

МАТЕРИАЛТАНУ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
MATERIAL SCIENCE

DOI 10.51885/1561-4212_2023_1_30

MPHTI 67.09.33

**А.Д. Алтынбекова¹, Р.Е. Лукпанов², Д.С. Дюсембинов³, А.М. Аскербекова⁴,
Ж.Б. Жантлесова⁵**

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

¹E-mail: kleo-14@mail.ru*²E-mail: rauan_82@mail.ru³E-mail: dusembinov@mail.ru⁴E-mail: araj_09.91@mail.ru⁵E-mail: zhibek81@mail.ru**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДОБАВКИ
НА ПОДВИЖНОСТЬ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОЙ СМЕСИ****ЦЕМЕНТ-ҚҰМ ҚОСПАСЫНЫҢ ҚОЗҒАЛҒЫШТЫҒЫНА КЕШЕНДІ
МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ҚОСПАНЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ****EFFICIENCY ASSESSMENT OF COMPLEX MODIFIED ADDITIVE
OF CEMENT-SAND MIXTURE FLOWABILITY**

Аннотация. В статье представлен второй этап результатов исследования комплексной модифицированной добавки (КМД) на водоредуцирующий эффект и влияния вариативного состава компонентов добавки на подвижность цементно-песчаной смеси. В данной работе показана методология выполнения образцов, подбор состава добавки при разном процентном соотношении компонентов и анализ полученных результатов. Целью введения пластифицирующих добавок (послеспиртовая барда) в бетон является снижение расхода воды и ожидаемое сохранение необходимой удобоукладываемости. Исследования направлены на улучшение условий производства бетонных работ, в частности улучшения удобоукладываемости бетонной смеси путем добавления в состав КМД. В данной работе авторы использовали разработанную КМД, включающую щелочь (едкий натр, NaOH), послеспиртовую барду (отход спиртового производства) и ускоритель твердения (гипс) в различных процентных соотношениях. При использовании добавки обеспечивается значительное повышение водоредуцирования в диапазоне 5,35...19,64 %. Как показали результаты исследования, при определении пластифицирующего действия добавки по расплыву стандартного конуса наибольший эффект был получен при 2,5...7,5 % соотношениях добавки, что приводит к значительному увеличению расплыва смеси от 122 до 154 мм. Напротив, повышение дозировки добавки при количестве 10 % приводит к уменьшению расплыва смеси от 112 до 114 мм. Таким образом, становится возможным достичь требуемой подвижности при меньшем расходе добавки. Добавление добавки дало наилучшие результаты, поскольку она приводит к значительному увеличению расплыва смеси от 110 до 154 мм по сравнению с эталонным составом с расплывом 109 мм при В/Ц=0,56.

Ключевые слова: расплыв смеси, подвижность, комплексная модифицированная добавка, водоредуцирование, послеспиртовая барда.

Аңдатпа. Мақалада кешенді модификацияланған қоспаны (КМҚ) суды төмендететін әсері және қоспа компоненттерінің ауыспалы құрамының цемент-құм қоспасының қозғалғыштығына әсері бойынша зерттеу нәтижелерінің екінші кезеңі берілген. Бұл жұмыста сынамаларды жасау

әдістемесі, компоненттердің әртүрлі пайызындағы қоспаның құрамын таңдау және нәтижелерді талдау көрсетілген. Бетонға пластификаторлы қоспаларды (спирттік кейінгі барда) енгізудің мақсаты суды тұтынуды азайту және қажетті жұмыс қабілеттілігін күтілетін сақтау болып табылады. Ғылыми-зерттеу жұмыстары бетон жұмыстарын өндіру үшін жағдайды жақсартуға, атап айтқанда, бетон құрамына қосу арқылы бетон қоспасының (КМҚ) жұмысқа қабілеттілігін арттыруға бағытталған. Бұл жұмыста авторлар әзірленген КМҚ, оның ішінде сілті (каустикалық сода NaOH), спирттік кейінгі барда (алкоголь өндірісінің қалдықтары) және әртүрлі пайыздарда қатаюды үдеткіш (гипс) пайдаланды. Қоспаны пайдалану кезінде суды азайтудың айтарлықтай өсуі 5,35-19,64 % диапазонында қамтамасыз етіледі. Мәліметтерді талдай келе, стандартты конустың ағыны бойынша қоспаның пластификаторлық әсерін анықтау кезінде нәтиже көрсеткендей ең үлкен әсер 2,5-7,5 % қоспалардың қатынасын қолдану нәтижесінде алынған деп қорытынды жасауға болады. қоспаның ағынының 122-ден 154 мм-ге дейін айтарлықтай өсуіне әкеледі. Керісінше, қоспаның дозасын 10 % мөлшерінде арттыру қоспаның таралуының 112-ден 114 мм-ге дейін төмендеуіне әкеледі. Осылайша, қоспаны аз тұтыну арқылы қажетті ұтқырлыққа қол жеткізуге болады. Қоспаны қосу ең жақсы нәтиже берді, өйткені ол C/Ц=0,56 кезіндегі 109 мм эталондық құраммен салыстырғанда қоспаның таралуын 110-нан 154 мм-ге дейін айтарлықтай арттыруға әкеледі.

