

МАЙДА БҮРТҮКЧӨЛҮҮ БЕТОНДУН БЕКЕМДИК КАСИЕТТЕРИНЕ КЕСИП ТУУРАЛАНГАН БАЗАЛЬТ БУЛАСЫНЫН ТААСИРИН ИЗИЛДӨӨ

Касымов Т.М.¹, Кудайбергенова Н.С.²

⁽¹⁾техн. илим. канд., Эл аралык инновациялык технологиялар университети, КР УИА акад. Ж.Жеенбаев атындагы Физика институту, muitpro@mail.ru

⁽²⁾КР Мамкурулушуна караштуу Жер титирөөгө туруктуу курулуш жана инженердик долбоорлоо мамлекеттик институту, kssnuri@mail.ru

Аннотация. Макалада дисперстик түрдө байланышкан майда бүртүкчөлүү бетондун бекемдик касиеттеринин лабораториялык изилдөөсү камтылган. Дисперстүү түрдө байланыштыруучу материал катары жергиликтүү кендердин базальт ташынан алынган узундугу 5-30 мм чейинки кесип туураланган базальт буласы (фибрасы) колдонулган. Майда бүртүкчөлүү бетондун дисперстик түрдө бекемдөөчү кошумчалары жок жана кесип туураланган базальт буласынын көлөмү боюнча 1,5–6,0% камтылган бекемдик касиеттерин салыштырма талдоосу жүргүзүлгөн.

Ачкыч сөздөр: базальт фибрасы, майда бүртүкчөлүү бетон, бекемдик касиеттер.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РУБЛЕННОГО БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

Касымов Т.М.¹, Кудайбергенова Н.С.²

⁽¹⁾канд. техн. наук, Международный университет инновационных технологий, Институт физики им. акад. Ж. Жеенбаева НАН КР, muitpro@mail.ru

⁽²⁾Государственный институт по сейсмостойкому строительству и инженерному проектированию Госстроя КР, kssnuri@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены лабораторные исследования прочностных свойств дисперсно-армированного мелкозернистого бетона. В качестве армирующего материала использовано рубленое базальтовое волокно (фибра) длиной от 5 до 30 мм, полученное из базальтов местных месторождений. Выполнен сравнительный анализ прочности при изгибе и сжатии контрольных образцов мелкозернистого бетона без армирующих добавок и содержащего 1,5–6,0 % по объему рубленого базальтового волокна.

Ключевые слова: базальтовая фибра, мелкозернистый бетон, прочностные свойства.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CHOPPED BASALT FIBER ON THE STRENGTH PROPERTIES OF FINE-GRAINED CONCRETE

Kasymov T.M.¹, Kudaibergenova N.S.²

⁽¹⁾candidate of technical sciences,

International University of Innovation Technologies, Institute of Physics named Jeenbayev NAS of KR, muitpro@mail.ru

⁽²⁾State Institute for Earthquake-Resistant Construction and Engineering Design of Gosstroy the Kyrgyz Republic

Abstract. The article discusses laboratory studies of the strength properties of reinforced fine-grained concrete. As reinforcing material, chopped basalt fiber from 5 to 30 mm long, obtained from basalts of local deposits, was used. A comparative analysis of the bending and compression strength

of control samples of fine-grained concrete without reinforcing additives and containing 1.5–6.0% by volume of chopped basalt fiber.

Key words: *basalt fiber, the fine-grained concrete, the strength properties.*

Введение. Ужесточение требований к безопасности зданий и сооружений в СН КР 20-02:2018 (2009) «Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования» привело к необходимости повышения показателей физико-механических свойств цементного бетона, которое наиболее широко применяется среди всех других строительных материалов. Как известно, цементные бетоны, обладая высокой прочностью на сжатие, имеют сравнительно низкие показатели прочности при изгибе и растяжении. В связи с этим, в настоящее время для улучшения показателей прочности при изгибе применяются дисперсное армирование бетона различными волокнами или так называемыми «фибрами» [1].

Из широкого разнообразия бетонов с различными физико-техническими свойствами особо выделяется мелкозернистый бетон. Мелкозернистая структура бетона позволяет использовать его при изготовлении тонкостенных армированных конструкций, заполнении стыков между элементами конструкций, при возведении гидротехнических сооружений и в дорожном строительстве. В отличие от обычного тяжелого бетона, мелкозернистый бетон не содержит заполнителей крупной фракции, поэтому процесс его изготовления менее трудоемкий и затратный, что повышает экономическую составляющую строительства. Однако, исключение крупного заполнителя приводит к некоторому перерасходу вяжущего вещества, но при этом исключает применение дефицитного в некоторых районах щебня, гравия или песчано-гравийной смеси.

Бетон, армированный базальтовыми фибрами, обладает более высокими прочностными характеристиками по сравнению с обычным тяжелым бетоном, т.к. армирующее базальтовое волокно обеспечивает более высокую степень дисперсности армирования цементного камня, а само базальтовое волокно обладает более высокой прочностью по сравнению с полимерными фибрами [2]. Известны работы по разработке новых составов и технологии изготовления мелкозернистых бетонов с применением базальтовой фибры [3, 4, 6, 7], влиянии базальтового волокна (фибры) на технические и эксплуатационные характеристики мелкозернистого бетона [5-9]. Однако исследование мелкозернистых бетонов изготовленных на основе местных материалов не производилась.

