

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИБРЫ ИЗ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Сатынбек уулу Б.<sup>1</sup>, Касымов Т.М.<sup>2</sup>, Кудайбергенова Н.С.<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>) магистрант, Международный университет инновационных технологий, *bili\_kg99@mail.ru*.

(<sup>2</sup>) канд. техн. наук, Международный университет инновационных технологий, *tmkasytov@mail.ru*.

Институт Физики им. акад. Ж. Жеенбаева НАН КР, *tmkasytov@mail.ru*

(<sup>3</sup>) аспирант, Государственный институт по сейсмостойкому строительству и инженерному проектированию Госстроя КР, *kssnuri@mail.ru*.

**Аннотация.** Приведены результаты лабораторных исследований влияния фибры из базальтовых волокон на прочностные свойства тяжелого бетона. В работе были использованы базальтовые фибры длиной от 5 до 30 мм в объеме 0,5%, 1,0% и 1,5%. Прочностные свойства образцов с базальтовыми фибрами сравнивались с эталонными образцами без фибры. Результаты лабораторных исследований показали, что использование фибры из базальтового волокна в определенных пропорциях повышает прочностные свойства тяжелого бетона.

**Ключевые слова:** тяжелый бетон, фибробетон, раствор, стальная фибра, фибра базальтовая, базальтовое волокно, прочность бетона.

## ООР БЕТОНДУН БЫШЫКТЫК КАСИЕТТЕРИНЕ БАЗАЛЬТ ФИБРАСЫНЫН ТААСИРИН ИЗИЛДӨӨ

Сатынбек уулу Б.<sup>1</sup>, Касымов Т.М.<sup>2</sup>, Кудайбергенова Н.С.<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>) магистрант, Эларалык инновациялык технологиялар университети, *bili\_kg99@mail.ru*.

(<sup>2</sup>) техника илим. канд., Эларалык инновациялык технологиялар университети, *tmkasytov@mail.ru*.

КР УИА акад. Ж.Жеенбаев атындағы Физика институту, *tmkasytov@mail.ru*.

(<sup>3</sup>) аспирант, КР Мамкурулушуна караштуу Жер титирөөгө түрүктүү курулудук жана инженердик долборлоо мамлекеттик институту, *kssnuri@mail.ru*.

**Аннотация.** Оор бетондун бекемдик касиеттерине базальт фибрасынын таасиринин лабораториялык изилдөөлөрүнүн натыйжалары көлтирилген. 0,5%, 1,0% жана 1,5% көлөмүндө узундугу 5-30 мм болгон базальт фибрасы колдонулган. Базальт фибрасы бар үлгүлөрдүн бекемдик касиеттери базальт фибрасы жок эталондук үлгүлөр менен салыштырылган. Лабораториялык изилдөөлөрдүн натыйжалары боюнча базальт фибрасын туура пропорцияларда колдонулса оор бетондун бекемдик касиеттерин жогорулата тургандыгын көрсөтүлдү.

**Ачыкчы сөздөр:** оор бетон, фибробетон, эритме, болот фибрасы, базальт фибрасы, базальт буласы, бетон бекемдиги.

## STUDY OF THE INFLUENCE OF FIBER FROM BASALT FIBERS ON THE STRENGTH PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE

Satynbek uulu B.<sup>1</sup>, Kasymov T.M.<sup>2</sup>, Kudaybergenova N.S.<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> Graduate student, International University of Innovative Technologies, bili\_kg99@mail.ru.

<sup>(2)</sup> Candidate of Technical Sciences, International University of Innovative Technologies, muitpro@mail.ru.

Institute of Physics named J. Jeenbayev NAS of KR, tmkasymov@mail.ru.

<sup>(3)</sup> Department head, State Institute for Earthquake-Resistant Construction and Engineering Design of Gosstroy the Kyrgyz Republic, kssnuri@mail.ru.