Түйін сөздер: қоспа ағыны, қозғалғыштығы, кешенді модификацияланған қоспа, суды азайту, спирттік кейінгі барда.

Abstract. The article presents the second stage of the results of the study of complex modified additive (CMA) for water-reducing effect and the effect of variable composition of additive components on the mobility of cement-sand mixture. This paper shows the methodology of making samples, selecting the composition of the additive at different percentages of components, and analysis of the results obtained. The purpose of introducing plasticizing additives (post-alcohol bard) in concrete is to reduce water consumption and the expected savings of the necessary workability. Studies are aimed at improving the conditions for the production of concrete works, in particular to improve the workability of the concrete mixture by adding KMD to the composition. In this work, the authors used developed CMA including alkali (caustic soda NaOH), post-alcohol bard (alcohol production wastes), and hardening gas pedal (gypsum) in various percentages. The use of additives provides a significant increase in water reduction in the range of 5.35-19.64%. Having analyzed the data, the conclusion can be made that in determining the plasticizing effect of additives on the melting of the standard cone, as shown by the results, the greatest effect was obtained by using a 2.5-7.5% ratio of additives, which leads to a significant increase in the melting of the mixture from 122 to 154 mm. In contrast, increasing the dosage of the additive by 10% resulted in a reduction of the mixture's spray from 112 to 114 mm. Thus, it becomes possible to achieve the required mobility at a lower flow rate of the additive. The addition of an additive gave the best results, as it leads to a significant increase in the flow of the mixture from 110 to 154 mm, compared to the reference composition of 109 mm at w/c ratio = 0.56.

Keywords: mixture flowability, flowability, complex modified additive, water-reduction, post-alcohol bard.

Введение. Большая часть преобразовательного процесса бетона как строительного материала приходится не на разработку новых материалов, а на использование добавок, способствующих улучшению его физико-механических свойств. Добавка может быть выбрана, например, в зависимости от технологического применения бетона или для улучшения определенных его показателей: скорости схватывания или твердения, повышенной прочности, водопоглощения, морозостойкости и т.д. Среди химических добавок наиболее распространенными стали пластификаторы и суперпластификаторы, значительно снижающие водопотребность бетонной смеси. Использование пластифицирующих добавок представляет собой перспективное направление в повышении эффективности бетона и улучшении его эксплуатационных свойств.

В настоящей статье в качестве добавки рассматривается разработанная авторами комплексная модифицированная добавка (КМД). В состав КМД входят гипс (ускоритель твердения), отход производства этилового спирта (послеспиртовая барда) и щелочь (каустическая сода, NaOH). Щелочь используется для нейтрализации кислотности послеспиртовой

барды, так как барда сохраняет кислотность из-за некачественной очистки. Послеспиртовая барда является ценным продуктом, которую можно использовать при решении проблем экологического загрязнения и получения дешевого сырья. Комплексное применение гипса, щелочи и пластифицирующей добавки (послеспиртовой барды) способствует улучшению физико-механических характеристик. Основными преимуществами добавки являются водоредуцирующий и пластифицирующий эффекты. Исходя из вышеизложенного, необходимо оценить эффективность разработанной КМД, поскольку разработанная добавка является комплексной, необходимо исследовать водоредуцирующие свойства.

Целью исследования является получение добавки, которая не уступает по своим функциональным свойствам современным продуктам и получена из местных материалов, в точности отходов производства. В рамках данного исследования был проведен комплекс лабораторных испытаний по оценке физико-механических свойств опытных образцов с последующим сравнительным анализом изменения качественных характеристик цемента и влияния на него комплексного модификатора. Однако в рамках данной статьи будут представлены результаты второго этапа исследования, в точности влияние вариативного состава КМД на расплыв смеси.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Подбор оптимального состава добавки при разном процентном соотношении ее компонентов;

2. Приготовление образцов вариативного состава компонентов добавки в лабораторных условиях;

3. Лабораторные исследования физико-механических свойств опытных образцов.

