Minakov S.V. Kinetika teplovydelenija cementnogo testa s tonkomolotymi mineral'nymi dobavkami. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. 2010. № 2. S. 39 – 42.

25. Shoshin E.A., Strokova V.V. Vodoreducirujushhij i plastificirujushhij jeffekty primenenija dobavki sinteticheskih silikatov kal'cija v cementnyh kompozicijah. ALITinform: Cement. Beton. Suhie Smesi. 2019. № 1 (54). S. 18 – 27.

26. Rahimbaev Sh.M., Avershina N.M. Prognozirovanie dolgovechnosti stroitel'nyh materialov po edinichnomu sroku ispytanija. Stroitel'nye materialy. 1994. №4. S. 17 – 18.

27. Babar A., Liaqat A.Q. Durability of recycled aggregate concrete modified with sugarcane molasses. Construction and Building Materials. 2019. Vol. 229. P. 116913.

28. Jumadurdiyev A. Ozkul M.H., Saglam A.R., Parlak N. The utilization of beet molasses as a retarding and water-reducing admixture for concrete. Cem. Concr. Res. 2005. Vol. 35 (5). P. 874 – 882.

29. Kireev Ju.L., Nesterova L.L., Luchinina I.G. O vzaimodejstvii mineralov portlandcementnogo klinkera s rastvorom sahara. Cement. 1999. № 4. S. 19 – 21.

30. Akar C., Canbaz M. Effect of molasses as an admixture on concrete durability. J. Clean. Prod. 2016. Vol. 112. P. 2374 – 2380.

31. Rashid K., Tariq S., Shaukat W.Attribution of molasses dosage on fresh and hardened performance of recycled aggregate concrete. Constr. Build. Mater. 2019. Vol. 197. P. 497 – 505.