**Abstract.** The results of laboratory studies of the influence of basalt fiber on the strength properties of heavy concrete are presented. The work used basalt fibers with a length of 5 to 30 mm in volumes of 0,5%, 1,0% and 1,5%. The strength properties of samples with basalt fibers were compared with reference samples without fiber. The results of laboratory studies have shown that the use of basalt fiber in certain proportions increases the strength properties of heavy concrete.

**Key words:** heavy concrete, fiber-reinforced concrete, mortar, steel fiber, basalt fiber, concrete strength.

**Введение.** Как правило на практике для дисперсного армирования бетонных конструкций используют металлические фибры. Металлические фибры – это отрезки стальной проволоки с загнутыми концами. При использовании металлических (стальных) фибр: уменьшается расслаивание бетонной смеси, т.е. бетонная смесь получается более однородной по всей толщине. Вследствие этого бетонные конструкции получаются прочными и устойчивыми не только к большим нагрузкам, но и к появлению трещин. На практике в качестве стальной фибры используют стальную проволоку диаметром 0,1-0,5 мм и длиной 10-50 мм. Известно, что при увеличении диаметра фибры свыше 0,6 мм наблюдается резкое снижение эффективности армирования дисперсной арматурой на прочность бетона [1, 2].

У стальной фибры существует только один существенный недостаток — это его большой вес, что увеличивает вес готовых бетонных изделий и конструкций в целом. Для решения этой проблемы при дисперсном армировании бетона вместо стальной фибры используют фибру из углеродного волокна, которая характеризуется повышенной прочностью на растяжение (3500-6000 МПа) и модулем упругости (200-700 ГПа). Углеродные волокна имеют высокие показатели сопротивляемости к агрессивной среде и обладают низкой плотностью по сравнению с другими волокнами. Основные недостатки углеродных волокон: наличие на его поверхности дефектов и пористости, что отражается на качестве готового изделия; высокая стоимость [2-9].

Имеются работы [10-19], в которых стальные и углеродные фибры заменяются фиброволокнами из стекла и базальта. Показаны, что прочностные характеристики тяжелого бетона с использованием стеклянных и базальтовых фибр не уступают бетонам из стальных и углеродных фибр. Стеклянная и базальтовая фибра представляют с собой мелко нарезанные армирующие волокна, которые вводятся в бетонную смесь на этапе приготовления рабочего раствора.

Стекловолокно используется в промышленности в качестве электро- и теплоизоляционных материалов, в том числе и как армирующий наполнитель в производстве стеклопластиков. По сравнению с углеродным волокном стекловолокно является наиболее распространенным (занимает около 80 % рынка) армирующим волокнистым материалом. Хотя прочностные свойства стекловолокна являются удовлетворительными для многих видов изделий, но для наиболее ответственных узлов и деталей предпочтительно использование других более прочных волокнистых материалов. Фибробетон из стеклянного волокна меньше подвержен к коррозии, чем бетон из стальной фибры. Однако фибробетон из стеклянного волокна обладает низкой стойкостью к щелочной среде, возникающей в твердеющих цементных растворах. [3, 5]

Отличной альтернативой взамен стеклянного и углеродного волокна является базальтовое волокно [15, 16]. При высоких физико-механических характеристиках и высокой стойкости к агрессивной среде базальтовое волокно обладает более конкурентной стоимостью по сравнению с углеродным волокном. Физико-механические свойства базальтового волокна в сравнении с другими волокнами, применяемые в качестве дисперсного армирования бетона приведены в табл.1.

**Постановка проблемы.** Основная цель данной работы являлась исследование влияния базальтовой фибры на прочностные свойства тяжелого бетона в зависимости от ее длины и процентного содержания. Составы бетонной смеси приведены в табл.2. Суперпластификатор С-3 использовали с целью получения высокоподвижных бетонных смесей (П1-П5) без снижения прочности бетонов.

Компоненты бетонной смеси:

- портландцемент ПЦ400 (производитель Кантский цементный завод, маркировка ЦЕМ II/B-К(3-И) 32,5Н);
- щебень (фракции 5-10 мм и фракции 10-20 мм в соотношении 1:1);
- песок (модуль крупности – 0,15-2 мм);
- вода (водородный показатель pH=4-12,5);
- суперпластификатор С-3 (0,7% от массы цемента).