Сравнения результатов лабораторных исследований проведены для пяти типов состава:

Тип 1: контрольный образец без добавок, стандартного состава;

Тип 2: состав с 1,0 % гипса по массе цемента эталона (тип 1) и с разным процентным соотношением послеспиртовой барды:

Тип 2-1 – 2,5 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 2-2 – 5,0 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 2-3 – 7,5 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 2-4 – 10 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ).

Тип 3: состав с 1,5 % гипса по массе цемента эталона (тип 1) и с разным процентным соотношением послеспиртовой барды:

Тип 3-1 – 2,5 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 3-2 – 5,0 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 3-3 – 7,5 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 3-4 – 10 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ).

Тип 4: состав с 2,0 % гипса по массе цемента эталона (тип 1) и с разным процентным соотношением послеспиртовой барды:

Тип 4-1 – 2,5 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 4-2 – 5,0 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 4-3 – 7,5 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 4-4 – 10 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ).

Тип 5: состав с 2,5 % гипса по массе цемента эталона (тип 1) и с разным процентным соотношением послеспиртовой барды:

Тип 5-1 – 2,5 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 5-2 – 5,0 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 5-3 – 7,5 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ);

Тип 5-1 – 10 % послеспиртовой барды (от массы вяжущего) и NaOH (5 % от ПБ).

Обзор литературы. В современных условиях развития строительства в Казахстане на фоне стремительно развивающихся технологий встает вопрос о внедрении новых быстрооплачиваемых технологий, которые основаны на широком использовании местного сырья и новых методик с целью получения высокоэффективных материалов [1]. Значительный прогресс в современной технологии производства бетона был достигнут благодаря появлению и широкому внедрению в производство различных высокоэффективных химических и минеральных добавок в бетон [2]. Любое научное исследование должно быть направлено на получение качественных и достоверных результатов [3-4].

При изготовлении бетонных и железобетонных изделий из высокопрочного бетона основной потребностью является получение подвижных смесей. Добавки пластификаторов и суперпластификаторов являются эффективным регулятором подвижности бетонных смесей. Основным назначением пластифицирующих добавок является повышение удобоукладываемости, что снижает энергозатраты и трудозатраты при укладке. С другой стороны, использование таких добавок позволяет за счет снижения водоцементного отношения при сохранении заданной подвижности смеси значительно повысить прочность и долговечность изделий. Кроме того, введение пластификаторов позволяет влиять на время схватывания и кинетику твердения цемента, повышать прочность, морозостойкость и водостойкость бетона за счет уменьшения водопотребности, а также снижать расход цемента и энергозатраты на производство бетона, строительных растворов и т.д. [5-7].

Пластифицирующие добавки прочно заняли свое место в производстве бетона. Правильный выбор пластификатора для производства бетонных смесей в настоящее время является актуальным вопросом [8-10]. Поэтому разработка составов модифицированных тяжелых бетонов для общестроительного назначения с улучшенными технологическими параметрами путем использования эффективных модифицирующих добавок являются актуальным.

Материалы и методы исследования. Для проведения исследований и выполнения поставленной цели и задач использовали материалы, соответствующие требованиям и стандартам.

В качестве вяжущего портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н была принята продукция «Кокше-Цемент», ввиду доступности данного вяжущего. В качестве мелкого заполнителя применялся песок.

В качестве комплексной модифицированной добавки использовались:

– модифицирующая добавка – послеспиртовая барда (главный компонент добавки) в количестве 2,5 %, 5,0 %, 7,5 %, 10 % от массы цемента, кратность составляет 2,5 %; представляет собой отход производства этилового спирта, отвечает требованиям ТУ 1110 РК 00393896 ОАО – 01-2003, поставляется в жидком виде, pH=5 (кислая среда), производитель – АО «Айдабульский спиртзавод»;

– NaOH в количестве 5 % от послеспиртовой барды для получения нейтральной среды, т.е. для стабилизации pH послеспиртовой барды;

– ускоритель твердения – гипс в количестве 1 %, 1,5 %, 2,0 %, 2,5 % от массы цемента, кратность составляет 0,5 %, pH=6 (слабо кислая среда), производитель – Таразский гипсовый завод АО «Жамбылгипс».

Оценка оптимального соотношения концентрации КМД к цементу выполнена в два этапа.

