МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОН НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

[1]Адилходжаев А.И., [1]Махаматалиев И.М., [1]Цой В.М., [2]Ильясов А.Т.
[1]Худоёров А.А., [1]Узаков Ш.А.
[1]Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан)
[2]Каракалпакский государственный университет имени Бердаха (Каракалпакистан, Узбекистан)

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований по разработке нового состава мелкозернистого базальтофибробетона на основе местных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами. Установлено, что увеличение эксплуатационных свойств базальтофибробетона достигается за счет существенного снижения водопотребности фибробетонной смеси и улучшения поровой структуры композмита.

Ключевые слова: фибробетон, базальтовое волокно, свойство, дисперсное армирование, структура, прочность, сжатие, изгиб, состав, мелкозернистый бетон, морозостойкост.

FINE GRAIN BASALT FIBER CONCRETE BASED ON LOCAL MATERIALS WITH IMPROVED PERFORMANCE PROPERTIES

[1]Adilkhodzhaev A.I., [1]Makhamataliev I.M., [1]Soy V.M., [2]Ilyasov A.T.
[1]Khudoyorov A.A., [1]Uzakov Sh.A.
[1]Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan)
[2]Karakalpak State University named after Berdakh (Karakalpakstan, Uzbekistan)

Abstract. The article presents the results of experimental studies on the influence of basalt fiber on the technological and strength properties of fine-grained fiber concrete dispersedly reinforced with basalt fiber.

Keywords: fiber concrete, basalt fiber, properties, dispersion-reinforced, structural toughness, strength, compression, bending, composition, fine-grained concrete

Введение.Высокие строительно-технические свойства бетона и железобетона, проверенные десятилетиями практического использования, позволяют им прочно удерживать главенствующее положение в ряду других строительных материалов в течение длительного времени. Вместе с тем, в своем традиционном исполнении они уже не вполне удовлетворяют современным тенденциям развития архитектурных форм, конструктивных решений и технологии возведения строительных объектов. Ряд существенных недостатков этих материалов побуждает к дальнейшему совершенствованию их физико-механических характеристик и созданию новых эффективных материалов на их основе. К разряду таких бетонов, которые относятся к новым видам и активно внедряются в строительное производство, относится фибробетон, состав которого может включать в себя фиброволокно различного вида. Дисперсно-армированный фибробетон – это классическое сочетание мелкозернистых бетонов с различными армирующими волокнами: стальными, стеклянными, базальовыми или синтетическими. Данный вид бетона предназначен для формирования конструкций с особой прочностью и долговечностью. В современном бетоноведении большое внимание уделяется изучению и усовершенствованию физико-механических, деформативных и эксплуатационных характеристик фибробетона [1,2,3].

Одним из перспективных направлений в исследовании технологии фибробетона является обоснование эффективности использования в качестве дисперсной арматуры

базальтового волокна. Как известно, базальтовое волокно отличается не только своими высокими физико-механическими свойствами, но и повышенной химической стойкостью, температура-, света- и атмосферостойкостью, и что также немаловажно, простотой технологии производства и невысокой стоимостью. В настоящее время одним из наиболее важных вопросов в технологии базальтофибробетона является вопрос разработки состава данного композиционного материала обеспечивающего ему высокие эксплуатационные свойства. В лабораториях строительных материалов Ташкентского государственного транспортного университета и Каракалпакского государственного университета имени Бердаха в течении последних нескольких лет выполняются научн-исследовательские работы по разработке новых составов базальтофибробетонов, а также его базальтофиброцементной матрицы [4,5].

В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований по разработке нового состава мелкозернистого базальтофибробетона на основе местных материалов, характеризующегося улучшенными эксплуатационными свойствами (получено положительное решение о выдаче патента на изобретение Агентства по интеллектуальной собственности РУз за № IAP 2023 0045).