Таблица 1. Физико-механические характеристики различных волокон, используемых в качестве дисперсного армирования бетона [17-19]

Параметры	Волокно		
	углеродное	стеклянное	базальтовое
Диаметр волокна, мкм	5-15	6-20	6-20
Температура плавления, °С	-	1150-1500	1250-1400
Плотность, г/м <sup>3</sup>	1,6-2,0	2,2-2,8	2,6-3,0
Прочность на растяжение, МПа	3500-6000	3100-4600	3000-4800
Удлинение при разрыве, %	1,5-2,0	4,7-5,3	3,1-6,0
Модуль упругости, ГПа	200-700	50-90	80-95
Удельный вес, Н/м <sup>3</sup>	1,8-2,0	2,5-2,6	2,7-2,8

Предельная температура эксплуатации, °С	450	550	700
Стойкость к коррозии (щелочная среда)	высокая	низкая	высокая

Результаты лабораторных испытаний бетонных образцов в виде кубов размерами 100x100x100 мм с содержанием базальтовой фибры 0,5% , 1,0% и 1,5% (по объему) с базальтовой фиброй и длиной до от 5 до 30 мм приведены в табл.3 и на рис.1.

Таблица 2. Составы бетона без и с содержанием базальтовой фибры

Номер образца	Расход материала на 1 м <sup>3</sup> бетона					Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	Базальтова фибра, кг	
	Ц, кг	Щ, кг	П, кг	В, л	С-3		5-15 мм	15-30 мм
БД-1	340	1080	835	155	5,6	2415	-	-
ФБ-12	340	1080	835	155	5,6	2400	12	-
ФБ-24	340	1080	835	155	5,6	2390	24	-
ФБ-36	340	1080	835	155	5,6	2385	36	-
ДФ-12	340	1080	835	155	5,6	2400	-	12
ДФ-24	340	1080	835	155	5,6	2390	-	24
ДФ-36	340	1080	835	155	5,6	2385	-	36

Из табл.3 видно, что наилучшие результаты по прочности на сжатие показали образцы бетона ФБ-24 с длиной волокон 5-15 мм (1,0%) и ДФ-12 с длиной волокон 15-30 мм (0,5%).

При добавлении 0,5% базальтовой фибры (длиной 5-15 мм) прочность образца на сжатие возросла на 2,8% по сравнению с эталонным образцом (без добавления базальтовых фибр), при добавлении 1,0% базальтовой фибры – на 11,4%, а при добавлении 1,5% базальтовой фибры результаты испытаний показали одинаковую прочность с эталлонным образцом.

Таблица 3. Результаты лабораторных испытаний

Сроки твердения, сут.	Номер образца	Нагрузка, кгс/см <sup>2</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Класс бетона
3	БД-1	84,39	8,44	-
	ФБ-12	92,69	9,27	-
	ФБ-24	87,48	8,75	-
	ФБ-36	84,10	8,41	-
	ДФ-12	86,4	8,64	-
	ДФ-24	77,22	7,72	-

	ДФ-36	81,20	8,12	-
7	БД-1	215,34	21,53	-
	ФБ-12	212,29	21,23	-
	ФБ-24	233,28	23,33	-
	ФБ-36	200,10	20,01	-
	ДФ-12	214,40	21,44	-
	ДФ-24	213,84	21,38	-
	ДФ-36	211,70	21,17	-
14	БД-1	279,36	27,94	-
	ФБ-12	284,05	28,41	-
	ФБ-24	304,56	30,46	-
	ФБ-36	269,70	26,97	-
	ДФ-12	304,01	30,40	-
	ДФ-24	285,12	28,51	-
	ДФ-36	272,60	27,26	-
28	БД-1	291,02	29,10	22,5
	ФБ-12	299,08	29,91	22,5
	ФБ-24	324,06	<b>32,41</b>	25
	ФБ-36	290,01	29,00	22,5
	ДФ-12	320,03	<b>32,00</b>	25
	ДФ-24	297,07	29,71	22,5
	ДФ-36	290,04	29,00	22,5