На первом этапе было изучено совместное влияние оптимального состава КМД на

сроки схватывания теста стандартной консистенции (начало и конец схватывания). Срок схватывания цементного теста является одним из важнейших параметров бетонной смеси, так как определяет дальнейшие эксплуатационные свойства материала, результаты исследований приведены [11];

На втором этапе испытания исследовалось водоредуцирование, а также выполнены измерения расплыва (подвижности) смеси с разным %-ным содержанием КМД. Были изготовлены два вида составов: первый вид (Тип 1) – без использования добавки, содержащий цемент, песок и воду (эталонный, с которым будут проведены все последующие сравнения результатов); второй вид – составы с использованием КМД, состоящие из портландцемента, КМД и воды (рис. 1) и отличающиеся %-ным содержанием введенной комплексной модифицированной добавки.



гипс (полуводный)



послеспиртовая барда



каустическая сода

Рисунок 1. Компоненты КМД

Для определения эффективности и совместимости добавки с портландцементом были изготовлены составы, характеристики которых приведены в табл. 1 и 2. Взвешивание компонентов для подбора составов по массе выполнено на высокоточных аналитических весах. С целью получения подвижных смесей водоцементное отношение подбиралось опытным путем.

Таблица 1. Состав рассматриваемых смесей

№	Вид	Цемент, г	Песок, г	Гипс, г	ПБ, г	NaOH, г	Вода, г	В/Ц
1	Тип 1	100	300	0	0	0	56	0,56
2	Тип 2-1	99	300	1	2,5	0,125	53,375	0,53
3	Тип 2-2	99	300	1	5,0	0,25	50,75	0,50
4	Тип 2-3	99	300	1	7,5	0,375	48,125	0,48
5	Тип 2-4	99	300	1	10,0	0,5	45,5	0,45
6	Тип 3-1	98,5	300	1,5	2,5	0,125	53,375	0,53
7	Тип 3-2	98,5	300	1,5	5,0	0,25	50,75	0,50
8	Тип 3-3	98,5	300	1,5	7,5	0,375	48,125	0,48
9	Тип 3-4	98,5	300	1,5	10,0	0,5	45,5	0,45
10	Тип 4-1	98	300	2	2,5	0,125	53,375	0,53
11	Тип 4-2	98	300	2	5,0	0,25	50,75	0,50
12	Тип 4-3	98	300	2	7,5	0,375	48,125	0,48
13	Тип 4-4	98	300	2	10,0	0,5	45,5	0,45
14	Тип 5-1	97,5	300	2,5	2,5	0,125	53,375	0,53
15	Тип 5-2	97,5	300	2,5	5,0	0,25	50,75	0,50
16	Тип 5-3	97,5	300	2,5	7,5	0,375	48,125	0,48

17	Тип 5-4	97,5	300	2,5	10,0	0,5	45,5	0,45
----	---------	------	-----	-----	------	-----	------	------

Таблица 2. Характеристика портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н

Наименование	Нормальная густота, %	Сроки схватывания		Предел прочности через 28 суток, МПа	
		начало, ч-мин	конец, ч-мин	при изгибе	при сжатии
Кокше-Цемент	28	2-45	6-10	5,5	40,83

Подвижность цементно-песчаной смеси определялась по расплыву смеси на встряхивающем лабораторном столике с последующей обработкой результатов эксперимента, рис. 2. Измерения относятся к оценке удобоукладываемости бетонной смеси, результаты измерений в комплексе направлены на улучшение условий технологии производства бетонных работ предлагаемым составом.



Рисунок 2. Результаты испытаний: определение расплыва цементно-песчаной смеси

Результаты и их обсуждение. В настоящее время существует много различных модифицированных добавок для улучшения качества бетона, например: С-3 и многие другие. Предлагаемая добавка не имеет аналогов и отлична по своему количественному составу компонентов. Выбор добавки определялся исходя из основного механизма их действия. Преимущества КМД заключается в том, что она полифункционального действия, то есть способна влиять сразу на несколько характеристик бетонной смеси. Ранее проведенные исследования подтверждают особенности каждого компонента, а в комплексе достигается эффект синергизма [12-15].

Главным критерием пластифицирующих добавок является показатель уменьшения водопотребности, т.е. водоредуцирование. Для оценки эффективности водоредуцирования добавки были приготовлены составы из цементно-песчаной смеси (соотношение 1:3). Водоредуцирующий эффект КМД определяли путем снижения В/Ц разработанных составов с добавкой в сравнении с эталонным составом. Полученные результаты данных представлены на рис. 3. Как видно из рисунка, водоредуцирование при применении КМД повышается. Наибольшее увеличение водопотребности проявляется при дозировке добавки 10 % от массы цемента.

