

А.Д. АЛТЫНБЕКОВА¹, Р.Е. ЛУКПАНОВ¹, С.Б. ЕНКЕБАЕВ¹,
Д.С. ДЮСЕМБИНОВ¹, Н.К. ЕРЖАНОВА²

¹НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Нур-Султан, Казахстан

²НАО «Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати», г. Тараз, Казахстан

УДОБОУКЛАДЫВАЕМЫЙ БЕТОН БЫСТРОГО ТВЕРДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

Аннотация. В статье представлены результаты влияния комплексной добавки на улучшение физико-механических характеристик материала. Оценка физико-механических характеристик бетона произведена для четырех типов бетона. Основными оценочными параметрами, являлись: сроки схватывания, прочность на сжатие и растяжение при изгибе, водопоглощение. В представленной работе авторы использовали комплексную добавку, содержащих в своем составе щелочь (каустическая сода), послеспиртовую барду (отходы спиртового производства) и регулятор твердения (гипс) в разных соотношениях. Показано, что совместное применение в составе комплексной добавки, обладающей хорошо совместимыми механизмами их влияния на процессы гидратации, схватывания и твердения цементной массы, взаимно дополняет и усиливает действие каждого ингредиента добавки. Увеличение концентрации комплексной добавки в цементной смеси до 7% от массы цемента не только оказывает влияние на процесс разжижения цементного раствора, сокращение времени схватывания и твердения цементной массы, но и повышает прочность на сжатие цементного камня на всех сроках твердения. Анализ дает основание утверждать, что комплексная добавка обеспечивает уменьшение водопоглощения бетона. Выявлено, что бетон с исследуемой комплексной добавкой обладает высокими физико-механическими показателями. Найдены оптимальные дозировки рассматриваемой добавки, которые использовались в настоящей работе.

Ключевые слова: комплексная добавка, послеспиртовая барда, каустическая сода, гипс, буронабивная свая, сроки схватывания, прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе, водопоглощение.

A.D. ALTYNBKOVA¹, R.E. LUKPANOV¹, S.B. YENBEKAEV¹,
D.S. DYUSSEMBINOV¹, N.K. YERZHANOVA²

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

FAST-HARDENING WORKABLE CONCRETE FOR THE PRODUCTION OF BORED

Abstract. The article presents the results of the effect of a complex additive on improving the physical and mechanical characteristics of the material. The evaluation of the physical and mechanical characteristics of concrete was made for four types of concrete. The main parameters were: setting time, compressive and flexural strength, water absorption. In the presented work the authors used a complex additive containing in its composition alkali (caustic soda), post-alcoholic bard (alcohol production waste) and hardening regulator (gypsum) in different ratios. It is shown that the combined use in the composition of a complex additive, which has well-compatible mechanisms of their influence on the processes of hydration, setting and hardening of the cement mass, mutually complements and enhances the effect of each ingredient of the additive. Increasing the concentration of the complex additive in the cement mixture up to 7% of the cement mass not only affects the process of

cement mortar liquefaction, shortening the time of setting and hardening of the cement mass, but also increases the compressive strength of the cement in all periods of hardening. The analysis suggests that the complex additive provides a reduction in water absorption of concrete. It has been revealed that concrete with the studied complex additive has high physical and mechanical properties. The optimum dosages of the considered additive have been found and used in the present work.

Keywords: *complex additive, post-alcohol bard, caustic soda, gypsum, bored pile, setting time, compressive strength, flexural strength, water absorption.*

Введение

В современных условиях развития строительства в Казахстане на фоне быстро развивающихся технологий ставится вопрос о внедрении новых быстро окупаемых технологий, в основе которых предполагается широкое использование местных сырьевых ресурсов и новых технических приемов с целью получения высокоэффективных материалов [1].

В настоящее время в сложных инженерно-геологических условиях на территории Казахстана все большее применение находят свайные фундаменты в самых разнообразных областях строительства [2]. Свайные фундаменты являются одними из самых востребованных типов фундаментов на строительных площадках г. Нур-Султан и Казахстана в целом. Эффективность свайного фундамента достигается за счет высокой эксплуатационной надежности, жесткости, относительно низкой материалоемкости, высокой индустриальности производства, возможности круглогодичного ведения работ [3]. Данная технология может использоваться в любых климатических условиях для создания фундаментов зданий и сооружений любого назначения без ущерба возведения качественного строения [4].

Современное производство бетона и железобетона тесно связано с широким применением различных химических добавок [5-7], которые в малых дозировках позволяют регулировать технологический процесс и получать бетон и железобетон с требуемыми физико-техническими свойствами [8]. Большинством исследований отмечено [9-11], положительное влияние химических добавок на физико-механические свойства бетона, в частности прочности [12-14].

Буронабивные сваи изготавливаются из бетона с применением пластифицирующих и противоморозных добавок, обеспечивающих твердение бетона при температурах ниже +5 °C. Состав бетона устанавливается технологическим регламентом в зависимости от периода производства свайных работ [15].

Использование комплексных добавок в настоящее время является общепризнанным эффективным способом улучшения эксплуатационных качеств цементных бетонов. В большинстве случаев в настоящее время добавки являются обязательной составной частью бетонной смеси. Анализ научно-технической литературы показывает, что добавки, увеличивающие скорость схватывания и твердения цемента, являются востребованными, поэтому интерес к разработке новых, конкурентно способных добавок-ускорителей не ослабевает [16].

Для повышения эффективности использования свайных фундаментов нами предложено использовать удобоукладываемый бетон быстрого твердения из преимущественно местных сырьевых материалов для производства буронабивных свай. В целях улучшения технологических свойств, в растворные смеси вводят специальные добавки, поверхностно-активные вещества, оказывающие пластифицирующий (послеспиртовая барда) эффект.

Известно, что основное назначение пластифицирующих добавок – увеличение удобоукладываемости, что обеспечивает уменьшение энерго- и трудозатрат при укладке. С другой стороны, применение таких добавок позволяет, за счет снижения водоцементного отношения, при сохранении заданной подвижности смеси, повышать в значительной степени прочность и долговечность изделий. Кроме этого, введение пластификаторов позволяет влиять на сроки схватывания и кинетику твердения цемента, повышать прочность, морозостойкость и

водонепроницаемость бетона за счет водоредуцирования, а так же снижать расход цемента и энергозатраты на производство бетонов, растворов, и т.д. [17-30].