В результате проведения предварительных исследований и патентного поиска были отобраны ранее известные составы фибробетонной смеси с аналогичными показателями эксплуатационных свойств. В частности, известна фибробетонная смесь, включающая цемент марки М400, минеральное волокно, песок, поливиниловый спирт, гипс строительный и воду [6]. Недостатком указанной фибробетонной смеси является то, что получаемый фибробетон характеризуется недостаточно высокой прочностью на сжатие и невысокой морозостойкостью при повышенном содержании минерального волокна, а также необходимостью дополнительного использования поливинилового спирта и воздушного вяжущего – гипса, способствующего снижению морозостойкости бетона.

Известна и другая фибробетонная смесь, включающая портландцемент, кварцевый песок, отходы производства базальтового волокна и воду [7]. Недостатком указанной бетонной смеси является низкая прочность на сжатие и недостаточная морозостойкость получаемого бетона ввиду того, что мелкие фракции отходов производства базальтового волокна в процессе формирования структуры бетонной смеси не обеспечивают достаточное сцепление с портландцементом, снижая плотность, а следовательно, прочность и морозостойкость затвердевшего бетона.

Известна другая фибробетонная смесь, принятая за прототип, включающая портландцемент, кварцевый песок, базальтовое волокно диаметром 13-17 мкм и длиной 6-12 мм, суперпластификатор «Полипласт СП-4» и воду при следующем соотношении компонентов, масс.%: портландцемент – 28-30, кварцевый песок – 56-60, указанное минеральное волокно – 0,05-0,18, указанный суперпластификатор – 0,12-0,18, вода остальное [8]. Недостатком указанной бетонной смеси является недостаточно высокая прочность на сжатие и морозостойкость получаемого фибробетона при низкой степени надёжности композиционного материала, ввиду того, что суперпластификатор «Полипласт СП-4» является химической добавкой на сульфонафталинформальдегидной основе, молекулы которого адсорбируясь на поверхности цементных частицы исключают возможность их сцепления при действии электростатических сил, снижая тем самым, вязкость суспензии до строго определенного уровня. При этом достигается снижение водопотребности бетонной смеси на 18-20% и соответственно, умеренно повышаются плотность, прочность и морозостойкость бетона. Кроме этого данный состав бетона характеризуется и низкой степенью надёжности, так как, из за недостаточной стойкости базальтового волокна в щелочной среде (с pH = 12,5-13,5) со временем прочность базальтового волокна

уменьшается на 26–32%, и как следствие, понижаются и прочностные и эксплуатационные свойства получаемого композиционного матерала.

Научно-технической задачей, стоящей перед научной группой авторов было дальнейшее увеличения прочности на сжатие и морозостойкости базальтофибробетона за счет имеющегося резерва снижения водопотребности фибробетонной смеси, и как следствие, снижения пористости и повышения плотности фибробетона как на микро-, так и на макроуровнях при высокой степени надёжности указанных свойств композиционного материала.

Технический результат, получаемый в процессе решения поставленной задачи, достигнуто тем, что фибробетонная смесь включающая портландцемент, кварцевый песок, базальтовое волокно диаметром 13-17 мкм и длиной 6-12 мм, суперпластификатор и воду, в качестве химической добавки был введен суперпластификатор на поликарбоксилатной основе «POLIMIX», а в качестве минеральной добавки (наполнителя) введена зола-уноса ТЭС при следующем соотношении компонентов, масс.%: портландцемент – 25,2-27,0; кварцевый песок – 57,59-60,89; зола-уноса ТЭС – 2,8-3,0; базальтовое волокно диаметром 13-17 мкм и длиной 6-12 мм – 0,05-0,18; суперпластификатор «POLIMIX» – 0,12-0,18; вода-остальное.

Сущность данной разработки заключается в том, что для упрочнения структуры бетона на микроуровне использовался поликарбоксилатный суперпластификатор «POLIMIX», представляющий собой жидкость коричневого цвета, плотностью 1,06±0,02 г/см^3. Механизм действия поликарбоксилатного суперпластификатора «POLIMIX», основан на совокупности электростатического и стерического (пространственного) эффектов. Стерический эффект достигается за счет боковых гидрофобных полиэфирных цепей молекулы поликарбоксилатного эфира. В следствии этого водоредуцирующее действие поликарбоксилатного суперпластификатора значительно сильнее и продолжительнее по времени, чем у суперпластификатора на сульфонафталинформальдегидной основе. Использование минеральной добавки- золы-уноса ТЭС в составе бетонной смеси из-за высокой её дисперсности, шарообразной формы частиц и гладкой поверхности, также способствует увеличению пластичности смеси. Таким образом, комплексное применение в составе бетонной смеси поликарбоксилатного суперпластификатора «POLIMIX» и золы-уноса ТЭС позволяет существенно снизить водопотребность смеси на 30 и более процентов. А как известно, существенное уменьшение водоцементного отношения способствует и существенному увеличению плотности, прочности и морозостойкости затвердевшего бетона.