При использовании добавки обеспечивается значительное повышение водоредуцирования в диапазоне 5,35...19,64 % за счет адсорбции на цементных зернах и гидратных фазах

новообразований. Установлено, что введение в состав добавки позволяет увеличить ее водоредуцирующую способность в 2 раза по сравнению с эталонным составом. По представленным в табл. 1 данным, видно, что при использовании добавки снижается водоцементное отношение на 5...24 %. При этом значительное снижение водоцементного отношения достигается путем введения добавки в количестве 10 % от массы цемента (на 24 %). Водоцементное отношение композиции без добавки составило 0,56, с добавкой – 0,45...0,53.

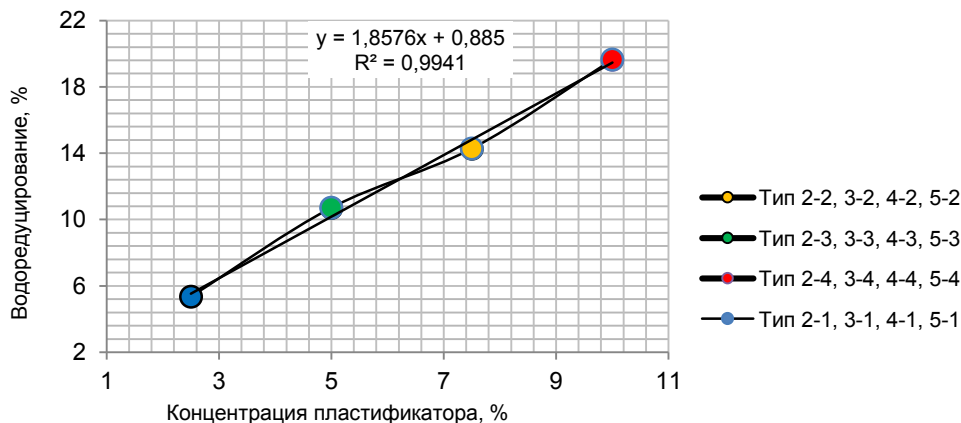


Рисунок 3. Зависимость водоредуцирования от концентрации добавки

Введение КМД позволяет значительно повысить подвижность бетонной смеси и уменьшить ее водопотребность, тем самым позволяя приготовить бетонные смеси равной подвижности при меньших расходах воды и цемента. В процессе подготовки смесей визуально оценивали признаки расслоения.

Для оценки реологической активности и влияния модификатора на расплыв смеси были приготовлены цементно-песчаные смеси со следующими дозировками добавок: после-спиртовая барда – 2,5 %, 5 %, 7,5 %, 10 % и гипс – 1 %, 1,5 %, 2,0 %, 2,5 % от массы цемента. Графическая зависимость расплыва смеси от расхода КМД представлена на рис. 4. Из полученных данных видно, что в типах 2-1...5-4 расплыв смеси находится в пределах 110...154 мм, эталонные составы типа 1 (без использования добавок) показали наименьший расплыв смеси, составляющий 109 мм, при В/Ц=0,56.

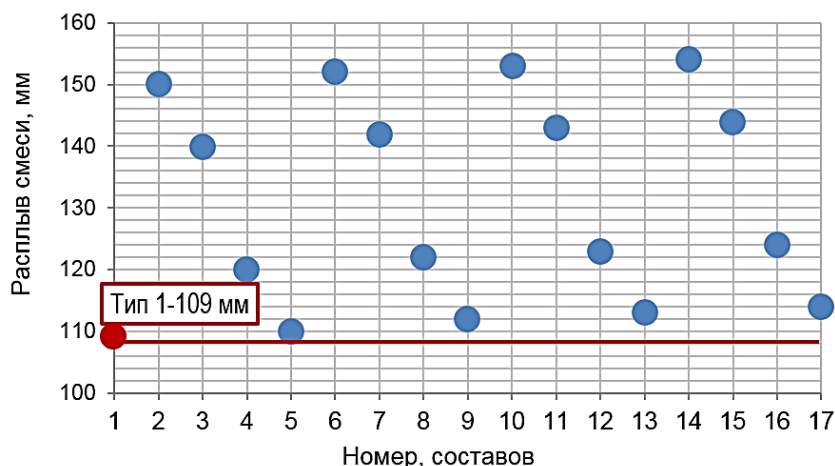


Рисунок 4. Изменение расплыва смеси в зависимости от расхода КМД

В ходе исследования смеси на распływ при различных значениях В/Ц были получены следующие данные по составам:

– типы 2-1, 3-1, 4-1, 5-1 показали распływ смеси, превышающий на 37,61...41,28 % тип 1, на 4,16...10 % типы 2-2, 3-2, 4-2, 5-2, на 20,96...28,33 % типы 2-3, 3-3, 4-3, 5-3 и на 31,57...40 % типы 2-4, 3-4, 4-4, 5-4. Распływ смеси находится в пределах 150...154 мм при В/Ц=0,53;

– типы 2-2, 3-2, 4-2, 5-2 показали распływ смеси, превышающий на 28,44...32,11 % тип 1, на 12,90...20% типы 2-3, 3-3, 4-3, 5-3, на 22,80...30,90 % типы 2-4, 3-4, 4-4, 5-4, но на 6,49...9,09 % меньше, чем у типов 2-1, 3-1, 4-1, 5-1. Распływ смеси находится в пределах 140...144 мм при В/Ц=0,50;

– типы 2-3, 3-3, 4-3, 5-3 показали распływ смеси, превышающий на 10,09...13,76 % тип 1, на 5,26...12,72 % типы 2-4, 3-4, 4-4, 5-4, но меньше на 19,48...22,07 %, чем у типов 2-1, 3-1, 4-1, 5-1 и меньше, чем у типов 2-2, 3-2, 4-2, 5-2. Распływ смеси находится в пределах 120...124 мм при В/Ц=0,48;

– типы 2-4, 3-4, 4-4, 5-4 показали распływ смеси, превышающий на 0,91...4,58 % тип 1, но меньше на 25,97...28,57 %, чем у типов 2-1, 3-1, 4-1, 5-1, на 20,83...23,61 % типов 2-2, 3-2, 4-2, 5-2 и на 8,06...11,29 % типов 2-3, 3-3, 4-3, 5-3. Распływ смеси находится в пределах 110...114 мм при В/Ц=0,45.

При определении пластифицирующего действия добавки по расплыву стандартного конуса наибольший эффект был получен в результате использования добавки в 2,5...7,5 % соотношениях. Действие пластификации цементного теста выражается адсорбцией гидрофобных молекул на поверхности дисперсных частиц цемента. Распływ смесей значительно зависит от концентрации добавки в них. Введение добавки в количестве 10 % не увеличивало подвижности смеси, что подтверждают результаты опытов.

Проанализировав данные, можно сделать вывод, что 2,5...7,5 % соотношение добавки приводит к значительному увеличению расплыва смеси от 122 до 154 мм. Напротив, повышение дозировки добавки (послеспиртовая барда) при количестве 10 % приводит к незначительному уменьшению расплыва смеси от 112 до 114 мм.

Таким образом, становится возможным достичь требуемой подвижности при меньшем расходе добавки, что, в свою очередь, влияет на снижение конечной стоимости бетона.

Из рис. 2 видно, что с повышением дозировки добавок рост подвижности замедляется, т.е. выполняется своеобразное насыщение смеси. Увеличение дозировки выше предельного значения приводит к значительному росту подвижности, возникновению водоотделения и расслоению бетонной смеси. Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод, что для этих типов максимальный эффект наблюдается при концентрации добавки в пределах 2,5...7,5 % от массы цемента. Увеличение распыла смеси на 41% по сравнению с составом без добавок (Тип 1) говорит о том, что введение в сырьевую смесь добавки способствовало повышению подвижности смеси и снижению ее водоцементного отношения. Таким образом, было установлено положительное влияние КМД на распыл смеси. Проведенные исследования показали, что при выборе модификаторов для тяжелого бетона необходимо проводить исследования реологической совместимости добавок с конкретным цементом, поскольку разбавляющая эффективность добавок очень чувствительна к химико-минералогическому и материальному составу вяжущих.

Заключение. На основании экспериментальных исследований можно сделать вывод, что комплексная модифицированная добавка (КМД) обладает водоредуцирующим и пластифицирующим эффектом. Добавление добавки дало наилучшие результаты, поскольку она приводит к значительному увеличению распыла смеси от 110 до 154 мм. Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод, что для данного типа добавки максимальный эффект наблюдается при концентрации 2,5...7,5 % (послеспиртовая барда). Увеличение распыла смеси на 41 % по сравнению с эталонным составом говорит о том, что применение КМД позволяет понизить водоцементное отношение до 24 %. Таким образом, проведенные эксперименты показали, что при смешивании цементной пасты с КМД происходит пластифицирующее действие на смесь и значительное увеличение распыла смеси. Следовательно, применение КМД позволяет целенаправленно изменить структуру бетона и тем самым значительно увеличить комплекс физико-механических показателей и долговечность модифицированных бетонов.