В состав комплексной добавки входят отход производство этилового спирта (послеспиртовая барда) и щелочь (каустическая сода, NaOH) для нейтрализации кислотности послеспиртовой барды, это связано с тем, что очистка проводится некачественно и послеспиртовая барда сохраняет кислотность. Таким образом, комплексное применение щелочи (каустической соды NaOH) и пластифицирующей добавки (послеспиртовой барды) с комплексным вяжущим (цемент-гипс) способствует улучшению физико-механических характеристик. Послеспиртовая барда является ценным продуктом, которую можно использовать при решении проблем экологического загрязнения и получение дешевого сырья.

Цель исследования: разработать технологический состав удобоукладываемого бетона быстрого твердения для улучшения физико-механических свойств.

Для достижения поставленной цели, были решены следующие задачи:

1. Подбор оптимального состава при разном %-ном соотношении
2. Приготовление образцов в лабораторных условиях
3. Лабораторные исследования разработанного бетона

Сравнения результатов лабораторных исследований проведены для четырех типов бетона:

Тип 1: контрольный состав бетона без добавок;

Тип 2: состав бетона с комплексной добавкой послеспиртовая барда и NaOH) в количестве 3% и гипса в количестве 1%;

Тип 3: состав бетона с комплексной добавкой (послеспиртовая барда и NaOH) в количестве 5% и гипса в количестве 1,5%;

Тип 4: состав бетона с комплексной добавкой (послеспиртовая барда и NaOH) в количестве 7% и гипса в количестве 2%.

Модели и методы

При проведении лабораторных исследований преимущественно были использованы сырьевые материалы, производимые в промышленных масштабах. Ниже приведены их основные характеристики, определенные по действующим стандартам.

Для проведения экспериментальных работ в качестве комплексного вяжущего использовали портландцемент ПЦ400Д0 бездобавочный, нормального твердения и регулятор твердения - гипс. Истинная плотность – 3100 кг/м³. Плотность насыпная – 1100-1600 кг/м³.

В качестве мелкого заполнителя использовался кварцевый песок с модулем крупности 2.23, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ».

В качестве крупного заполнителя применялся гранитный щебень с размером фракций 5...20 мм, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ».

В качестве модифицирующей добавки применялась послеспиртовая барда, производимый по ТУ 5870-002-14153664-04, в количестве 3%; 5%; и 7% от массы цемента и добавка-регуляторы твердения – гипс, который позволит ускорить процесс твердения, в количестве 1%; 1,5% и 2% от массы цемента.

Водопроводная вода в качестве воды затворения для получения бетонной смеси, соответствующая требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов».

При подборе состава учитывались качественные показатели сырьевых материалов, включая способы совмещения компонентов. При расчете расходов материалов были приняты три основных состава и один контрольный состав без добавок.

Расход сырьевых материалов образцов цементно-песчаного раствора (необходимых для измерений сроков схватывания) представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав цементного раствора

№	Вид бетонных смесей	Цемент, г	Кварцевый песок, г	Гипс, г	Послеспиртовая барда, г	NaOH, г	Вода, г
1	Тип 1	450	1350	-	-	-	135
2	Тип 2	445,5	1350	4,5	13,5	0,7	112
3	Тип 3	425,3	1350	6,8	22,3	1,1	109
4	Тип 4	396	1350	9	29,8	1,5	74

Расход сырьевых материалов образцов бетона (необходимых для измерения прочности и водопоглощения) произведен из расчета на 1 м³ бетонной смеси, представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Состав сравниваемых бетонных образцов

Бетонная смесь	Послеспиртовая барда %	Гипс, %	В/Ц	Составы бетонных смесей, кг						
				Ц	Гипс	Песок	Щебень	Вода	Послеспиртовая барда	NaOH
Тип 1	0	0	0,3	350	0	840	1200	105	0	0
Тип 2	3	1	0,3	346,5	3,5	840	1200	93,975	10,5	0,525
Тип 3	5	1,5	0,3	344,75	5,25	840	1200	86,625	17,5	0,875
Тип 4	7	2	0,3	343	7	840	1200	79,275	24,5	1,225

Лабораторные испытания включают в себя:

- 1) Определение сроков схватывания теста стандартной консистенции (начало и конец схватывания), (фото 1,а).
- 2) Оценка прочности бетона на сжатие и изгиб, (фото 1,б).
- 3) Оценка водопоглощения бетона, (фото 1,с).



Фото 1 – Проведение лабораторных испытаний.

Влияние добавок на сроки схватывания цементной системы определялись в соответствии с требованиями ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема».

Оценка прочности производилась на образцах-кубах с размером ребра 10 см, которые хранились в воздушно-влажностных условиях и испытывались в возрасте 1, 3, 7, 14 и 28 суток нормального твердения по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Прочность бетона на растяжение при изгибе определялись на образцах - призмах размером 10x10x40 см в возрасте 1, 3, 7, 14 и 28 суток нормального твердения. Процедура проведения испытаний прочности на растяжение при изгибе бетонных призм проводилась по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Водопоглощение бетона на образцах-кубах размером 100x100x100 мм. Испытания составов бетонных смесей производились по ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения».

Результаты исследования и их анализ

Сроки схватывания цементного теста. На диаграмме сроков схватывания первому пику соответствует начало схватывания, второму – конец. Расположение типов сравниваемых составов в порядке возрастания снизу-вверх, где красной соответствует тип 1 – контрольный состав без добавки, относительно которого делаются сравнения.

По результатам проведенного исследования определили сроки схватывания составов для:

Типа 1. Начало схватывания цементной массы без комплексной добавки составляет 3 ч 20 мин, а конец схватывания 6 ч 50 мин.

Типа 2. При введении в цементное тесто 3% комплексной добавки (по отношению к массе цемента) начало схватывания соответственно составляет 1 ч 30 мин, а конец схватывания 4 ч 10 мин. На рисунке 1 представлены результаты измерений сроков схватывания.