Для повышения прочности бетона на макроуровне в состав бетонной смеси вводились базальтовые волокна в виде фибр диаметром 13-17 мкм и длиной 6-12 мм, блокирующие развитие макротрещин и являющиеся, за счет сцепления с цементной матрицей, центрами образования крупных прочных новообразований в структуре затвердевшего бетона. Комплексное использование в составе бетонной смеси базальтовых фибр, золы-уноса ТЭС и поликарбоксилатного суперпластификатора «POLIMIX» способствует увеличению подвижности смеси при существенно низком количестве воды затворения, что наряду со значительным повышением однородности смеси приводит к значительному увеличению прочности и морозостойкости затвердевшего бетона. Кроме этого при введении в состав цементного бетона золы-уноса ТЭС (в количествах, указанным в заявке) за счет связывания гидроокиси кальция $Ca(OH)_2$ жидкой фазы бетона активным $Si0_2$ золы-уноса ТЭС по схемам: 1) $Ca(OH)_2 + Si0_2 + (n-1)\cdot H_20 = CaO\cdot Si0_2\cdot nH_20$ (концентрация CaO меньше концентрации $Si0_2$); 2) $2Ca(OH)_2 + Si0_2 + (n-1)\cdot H_20 = 2Ca0\cdot Si02\cdot nH20$ (концентрация CaO выше концентрации $Si0_2$), происходит снижение pH среды (со значений от 12,5-13,5 до значений 11,6-11,8), что в свою очередь, ведет к созданию благоприятных условий для

лучшей сохраняемости базальтового волокна в цементной системе. А это способствует существенному повышению надёжности показателей эксплуатационных свойств получаемого базальтофибробетона. Научная разработка иллюстрируется следующими экспериментальными исследованиями.

Методы. Для определения физико-механических и эксплуатационных свойств бетона по стандартной методике изготавливали образцы-кубы размером 10х10х10 см и образцы-балочки 4х4х16 см из бетонных смесей различного количественного и качественного составов по прототипу и заявке. В экспериментальных исследованиях были использованы: портландцемент марки ЦЕМ0 42.5Н производства ОАО «Ахангаранцемент» (ГОСТ 31108-2020), мелкий заполнитель - речной кварцевый песок Майского карьера с модулем крупности Мкр=0,68 и средней плотностью ~2000 кг/м^3 (ГОСТ 26633-2012), базальтовая фибра диаметром 13-17 мкм и длиной 6-12 мм производства СП ООО “MEGA INVEST INDUSTRIAL” (Джизакская обл.), зола-уноса Ангренской ТЭС с удельной поверхностью $S_{уд}$=4000 см^2/г, поликарбоксилатный суперпластификатор «POLIMIX» производства компании «ARMENT CONSTRUCTION CHEMICAL» (Ташкентская обл.), представляющий собой жидкость коричневого цвета плотностью 1,06±0,02 г/см^3. Образцы испытывались на прочность при сжатии в 28-суточном возрасте после нормального твердения согласно ГОСТ 10180-2012. Морозостойкость определяли определяли по стандартной методике согласно ГОСТ 10060.1-95.

Составы бетонных смесей по прототипу и заявке приведены в таблице 1.