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. Kolesnikov A., Fediuk R., Amran M., Klyuev S., Klyuev A., Volokitina I., Naukenova A., Shapalov S., Utelbayeva A., Kolesnikova O., Bazarkhankyzy A. Modeling of Non-Ferrous Metallurgy Waste Disposal with the Production of Iron Silicides and Zinc Distillation. *Materials*. – 2022; 15(7): 2542. – <https://doi.org/10.3390/ma15072542>
3. Kolesnikov A, Fediuk R, Kolesnikova O, Zhanikulov N, Zhakipbayev B, Kuraev R, Akhmetova E, Shal A. Processing of Waste from Enrichment with the Production of Cement Clinker and the Extraction of Zinc. *Materials*. – 2022. – 15(1):324. – Pp.1-9. – <https://doi.org/10.3390/ma15010324>.
4. Kolesnikov A. S. Zhakipbaev B. Ye, Zhanikulov N.N., Kolesnikova O.G., Akhmetova E.K., Kuraev R.M., Shal A.L. Review of technogenic waste and methods of its processing for the purpose of complex utilization of tailings from the enrichment of non-ferrous metal ores as a component of the raw material mixture in the production of cement clinker // *Rasayan Journal of Chemistry*. – 2021. – 14 (2). – Pp. 997-1005. – doi: <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2021.1426229>.
5. Pan X, Xiao Y, Suhail SA, Ahmad W, Murali G, Salmi A, Mohamed A. Use of Artificial Intelligence Methods for Predicting the Strength of Recycled Aggregate Concrete and the Influence of Raw Ingredients. *Materials*. – 2022. – 15(12):4194. – <https://doi.org/10.3390/ma15124194>.
6. Swaminathan P, Karthikeyan K, Subbaram SR, Sudharsan JS, Abid SR, Murali G, Vatin NI. Experimental and Statistical Investigation to Evaluate Impact Strength Variability and Reliability of Replaced Aggregate Concrete Containing Crumpled Rubber and Fibres. *Materials*. – 2022. – 15(15):5156. – <https://doi.org/10.3390/ma15155156>.

7. Prithiviraj C, Swaminathan P, Kumar DR, Murali G, Vatin NI. Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete Comprising a Copper Slag. *Buildings*. – 2022. – 12(7):965. – <https://doi.org/10.3390/buildings12070965>.
8. Ramachandran K, Vijayan P, Murali G, Vatin NI. A Review on Principles, Theories and Materials for Self Sensing Concrete for Structural Applications. *Materials*. – 2022. – 15(11):3831. – <https://doi.org/10.3390/ma15113831>.
9. 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.
10. Торшин А.О., Боровикова С. О., Потапова Е.Н. Изменение реологических свойств цементных растворов в присутствии добавок // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – №1 (182).
11. Altyzbekova, A., Lukpanov, R., Dyusseminov, D., Askerbekova, A., & Tkach, E. (2022). Effect of a complex modified additive on the setting time of the cement mixture. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra*. – 325(2), 29-38. – <https://doi.org/10.31643/2023/6445.15>.
12. Алтынбекова А.Д., Лукпанов Р.Е., Енкебаев С.Б., Дюсембинов Д.С., Ержанова Н.К. Удобоукладываемый бетон быстрого твердения для производства буронабивных свай // Строительство и реконструкция. – 2022;(2):99-111. – <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-100-2-99-111>.
13. Lukpanov, R., Dyusseminov, D., Altyzbekova, A., & Zhantlesova, Z. (2022). Research of foam concrete components in the regional production conditions of Nur-Sultan. *Technobius*. – 2(3), 0023. – <https://doi.org/10.54355/tbus/2.3.2022.0023>.
14. Altyzbekova, A., Lukpanov, R., Yenkebayev, S., Tsygulyov, D., and Nurbayeva, M. (2022). Complex laboratory studies of modified additive influence on concrete physical and mechanical properties // *GEOMATE Journal*. – 23(100), 26-33. – <https://doi.org/10.21660/2022.100.3641>.
15. Lukpanov, R., Dyusseminov, D., Altyzbekova, A., and Zhantlesova, Z. (2022). Research on the effect of microsilica on the properties of the cement-sand mixture. *Technobius*. – 2(4), 0027. – <https://doi.org/10.54355/tbus/2.4.2022.0027>.