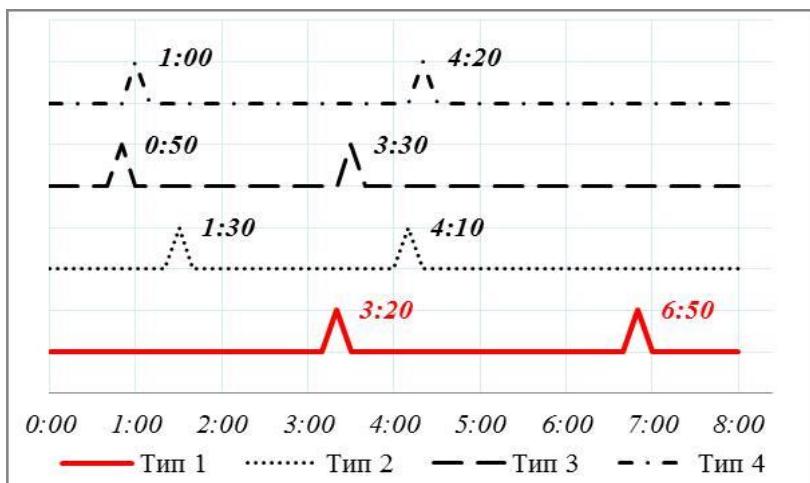


Рисунок 1 – Влияние добавок на сроки схватывания цементной смеси

Типа 3. Сроки схватывания цементного теста типа 3 начало схватывания-50 мин, а конец- 3 ч 30 мин, при добавке к цементному тесту комплексной добавки в количестве 5%, обеспечивает быстрое схватывание и твердение вяжущего.

Типа 4. Сроки схватывания цементного теста типа 4 начало схватывания -1ч, а конец- 4ч 20 мин, при добавке к цементному тесту комплексной добавки в количестве 7%.

Из графика видно, что комплексная добавка в оптимальном количестве приводят к изменениям сроков схватывания в сравнении с контрольным, но в пределах норм. Следует отметить, что сокращается не только время начала схватывания, но и его конец. Комплексная добавка оказывают существенное воздействие на систему, т.е. при увеличении дозировки резко сокращается процесс схватывания цемента по сравнению с образцами без добавок, и интенсифицируют твердение цемента в ранние сроки гидратации в возрасте 3 и 7 суток.

Как видно из результатов, максимальное пластифицирующее действие комплексной добавки в растворной цементной смеси достигается при концентрации 5 % по отношению к массе цемента при $B/C = 0,3$ и затем практически не меняется с ее увеличением до 7 %. Введение комплексной добавки в растворную смесь оказывает пластифицирующее действие,

что позволяет снизить водоцементное соотношение. Сроки схватывания растворных смесей существенно зависят от концентрации комплексной добавки в них.

Увеличение концентрации комплексной добавки в цементной смеси до 7 % от массы цемента не только оказывает влияние на процесс разжижения цементного раствора, сокращение времени схватывания и твердения цементной массы, но и повышает прочность на сжатие цементного камня.

При вводе комплексной добавки сроки схватывания уменьшаются до 25% по сравнению с чистым цементом. При этом, очевидно, срок цементного теста остается неизменным, так как сроки схватывания уменьшаются за счет сокращения времени конца схватывания. Комплексная добавка позволяют увеличить время начала схватывания на 30%, по сравнению с чистыми цементами. При этом интервал между началом и концом схватывания сокращается на 40%. Подбор оптимального состава бетона осуществлялся расчетно-экспериментальным путем. Количество вводимой комплексной добавки устанавливалось из условия наибольшего эффекта ускорения твердения, а также получения максимального прироста прочности бетона по сравнению с аналогом без добавок. Следовательно, данную комплексную добавку можно использовать в качестве регуляторов сроков схватывания.

Прочность бетона на сжатие. Результаты испытаний кубиковой прочности бетонных образцов представлены на рисунке 2.

Эталонные образцы типа 1 (без использования добавок) показали наименьшую прочность, в процентном соотношении меньше на 28,54 % по сравнению с типом 2, на 31,98% меньше типа 3 и на 30,04% меньше типа 4. При этом частные значения прочности варьируются от 7,52 до 36,8 МПа.

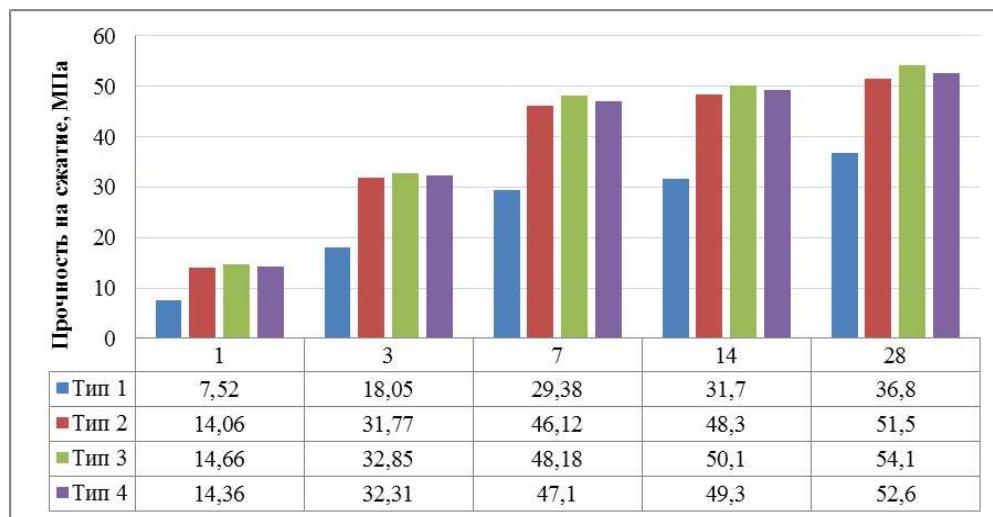


Рисунок 2 – Зависимость прочности бетона на сжатие от их состава и возраста твердения

Образцы типа 2 показали прочность, превышающую прочность образцов типа 1, на 36,95%, но меньше чем прочность образцов типа 2 на 4,81% и типа 3 на 2,09%. Частные значения прочности варьируются от 14,06 до 51,5 МПа.

Образцы типа 3 показали наибольшую прочность, превышающую прочность образцов типа 1, на 47,01%, типа 2 на 5,05%, типа 4 на 2,85%. Частные значения прочности варьируются от 14,66 до 54,1 МПа.

Образцы типа 4 показали прочность, превышающую прочность образцов типа 1, на 42,93%, и на 2,14% больше чем прочность образцов типа 2, но на 2,77% меньше образцов типа 4. Частные значения прочности варьируются от 14,36 до 52,6 МПа.