Таблица 1

Составы бетонных смесей по прототипу и заявке

Составы бетонной смеси	Соотношение компонентов смеси, масс,%		
	1	2	3
По прототипу			
Портландцемент	28	29	30
Кварцевый песок	56	58	60
Базальтовая фибра диаметром 13-17 мкм и длиной 6-12 мм	0.05	0,09	0,18
Сульфонафталинформальдегидный суперпластификатор «Полипласт СП-4»	0,12	0,15	0,18
Вода	15,83	12,76	9,64
По заявке			
Составы бетонной смеси	4	5	6
Портландцемент	25,2	26,1	27
Кварцевый песок	57,59	61,90	60,89
Базальтовая фибра диаметром 13-17 мкм и длиной 6-12 мм	0.05	0,09	0,18
Зола-уноса Ангренской ТЭС	2,8	2,9	3,0
Поликарбоксилатный суперпластификатор «POLIMIX»	0,12	0,15	0,18
Вода	14,24	11,47	8,75

Результаты. Влияние базальтовых фибр, золы-уноса ТЭС и поликарбоксилатного суперпластификатора «POLIMIX» на прочность и морозостойкость бетона в 28-суточном возрасте после нормального твердения в сравнении с прототипом представлено в таблице 2.

Таблица 2

Результаты испытания образцов бетона на прочность и морозостойкость

Составы бетонной смеси	Предел прочности, МПа		Морозостойкость, цикл
	при сжатии	при изгибе	
По прототипу			
1	45,2	5,8	300
2	47 ,4	6,2	325
3	50,6	7,0	350
По заявке			
4	58,0	7,6	400
5	62,2	8,2	450
6	67,5	9,0	500

Анализ полученных результатов, представленных в таблице 2 показывает, что введение в состав заявленной бетонной смеси золы-уноса ТЭС и поликарбоксилатного суперпластификатора «POLIMIX» взамен сульфонафталинформальдегидного суперпластификатора «Полипласт СП-4» при указанных соотношениях входящих в неё компонентов способствует, согласно составам № 4-6, увеличению прочности на сжатие и изгиб в 28-суточном возрасте после нормального твердения по сравнению с прототипом согласно составам № 1-3 на 28-33%. Увеличение морозостойкости бетона по заявленному составу бетонной смеси (составы № 4-6) по сравнению с составом по прототипу (составы № 4-6) составил 33-43%. Увеличение прочности и морозостойкости бетона по заявленному составу бетонной смеси достигается за счет существенного снижения водопотребности бетонной смеси, и как следствие, снижения пористости и повышения плотности бетона как на микро, так и на макроуровнях при высокой степени надёжности получаемого композиционного материала.

Выводы.Таким образом, разработанный состав фибробетонной смеси имеет несомненные преимущества по сравнению с известными составами, так как получаемый из данной смеси базальтофибробетон отличается более высокими показателями эксплуатационных свойств и высокой степенью их надёжности. Мелкозернистый базальтофибробетон, получаемый по разработанному составу фибробетонной смеси, может быть использован при изготовлении сборных и монолитных железобетонных изделий и конструкций для строительства зданий и сооружений жилищного, общественного, промышленного и транспортного назначения.

Список литературы

1. Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. под.общ. ред. Адылходжаева А.И. Композиционные строительные материалы (Монография). - «LAMBERT» ACADEMIC PUBLISHING, 2018 -176 с.

2. Волков, И. В. Фибробетон : состояние и перспективы применения / И. В. Волков // Промышленное и гражданское строительство, 2002. – № 8. – С. 37–38.

3. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: Монография - М.: Издательство АСВ, 20011. - 642с.

4. Клюев С. В. Фибробетон и изделия на его основе/ С.В. Клюев // МНИЖ. – 2015. –№3. –С.70-73.

5. Котляревская А.В. Актуальность применения базальтовой фибры в современном строительстве/ А.В. Котляревская, Я.В. Лубенец, А.А. Котляревский// ИВД. – 2021. – №11. – С.83-93.

6. Патент РФ №2114081 С1, дата приоритета 19.09.1995, дата публикации 27.06.1998, авторы Барабаш Д.Е. и др., RU.

7. Патент РФ №2288198 С1, дата приоритета 12.02.2005, дата публикации 27.11.2006, авторы Кондрашов Г.М., RU.

8. Патент РФ №2480428 С1, дата приоритета 03.11.2011, дата публикации 27.04.2013, авторы Перфилов В.А. и др., RU