References

1. Bajdzhанov D.O., Abdrahmanova K.A. Osobennosti mikrokremlnezema kak mineral'noj dobavki v cementnoe vjashushhie [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. (in Russ.).
2. Kolesnikov A, Fediuk R, Amran M, Klyuev S, Klyuev A, Volokitina I, Naukenova A, Shapalov S, Utelbayeva A, Kolesnikova O, Bazarkhankyzy A. Modeling of Non-Ferrous Metallurgy Waste Disposal with the Production of Iron Silicides and Zinc Distillation. *Materials*. – 2022. – 15(7): 2542. – <https://doi.org/10.3390/ma15072542>.
3. Kolesnikov A, Fediuk R, Kolesnikova O, Zhanikulov N, Zhakipbayev B, Kuraev R, Akhmetova E, Shal A. Processing of Waste from Enrichment with the Production of Cement Clinker and the Extraction of Zinc. *Materials*. – 2022. – 15(1):324. – Pp.1-9. – <https://doi.org/10.3390/ma15010324>.
4. Kolesnikov A. S. Zhakipbaev B. Ye, Zhanikulov N.N., Kolesnikova O.G., Akhmetova E.K., Kuraev R.M., Shal A.L. Review of technogenic waste and methods of its processing for the purpose of complex utilization of tailings from the enrichment of non-ferrous metal ores as a component of the raw material mixture in the production of cement clinker // *Rasayan Journal of Chemistry*. – 2021. – 14 (2). – 997-1005. – doi: <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2021.1426229>.
5. Pan X, Xiao Y, Suhail SA, Ahmad W, Murali G, Salmi A, Mohamed A. Use of Artificial Intelligence Methods for Predicting the Strength of Recycled Aggregate Concrete and the Influence of Raw Ingredients. *Materials*. – 2022. – 15(12):4194. – <https://doi.org/10.3390/ma15124194>.
6. Swaminathan P, Karthikeyan K, Subbaram SR, Sudharsan JS, Abid SR, Murali G, Vatin NI. Experimental and Statistical Investigation to Evaluate Impact Strength Variability and Reliability of Pre-placed Aggregate Concrete Containing Crumpled Rubber and Fibres. *Materials*. – 2022. – 15(15):5156. – <https://doi.org/10.3390/ma15155156>.
7. Prithiviraj C., Swaminathan P., Kumar DR, Murali G., Vatin NI. Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete Comprising a Copper Slag. *Buildings*. – 2022. – 12(7): 965. – <https://doi.org/10.3390/buildings12070965>
8. Ramachandran K, Vijayan P, Murali G, Vatin NI. A Review on Principles, Theories and Materials for Self Sensing Concrete for Structural Applications. *Materials*. – 2022. – 15(11):3831. –

<https://doi.org/10.3390/ma15113831>.

9. Bazarov B.G., Norzhinbadam S., Sanzhaasuren R., Dorzhieva S.G., Urhanova L.A. Plastificiruyushchie dobavki v beton na osnove promyshlennyh othodov [Plasticizing additives in concrete based on industrial waste] // Vestnik VSGUTU. – 2012. – № 1 (36). – Pp. 27. (in Russ.).
10. Torshin A.O., Borovikova S.O., Potapova E.N. Izmenenie reologicheskikh svojstv cementnykh rastvorov v prisutstvii dobavok [Change of rheological properties of cement mortars in the presence of additives] // Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii. – 2017. – № 1 (182). (in Russ.).
11. Altynbekova, A., Lukpanov, R., Dyusseminov, D., Askerbekova, A., & Tkach, E. (2022). Effect of a complex modified additive on the setting time of the cement mixture. Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra. – 325(2), 29–38. – <https://doi.org/10.31643/2023/6445.15>.
12. Altynbekova A.D., Lukpanov R.E., Yenkebayev S.B., Dyusseminov D.S., Yerzhanova N.K. Fast-hardening workable concrete for the production of bored // Building and Reconstruction. – 2022;(2):99-111. (In Russ.). – <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-100-2-99-111>.
13. Lukpanov, R., Dyusseminov, D., Altynbekova, A., & Zhantlesova, Z. (2022). Research of foam concrete components in the regional production conditions of Nur-Sultan. Technobius. – 2(3), 0023. – <https://doi.org/10.54355/tbus/2.3.2022.0023>.
14. Altynbekova, A., Lukpanov, R., Yenkebayev, S., Tsygulyov, D., and Nurbayeva, M. (2022). Complex laboratory studies of modified additive influence on concrete physical and mechanical properties // GEOMATE Journal. – 23(100), 26-33. – <https://doi.org/10.21660/2022.100.3641>.
15. Lukpanov, R., Dyusseminov, D., Altynbekova, A., and Zhantlesova, Z. (2022). Research on the effect of microsilica on the properties of the cement-sand mixture. Technobius. – 2(4), 0027. – <https://doi.org/10.54355/tbus/2.4.2022.0027>.