Анализ данных показывает, что в типах 2-4, предел прочности бетона на сжатие находится в пределах 51,5-54,5 МПа, а для контрольного типа 36,8 МПа, т.е. этот показатель в 1,5 раза больше, чем для контрольного образца.

Статистический анализ частных значений прочностных характеристик показал тесную связь и относительно высокую сходимость. Во всех случаях коэффициент вариации не превышает 12%, при доверительной вероятности 95% коэффициенты надежности не превышают 1,15.

Согласно результатам, процесс твердения происходит не только в первые сутки твердения, но и равномерно продолжает набирать прочность в последующее время, что положительно характеризует бетон с применением комплексной добавки в естественных условиях твердения. При сравнении показателя предела прочности, приготовленного по образцу, равного 36,8 МПа, с данным показателем для бетона, приготовленного состава, который составил в пределах 51,5-54,1 МПа, можно считать, что новый бетон представляет собой более высококачественным. Вследствие, полученных данных можно утверждать, что бетон с применением добавки в первые сутки имеет прочность выше на 46,51-48,7%; на 3 сутки - 43,19-45,05%; на 7 сутки - 36,29-39,02%; на 14 сутки - 34,36-36,72% и на 28 сутки - 28,54-31,97% при сравнении с аналогом. Анализ полученных результатов показывает, что наиболее положительное действие на кинетику набора прочности бетона оказывает комплексная добавка в первые сутки в отличие с аналогом. Данные результаты утверждают, что комплексная добавка увеличивает темп набора прочности в ранние сроки твердения и способствует высокой прочности.

Прочность бетона на растяжение при изгибе. На рисунке 3 показана диаграмма изменения прочности на растяжение при изгибе образцов в зависимости от времени твердения. Результаты испытаний прочности на растяжение образцов приведены на рисунке 3.

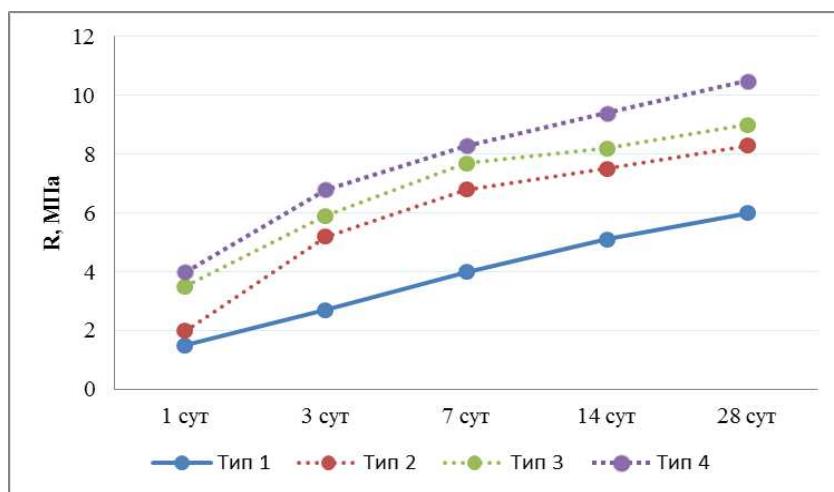


Рисунок 3 – Зависимость прочности на растяжение при изгибе от их состава и возраста твердения

Анализ диаграммы показывает, что прочность образцов бетона растет плавно и равномерно, независимо от того, добавлена комплексная добавка или нет. Исследования образцов, проведенные с использованием комплексной добавки, повышает прочность на растяжение при изгибе на 15–20%. Лабораторные испытания также показали, что у бетона, изготовленного с применением комплексной добавки, прочность после 28 суток твердения увеличилась чуть более чем на 2 % по сравнению с прочностью в 14-суточном возрасте, независимо от того, добавлена комплексная добавка или нет.

Результаты поведенных исследований по изучению предела прочности на растяжение при изгибе образцов в 28-суточном возрасте составила для:

Типа 1. Результаты испытаний контрольного образца составило $R= 6$ МПа, разрушающая нагрузка $F= 18,19$ кН. Прирост прочности на растяжение при изгибе составило-0%.

Типа 2. Наиболее значительный рост наблюдался у образца типа 2 при введении комплексной добавки в количестве 3% прочность бетона на растяжение при изгибе – прирост увеличивается на 38,33% по сравнению с контрольным составом. Результаты испытаний типа 2: $R = 8,3$ МПа, разрушающая нагрузка $F = 21,31$ кН.

Типа 3. При введении комплексной добавки в количестве 5% прочность бетона на растяжение при изгибе повышает его поведение на 50%. Результаты испытаний типа 3: $R = 9$ МПа, разрушающая нагрузка $F = 22,63$ кН.

Типа 4. Максимальный прирост прочности на растяжение при изгибе составил 75%, зафиксированный у образца с добавлением 7% комплексной добавки. Результаты испытаний типа 4: $R = 10,5$ МПа, разрушающая нагрузка $F = 24,18$ кН. В процессе твердения значительное влияние свойств бетона на растяжение при изгибе оказывают добавки, создавая прочный каркас в структуре, что объясняется в последующем максимальное увеличение показателей.

Статистический анализ прочностных характеристик на изгиб также показал тесную связь и относительно высокую сходимость частных значений. В данном случае коэффициент вариации не превышает 14%, при доверительной вероятности 95% коэффициенты надежности не превышают 1,17.

Анализируя полученные данные, следует отметить, что максимальный эффект достигнут при введении комплексной добавки в количестве 0,7%, прочность которого составило 10,5 МПа. Оптимальная дозировка всех используемых типов добавок, при которой зафиксировано максимальная прочность от 9 МПа до 10,5 МПа, составила 5% и 7% от массы вяжущего. При введении 3% комплексной добавки прочность на растяжение при изгибе бетонов увеличилась в сравнении с контрольным составом на 38,33%; при 5% – на 50%; при 7% - 75%. В дальнейших испытаниях использовались составы бетонов с комплексной добавкой при 5% и 7%, так как она проявила оптимальный положительный эффект, поэтому использование данного процентного содержания комплексной добавки наиболее эффективно для повышения прочности бетона на растяжение при изгибе. Данные испытания подтверждают особенности каждого компонента, а в комплексе достигается эффект синергизма. Такие высокие значения по прочности на растяжение при изгибе бетонов позволяют рассчитывать на их высокую надежность при эксплуатации свай.