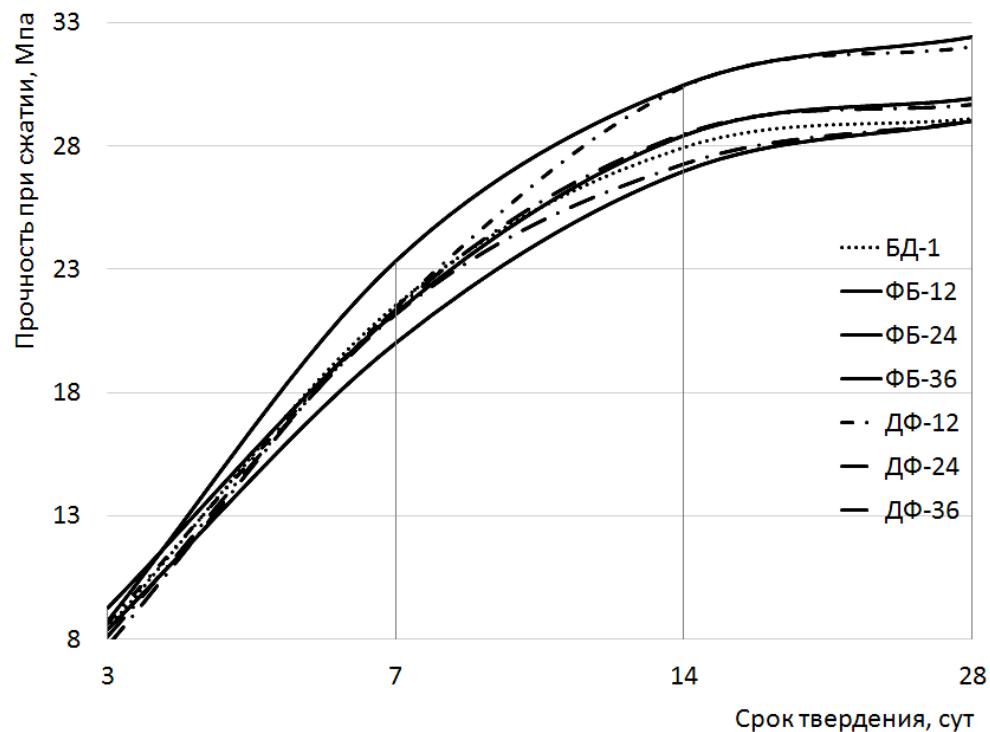


Рис.1. График набора прочности образцов

При добавлении 0,5% базальтовой фибры (длиной 15-30 мм) прочность образца на сжатие возросла на 10% по сравнению с эталонным образцом (без добавления базальтовых фибр), при добавлении 1,0% базальтовой фибры – на 2,1%, а при добавлении 1,5% базальтовой фибры результаты испытаний показали одинаковую прочность с эталлонным образцом.

**Заключение.** В результате лабораторных исследований было установлено, что бетонные образцы с содержанием базальтовой фибры, не всегда имеют более высокую прочность по сравнению с эталонными образцами без фибры. Так, с увеличением количества базальтовых фибр в составе бетона прочность при сжатии не увеличиваются, а в начальные сроки твердения отдельные результаты оказались хуже эталонных образцов.

Сравнивая между собой образцы можно отметить, что оптимальным содержанием базальтовой фибры при длине 5-15 мм является – 1,0%, т.к. образцы обладают большей прочностью на сжатие чем образцы, содержащие 0,5% и 1,5% базальтовой фибры. Оптимальным содержанием базальтовой фибры при длине 15-30 мм является – 0,5%.

Основываясь на лабораторных данных, можно сделать следующие выводы:

- применение базальтовой фибры в бетоне в определенных количествах увеличивает его прочностные свойства при сжатии по сравнению с обычным бетоном без содержания базальтовой фибры;
- бетонные образцы с содержанием 1,0% базальтовой фибры длиной 5-15 мм показывают одинаковую прочность с бетонными образцами с содержанием 0,5% базальтовой фибры длиной 15-30 мм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М. Технология бетона: Учеб. пособие для технол. спец. строит. вузов. М.: Высш. шк., 1987. – 415 с.
2. Казлитина О.В.. Фибробетон для монолитного строительства. [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.23.05, 2013.
3. Ибатуллина А.Р. Обзор производителей и сравнение свойств сверхпрочных высокомодульных волокон. <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-proizvoditeley-i-sravnenie-svoystv-sverhprochnyh-vykokomodulnyh-volokon/viewer>. Дата обращения 15.10.2023 г.
4. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. Научные основы и технологии, 2009. 386 с.
5. Перепелкин К.Е. Структура и свойства волокон. М.: Химия, 1985. 208 с.
6. Мордкович В.З. 2-я Межд. конф. Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология. Москва 15-17 октября 2003. Тез. докл. Изд. Престо-РК, с.31.
7. Углеродные волокна и композиты. Под ред. Э. Фитцера. – М.: Мир, 1988.

8. Шешин Е.П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. М.: МФТИ.2001. С. 13–20.
9. Углеродные волокна. Под ред. С.Симамуры. – М.: Мир, 1987, 304 с.
10. Гутников С.И., Лазоряк Б.И., Селезнев А.Н. Стеклянные волокна. М., 2010.
11. Стеклянные волокна. Технические характеристики. [https://steklonit.com/jml/images/pdf/TDS\\_fiberglass\\_rus.pdf](https://steklonit.com/jml/images/pdf/TDS_fiberglass_rus.pdf). Дата обращения 23.11.2023 г.
12. Дубовый В.К. Стеклянные волокна: Свойства и применения. СПб. 2003. 129с.
13. Мороз С.А. О прочности фибробетонного камня на базальтовом волокне [Текст] / С.А. Мороз // Строит. материалы и конструкции. 1980. № 2. С.34-35.
14. Демешкин А.Г. Исследование механических свойств непрерывного базальтового волокна применительно к производству композитных материалов [Текст] / А.Г. Демешкин, А.А. Шваб // Вестн. 307 Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. 2011. Вып. 3(24). С.185-188.
15. Додис Г.М. Использование минеральных волокон из базальтовых пород Киргизии для получения фибробетонов [Текст] / Г.М. Додис, А.В. Токарь // Комплексное использование минерального сырья. 1988. № 9. С.77-81.
16. Касымов Т.М., Кудайбергенова Н.С. Прочностные свойства мелкозернистого бетона, дисперсно-армированного базальтовым волокном различной пропорции и добавки. ж. Материаловедение, №2/2020 (34). С.42-48.
17. Базальтовая фибра. Предлагаем собственную продукцию [file:///C:/%D0%A3%D0%9A%D0%9C%D0%A3%D0%98%D0%A2%D0%9C%D0%A3%D0%98%D0%A2%D0%A1%D0%90%D0%A2%D0%AC%D0%98/internet/to\\_fibra\\_bazaltovaya.pdf](file:///C:/%D0%A3%D0%9A%D0%9C%D0%A3%D0%98%D0%A2%D0%9C%D0%A3%D0%98%D0%A2%D0%A1%D0%90%D0%A2%D0%AC%D0%98/internet/to_fibra_bazaltovaya.pdf). Дата обращения 19.11.2023 г.
18. Асбестоцементные изделия с базальтовым супертонким волокном [Текст] / А.А. Пащенко, Г.В. Сандул, В.Х Демченко [и др.] // Строит. материалы и конструкции. 1981. № 2. С.16.
19. Рабинович Ф.Н. Устойчивость базальтовых волокон в среде гидратирующихся цементов. [Текст] / Ф.Н. Рабинович, В.Н. Зуева, Л.В. Макеева // Стекло и керамика. 2001. №17. С.29-32.