Водопоглощение. Данные по водопоглощению образцов бетона по массе с использованием комплексной добавки после 28 суток нормального твердения приведены на рисунке 4.

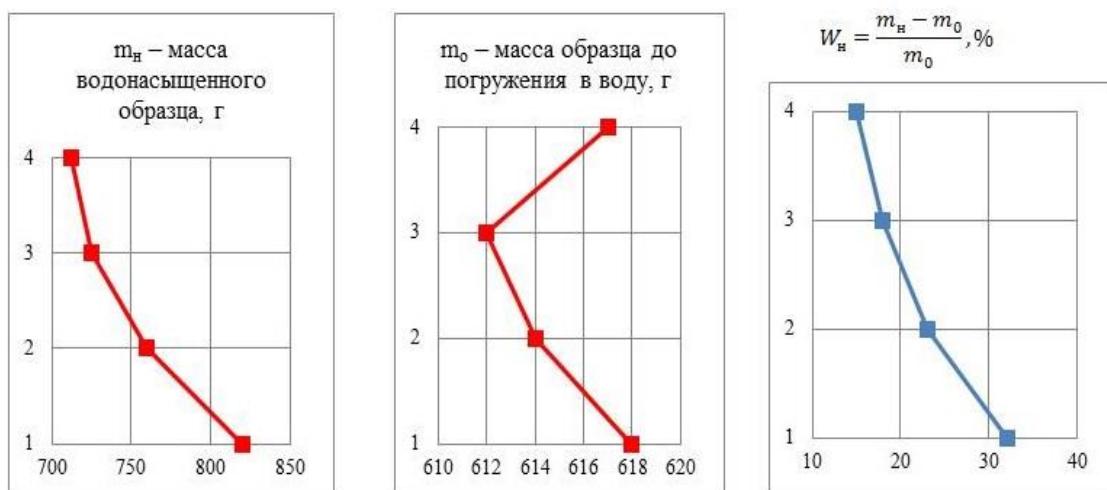


Рисунок 4 – Результаты испытаний на водопоглощение

Исследования образцов на водопоглощение по массе показали эффективную гидрофобность применяемой комплексной добавки в структуре бетона. По результатам проведенного исследования определили водопоглощения образцов для:

Типа 1. Плотность образца в сухом состоянии типа 1 составляет $618 \text{ г}/\text{см}^3$, а плотность образца в водонасыщенном состоянии типа 1 составляет $820 \text{ г}/\text{см}^3$. Квадратичное отклонение частных значений составляет 8, а коэффициент вариации – 1%

Водопоглощение образцов типа 1 имеет наибольшее значение, равное 32%, тогда как наименьшее водопоглощение наблюдается у образцов типа 4 – 15%.

Типа 2. Плотность образца в сухом состоянии типа 2 составляет $614 \text{ г}/\text{см}^3$, а плотность образца в водонасыщенном состоянии типа 2 составляет $760 \text{ г}/\text{см}^3$. Квадратичное отклонение частных значений составляет 9, а коэффициент вариации – 1%.

Водопоглощение образцов типа 2 имеет значение равное 23%, тогда как наименьшее водопоглощение наблюдается у образцов типа 4 – 15%. Такой показатель был, достигнут за счет пластифицирующего действия послеспиртовой барды. А также применение комплексной добавки дает более высокий эффект, так как послеспиртовая барда в своей структуре имеет пластифицирующие компоненты, незначительно снижающие водопоглощения типов 2; 3; 4 тем самым создавая гидрофобную оболочку в структуре бетона, образовывая преграду для проникновения воды в поры.

Типа 3. Плотность образца в сухом состоянии типа 3 составляет $612 \text{ г}/\text{см}^3$, а плотность образца в водонасыщенном состоянии типа 3 составляет $725 \text{ г}/\text{см}^3$. Квадратичное отклонение частных значений составляет 10, а коэффициент вариации – 1%

Водопоглощение образцов типа 3 имеет значение равное 18%, тогда как наименьшее водопоглощение наблюдается у образцов типа 4 – 15%.

Типа 4. Плотность образца в сухом состоянии типа 4 составляет $617 \text{ г}/\text{см}^3$, а плотность образца в водонасыщенном состоянии типа 4 составляет $712 \text{ г}/\text{см}^3$. Квадратичное отклонение частных значений составляет 12, а коэффициент вариации – 1%

Водопоглощение образцов типа 4 имеет наименьшее значение, равное 15%, тогда как наибольшее водопоглощение происходит у образцов типа 1 – 32%. Максимально низкое водопоглощение обеспечивает тип 4, так как большое количество пластифицирующих компонентов послеспиртовой барды и компонентов щелочи сокращают количество пор, создавая оболочку, полностью изолирующую структуру бетона. Таким образом, проведенные исследования показали, что применение гипса в комплексе с едким натрием и послеспиртовой бардой значительно повышает физико-механические свойства, создавая эффект синергизма.

Как видно из предоставленных данных, содержание комплексной добавки приводит к снижению водопоглощения в 2-4 раза, что свидетельствует об уменьшении пористости.

Анализ результатов показывает, что повышение водопоглощения бетонных образцов достигало от 15 до 32 % в зависимости от состава бетона и расхода добавки. Водопоглощение образцов типа 1 имеет наибольшее значение, равное 32%, тогда как наименьшее водопоглощение наблюдается у образцов типа 4 – 15%. Установлено, что увеличение количества введенной добавки, водопоглощение бетона увеличилось на 17%. При максимальном расходе добавки в исследованиях, водопоглощение бетона по массе не превышает его нормативного значения (для тяжелого бетона с крупным заполнителем $W_m \leq 5 \%$) и контрольных образцов без добавки.

Выводы

На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы для:

Типа 1. Результаты испытаний показали, что начало схватывания цементной массы типа 1 (контрольный состав без добавок) составляет 3ч 20 мин, а конец схватывания 6ч 50 мин. Образцы показали наименьшую прочность по сравнению с типами 2, 3 и 4, однако водопоглощение имеет наибольшее значение. Результаты испытаний контрольного образца составило $R = 6 \text{ МПа}$, разрушающая нагрузка $F = 18,19 \text{ кН}$. Прирост прочности на растяжение при изгибе составило -0%.

Типа 2. При введении в цементное тесто 3% комплексной добавки (по отношению к массе цемента) начало схватывания составляет 1ч 30 мин, а конец схватывания 4ч 10 мин. Образцы показывают прочность при сжатии $51,5 \text{ МПа}$, что на порядок выше контрольного

образца на 36,95%, связано это с тем, что введенная комплексная добавка повышает темп набора прочности бетона. Водопоглощение имеет значение равное 23%, такой показатель был, достигнут за счет пластифицирующего действия послеспиртовой барды.

Типа 3. Сроки схватывания цементного теста типа 3 начало схватывания-50 мин, а конец- 3ч 30 мин, при добавке к цементному тесту комплексной добавки в количестве 5%, обеспечивает быстрое схватывание и твердение вяжущего. Образцы показывают наибольшую прочность, превышающую прочность образцов типа 1, на 47,01%, типа 2 на 5,05%, типа 4 на 2,85%. Водопоглощение образцов имеет значение равное 18%.

Типа 4. Сроки схватывания цементного теста типа 4 начало схватывания -1 ч, а конец- 4 ч 20 мин, при добавке к цементному тесту комплексной добавки в количестве 7%. Образцы показывают прочность, превышающую прочность образцов типа 1, на 42,93%, и на 2,14% больше чем прочность образцов типа 2, но на 2,77% меньше образцов типа 4. Самый низкий уровень водопоглощения имеет тип 4-15%, а контрольный образец тип 1 показал- 32%. Максимально низкое водопоглощение обеспечивает тип 4, так как большое количество пластифицирующих компонентов послеспиртовой барды и компонентов щелочи сокращают количество пор, создавая оболочку, полностью изолирующую структуру бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байджанов Д.О., Абдрахманова К.А. Особенности микрокремнезема как минеральной добавки в цементное вяжущие // Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. № 2-1 (46). С. 73-76.
2. Абдрахманова К.А., Байджанов Д.О. Высокопрочный бетон модифицированный с различными добавками // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Пенза, 2019. С. 102-104.
3. Купчикова Н.В., Максимов А.О., Зинченко Д.В. Эволюция технологии устройства буронабивных свайных фундаментов с уширениями // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования. Астрахань, 2018. С. 113-121.
4. Пономарев А.Б., Соловьев А.В., Богомолова О.А. К вопросу определения расчетной нагрузки на сваю // Актуальные проблемы геотехники. 2014. С. 159–165.
5. Тринкер Б.Д. и др. Эффективность применения комплексных добавок ПАВ и электролитов // Бетон и железобетон. 2007. № 10. С. 12–13.
6. Петрова Т.М., Смирнова О.М. Современные модифицирующие добавки для производства сборного бетона и железобетона // Известия Петербургского университета путей сообщения 2010. №4. С. 203-212.
7. Боцман Л.Н., Строкова В.В., Ищенко А.В., Боцман А.Н. Модификация бетона за счет введения различных видов добавок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №6. С. 90-94.
8. Кушбакова Б.Б. Ботиров И.Ш., Мухамедбаев А.А. Влияние химической добавки на прочность бетона // Scientific progress. 2021. №1 (6). С. 302-304.
9. Бахташ К.Н., Абдрахманов У.К. Исследование возможности повышения качества бетона введением модифицирующих добавок // Молодой ученый. 2020. № 22. С. 91-94.
10. Зоткин А.Г. Бетоны с эффективными добавками. Москва. 2014. Учебное пособие. 160 с.
11. Руководство по применению химических добавок к бетону. М., Стройиздат, 1975, 66 с.
12. Анисимов С.Н., Кононова О.В., Минаков Ю.А., Лешканов А.Ю., Смирнов А.О. Исследование прочности тяжелого бетона с пластифицирующими и минеральными добавками // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2 (часть 1).
13. Jeayanth A., Kosalram R., Rajkiran R.C. Influence of chemical admixtures on the strength properties of concrete [Влияние химических добавок на прочностные свойства бетона] / Conference: SET conference, VIT university. 2013. <https://www.researchgate.net/publication/267624951> DOI: 10.13140/2.1.1107.0404
14. Дружинкин С.В., Немыкина Д.А., Краснова Е.А. Влияние суперпластифицирующих добавок на прочность бетона / Инженерный Вестник Дона. 2018. № 2.
15. Ефимов В.М., Рожин И.И., Попенко Ф.Е., Степанов А.В., Степанов А.А., Васильчук Ю.К. Устройство буронабивных свай в условиях криолитозоны центральной Якутии // Арктика и антарктика. Москва, 2018. С. 133-141.
16. Ширшаева Д.В., Устюгов А.С. Комплексная добавка для цементного вяжущего // Избранные доклады 65-й Юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск, 2019. С. 878-879.
17. Калашников В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов. Ч. 2. Тонкодисперсные реологические матрицы и порошковые бетоны нового поколения // Технологии бетонов. 2007. № 6. С. 8-11.

18. Базаров Б.Г., Норжинбадам С., Санжаасурен Р., Доржиева С.Г., Урханова Л.А. Пластифицирующие добавки в бетон на основе промышленных отходов // Вестник ВСГУТУ. 2012. № 1 (36). С. 27.
19. Копаница Н.О., Сорокина Е.А. Демьяненко О.В. Влияние добавки термомодифицированного торфа на технологические свойства строительных смесей для 3d-печати // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018 (4). С. 122-134.
20. Кинд В.В. Коррозия цементов и бетона в гидротехнических сооружениях // В.В. Кинд. М.: Госэнергоиздат, 1955. 320 с.
21. Пустовгар А.П. Эффективность применения современных суперпластификаторов в сухих строительных смесях // 4-я Междунар. научно-техн. конф. «Современные технологии сухих смесей в строительстве «MixBUILD»». Санкт-Петербург, 2002. С. 45-52.
22. Иванов И.М., Крамар Л.Я., Кирсанова А.А., Тьери В. Влияние комплекса "микрокремнезем-суперпластификатор" на формирование структуры и свойств цементного камня // Вестник ЮжноУральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Т. 18. № 1. С. 32-40.
23. Калашников В.И. Особенности реологических изменений цементных композиций под действием ионностабилизирующих пластификаторов // Сборник трудов «Технологическая механика бетона». Рига: РПИ, 1984. С. 103-118.
24. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны // Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
25. Калашников В.И. Учет реологических изменений бетонных смесей с суперпластификаторами // Материалы IX Всесоюзной 53 конференции по бетону и железобетону (Ташкент, 1983). Пенза, 1983. С. 7-10.
26. Танг Ван Лам. Возможность применений высококачественного мелкозернистого торкрет-бетона для строительства метро // сборник материалов XIX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Издательство: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Москва). 2016. С. 909-912.
27. Батраков, В.Г. Адсорбция и пластифицирующий эффект суперпластификатора С-3 в зависимости от состава цемента / В.Г. Батраков, Т.Е. Тюрина, В.Р. Фаликман // Бетоны с эффективными добавками. М.: НИИЖБ, 1985. С. 8-14.
28. Gaítero J.J., Campillo I., Guerrero A. Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles [Снижение скорости выщелачивания кальция из цементной пасты путем добавления наночастиц кремнезема]. Cem. Concr. Res, 2008. Vol.38. Pp.1112–1118.
29. Koranitsa N., Sarkisov Y., Gorshkova A., Demyanenko O. Additives for Cement Compositions Based on Modified Peat [Добавки для цементных композиций на основе модифицированного торфа] // AIP Conference Proceedings 1698, 070015 (2016). С. 070015-0-070015-5.
30. Sanchez F., Zhang L., Ince C. Multi-scale performance and durability of carbon nanofiber/cement composites [Многоуровневая работа и долговечность углеродного нановолокна/цементных композитов]. In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors. Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposiumon nanotechnology in construction). Prague, Czech Republic; 2009. P. 345.

REFERENCES

1. Bajdzhanov D.O., Abdrahanova K.A. Osobennosti mikrokremnezema kak mineral'noj dobavki v cementnoe vjazhushchie [Peculiarities of microsilica as a mineral additive in cement binders] // Aktual'nye nauchnye issledovanija v sovremennom mire. 2019. No. 2-1 (46). Pp. 73-76. (rus)
2. Abdrahanova K.A., Bajdzhanov D.O. Vysokoprochnyj beton modifirovannyj s razlichnymi dobavkami [High-strength concrete modified with various additives] // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovanija: aktual'nye voprosy, dostizhenija i innovacii. Penza. 2019. Pp. 102-104. (rus)
3. Kupchikova N.V., Maksimov A.O., Zinchenko D.V. Jevoljucija tehnologii ustrojstva buronabivnyh svajnyh fundamentov s ushirenijami [Evolution of technology for bored pile foundations with extensions] // Innovacionnoe razvitiye regionov: potencial nauki i sovremenennogo obrazovaniya. Astrahan'. 2018. Pp. 113-121. (rus)
4. Ponomarev A.B., Solov'ev A.V., Bogomolova O.A. K voprosu opredelenija raschetnoj nagruzki na svaju [To determine the design load on the pile] // Aktual'nye problemy geotehniki. 2014. Pp. 159–165. (rus)
5. Trinker B.D. i dr. Jeffektivnost' primenenija kompleksnyh dobavok PAV i jelektrolitov [Effectiveness of complex surfactant and electrolyte additives] // Beton i zhelezobeton. 2007. No. 10. Pp. 12–13. (rus)
6. Petrova T.M., Smirnova O.M. Sovremennye modifirujushchie dobavki dlja proizvodstva sbornogo betona i zhelezobetona [Modern modifying additives for the production of precast concrete and reinforced concrete] // Izvestija Peterburgskogo universiteta putej soobshhenija. 2010. No. 4. Pp. 203-212. (rus)
7. Bocman L.N., Strokova V.V., Ishhenko A.V., Bocman A.N. Modificirovanie betona za schet vvedenija razlichnyh vidov dobavok [Modifying concrete by introducing different types of additives] // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. 2016. No. 6. Pp. 90-94. (rus)

8. Kushbakova B.B., Botirov I.Sh., Muhamedbaev A.A. Vlijanie himicheskoy dobavki na prochnost' betona [Effect of a chemical additive on the strength of concrete] // Scientific progress. 2021. No.1 (6). Pp. 302-304. (rus)
9. Bahtash K.H., Abdrahmanov U.K. Issledovanie vozmozhnosti povyshenija kachestva betona vvedeniem modifirujushhih dobavok [Study of the possibility of improving the quality of concrete by introducing modifying additives] // Molodoj uchenyj. 2020. No. 22. Pp. 91-94. (rus)
10. Zotkin A.G. Betony s jeffektivnymi dobavkami [Concretes with effective additives]. Moskva. 2014. Uchebnoe posobie. 160 p. (rus)
11. Rukovodstvo po primeneniju himicheskikh dobavok k betonu [Guidelines for the use of chemical concrete additives]. M., Strojizdat, 1975. 66 p.
12. Anisimov S.N., Kononova O.V., Minakov Ju.A., Leshkanov A.Ju., Smirnov A.O. Issledovanie prochnosti tjazhelogo betona s plastificirujushhimi i mineral'nymi dobavkami [Study of the strength of heavy concrete with plasticizers and mineral additives] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. № 2 (1). (rus)
13. Jeyanth A., Kosalram R., Rajkiran R.C. Influence of chemical admixtures on the strength properties of concrete // Conference: SET conference, VIT university. 2013. <https://www.researchgate.net/publication/267624951> DOI: 10.13140/2.1.1107.0404
14. Druzhinkin S.V., Nemykina D.A., Krasnova E.A. Vlijanie superplastificirujushhih dobavok na prochnost' betona [Effect of superplasticizing additives on concrete strength] // Inzhenernyj Vestnik Dona. 2018. No. 2. (rus)
15. Efimov V.M., Rozhin I.I., Popenko F.E., Stepanov A.V., Stepanov A.A., Vasil'chuk Ju.K. Ustrojstvo buronabivnyh svaj v uslovijah kriolitozony central'noj Jakutii [Installation of bored piles in the cryolithozone conditions of central Yakutia] // Arktika i antarktika. Moskva, 2018. Pp. 133-141. (rus)
16. Shirshaeva D.V., Ustjugov A.S. Kompleksnaja dobavka dlja cementnogo vjazhushhego [Complex additive for cement binders] // Izbrannye doklady 65-j Jubilejnoj universitetskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov i molodyh uchenyh. Tomsk, 2019. Pp. 878-879. (rus)
17. Kalashnikov V.I. Cherez racional'nuju reologiju – v budushhee betonov. Ch. 2. Tonkodispersnye reologicheskie matricy i poroshkovye betony novogo pokolenija [Through rational rheology into the future of concrete. Part 2: Fine rheological matrices and new generation powder concretes] // Tehnologii betonov. 2007. No. 6. Pp. 8-11. (rus)
18. Bazarov B.G., Norzhinbadam S., Sanzhaasuren R., Dorzhieva S.G., Urhanova L.A. Plastificirujushchie dobavki v beton na osnove promyshlennyh othodov [Plasticizing additives in concrete based on industrial waste] // Vestnik VSGUTU. 2012. № 1 (36). Pp. 27. (rus)
19. Kopanica N.O., Sorokina E.A. Dem'janenko O.V. Vlijanie dobavki termomodificirovannogo torfa na tehnologicheskie svojstva stroitel'nyh smesej dlja 3d-pechaty [Effect of thermally modified peat additive on the technological properties of construction mixtures for 3d-printing] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2018 (4). Pp. 122-134. (rus)
20. Kind V.V. Korrozija cementov i betona v gidrotehnicheskikh sooruzhenijah [Corrosion of cements and concrete in hydraulic structures] // V.V. Kind. M.: Gosjenergoizdat, 1955. 320 p. (rus)
21. Pustovgar A.P. Jeffektivnost' primenenija sovremennyh superplastifikatorov v suhih stroitel'nyh smesjah [Effectiveness of modern superplasticizers in dry building mixes] // 4-ja Mezhdunar. nauno-tehn. konf. «Sovremennye tehnologii suhih smesej v stroitel'stve «MixBUILD»». Sankt-Peterburg, 2002. Pp. 45-52. (rus)
22. Ivanov I.M., Kramar L.Ja., Kirsanova A.A., Teri V. Vlijanie kompleksa "mikrokremnezem-superplastifikator" na formirovanie struktury i svojstv cementnogo kamnja [Influence of the complex "microsilica-superplasticizer" on the formation of the structure and properties of cement stone] // Vestnik JuzhnoUral'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura. 2018. T. 18. No. 1. Pp. 32-40. (rus)
23. Kalashnikov V.I. Osobennosti reologicheskikh izmenenij cementnyh kompozicij pod dejstvijem ionnostabilizirujushhih plastifikatorov [Peculiarities of rheological changes of cement compositions under the action of ionic stabilizing plasticizers] // Sbornik trudov «Tehnologicheskaja mehanika betona». Riga: RPI, 1984. Pp. 103-118. (rus)
24. Bazhenov Ju.M. Modificirovannye vysokokachestvennye betony [Modified high quality concretes] // Ju.M. Bazhenov, B.C. Dem'janova, V.I. Kalashnikov. M.: Izdatel'stvo Asociacii stroitel'nyh vuzov, 2006. 368 p. (rus)
25. Kalashnikov V.I. Uchet reologicheskikh izmenenij betonnyh smesej s superplastifikatorami [Accounting for rheological changes in concrete mixtures with superplasticizers] // Materialy IX Vsesojuznoj 53 konferencii po betonu i zhelezobetonu (Tashkent, 1983). Penza, 1983. Pp. 7-10. (rus)
26. Tang Van Lam. Vozmozhnost' primenenij vysokokachestvennogo melkozernistogo torkret-betona dlja stroitel'stva metro [The possibility of using high-quality fine-grained shotcrete for subway construction] // sbornik materialov XIX Mezhdunarodnoj mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, magistrantov, aspirantov i molodyh uchjonyh. FGBOU VO «Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet». Izdatel'stvo: Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet (Moskva). 2016. Pp. 909-912. (rus)
27. Batrakov V.G. Adsorbciya i plastificirujushhij jeffekt superplastifikatora S-3 v zavisimosti ot sostava cementa [Adsorption and plasticizing effect of superplasticizer C-3 depending on cement composition] / V.G. Batrakov, T.E. Tjurina, V.R. Falikman // Betony s jeffektivnymi dobavkami. M.: NIIZhB, 1985. Pp. 8-14. (rus)

Строительные материалы и технологии

28. Gaitero J.J., Campillo I., Guerrero A. Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles, Cem. Concr. Res. 2008. Vol.38. Pp.1112–1118.
29. Kopanitsa N., Sarkisov Y., Gorshkova A., Demyanenko O.. Additives for Cement Compositions Based on Modified Peat // AIP Conference Proceedings 1698, 070015 (2016). C. 070015-0-070015-5.
30. Sanchez F., Zhang L., Ince C. Multi-scale performance and durability of carbon nanofiber/cement composites. In: Bittnar Z., Bartos PJM, Nemecek J., Smilauer V., Zeman J., editors. Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in construction). Prague, Czech Republic; 2009. P. 345.

Информация об авторах:

Алтынбекова Алия Досжанкызы

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Нур-Султан, Казахстан, докторант кафедры технология промышленного и гражданского строительства.

E-mail: kleo-14@mail.ru

Лукпанов Раун Ермагамбетович

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Нур-Султан, Казахстан, PhD, ассоциированный профессор кафедры технология промышленного и гражданского строительства.
E-mail: rauan_82@mail.ru

Енкебаев Серик Бейсенгалиевич

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Нур-Султан, Казахстан, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирование зданий и сооружений.
E-mail: yenkebayev-serik@mail.ru

Дюсембинов Думан Серикович

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Нур-Султан, Казахстан, кандидат технических наук, доцент кафедры технология промышленного и гражданского строительства.
E-mail: dusembinov@mail.ru

Ержанова Нурлизы Киякбаевна

НАО «Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати», г. Тараз, Казахстан, магистр, старший преподаватель кафедры водные ресурсы.
E-mail: nurliza66@mail.ru

Information about authors:

Altynbekova Aliya D.

Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan,
doctoral student of the department of technology of industrial and civil engineering.
E-mail: kleo-14@mail.ru

Lukpanov Rauan E.

Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan,
PhD, associated professor of the department of technology of industrial and civil engineering.
E-mail: rauan_82@mail.ru

Yenkebayev Serik B.

Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan,
candidate in technical sciences, associated professor of the department of design of buildings and structures.
E-mail: yenkebayev-serik@mail.ru

Dyusseminov Duman S.

Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan,
candidate in technical sciences, associate professor of the department of Industrial and Civil Engineering Technology.
E-mail: dusembinov@mail.ru

Yerzhanova Nurliza K.

Taraz Regional University named after M.H. Dulati, Taraz, Kazakhstan,
MSC, senior lecturer of the department of water resources.
E-mail: nurliza66@mail.ru