Целью данной работы является изучение влияние длины и процентного содержания рубленного базальтового волокна (фибры), полученного из базальтов местных месторождений, на прочностные свойства мелкозернистого бетона. Работа была выполнена в «Лаборатории строительных материалов, изделий и конструкций» Международного университета инновационных технологий, в «Лаборатории

базальтовых волокон и композиционных материалов» Института физики им. акад. Ж.Жеенбаева Национальной академии наук Кыргызской Республики и в испытательной лаборатории Государственного института по сейсмостойкому строительству и инженерному проектированию Госстроя Кыргызской Республики.

Для эксперимента были выбраны следующие исходные материалы:

- портландцемент Кантского цементного завода, марки 400;
- песок с модулем крупности $M_{кр} = 2,1$, насыпной плотностью – 1550 кг/м³, истинной плотностью – 2690 кг/м³, пустотностью – 45 %, водопотребностью – 7%.
- базальтовая фибра, длиной от 5 до 30 мм.

Бетонная матрица изготовлялась из одного состава мелкозернистого бетона. Для исследования более эффективного армирования мелкозернистого бетона установлен следующий диапазон процентного содержания базальтовой фибры по объему: 1,5 %, 3,0 %; 4,5 % и 6,0 %.

Все образцы были изготовлены по стандартной методике [11]. После первых суток хранения в 100 % влажной среде образцы-балочки были извлечены из форм. Испытания образцов-балочек проводили после хранения при нормальных условиях (температура 20 ± 2 °С, влажность 100 %) в течение 7 и 28 суток.

Прочность при изгибе определялось на приборе МИИ-100, устанавливая образцы-балочки таким образом, чтобы его горизонтальные при изготовлении грани находились в вертикальном положении. Предел прочности при изгибе вычисляли как среднее арифметическое значение двух наибольших результатов и испытания 3-х образцов-балочек. Полученные результаты, при испытании образцов-балочек с базальтовой фиброй и без него на изгиб в возрасте 7 и 28 сут. приведены в табл.1.

Прочность при сжатии образцов, полученные после испытания при изгибе, определялись на гидравлическом прессе ПГМ-1500МГ4, который соответствует требованиям ТУ 4271-015-12585810-2011. Гидравлический пресс изготовлен ООО «СКБ Стройприбор» (г. Челябинск, Россия) в 09.02.2018 г. и прошел поверку в Национальном институте по метрологии и стандартизации Кыргызской Республики на соответствие пресса требованиям нормативной технической документации и занесен в реестр. Предел прочности при сжатии вычисляли как среднее арифметическое значение 4-х наибольших из шести результатов. Полученные результаты, при испытании образцов с базальтовой фиброй и без него на сжатие в возрасте 7 и 28 сут. приведены в табл.1.

Из табл.1 видно, что базальтовая фибра положительно влияет на прочностные свойства мелкозернистых бетонных образцов. Так, при добавлении базальтовой фибры длиной от 5 до 15 мм (образцы № 2-5) от 1,5 % до 6,0 %, прочность при изгибе по сравнению с контрольным образцом (№1) в первые 7 сут. увеличивается от 1,3 % до 3,6 %, а при 28 сут. твердения увеличивается от 1,8 % до 8,0 %. Прочность при сжатии по

сравнению с контрольным образцом увеличивается от 0,5 % до 2,6 % (7 сут.), при 28 сут. твердения увеличивается от 1,4 % до 4,6 %. Максимальную прочность при сжатии по сравнению с контрольным образцом показал образец № 4, содержащий базальтовую фибру 4,5 %, а при содержании 6,0 % базальтовой фибры (образец № 5) прочность при сжатии снизилась на 1,7 % по сравнению с образцом № 4. Таким образом, увеличение содержания в мелкозернистом бетоне базальтовой фибры длиной от 5 до 15 мм более 6,0 % не оказывает существенного влияния на прочность при сжатии.

-Таблица 1. Прочностные характеристики мелкозернистого бетона, армированного с различным процентным содержанием рубленого волокна

№ обр.	Длина базальтовой фибры, мм	Содержание базальтовой фибры, % (по объему)	Средняя прочность, МПа в возрасте			
			7 сут.		28 сут.	
			R _{изг}	R _{сж}	R _{изг}	R _{сж}
1	–	–	5,20	18,6	7,50	27,9
2	5÷15	1,5	5,27	18,7	7,64	28,3
3		3,0	5,33	18,9	7,75	28,7
4		4,5	5,36	19,1	7,90	29,2
5		6,0	5,39	18,8	8,10	28,7
6	15÷30	1,5	5,35	18,8	7,83	28,5
7		3,0	5,41	19,0	7,95	28,8
8		4,5	5,47	19,2	8,05	29,3
9		6,0	5,52	19,0	8,24	28,9

При добавлении базальтовой фибры длиной от 15 до 30 мм (табл.1) прочность при изгибе по сравнению с контрольным образцом (№ 1) увеличивается от 2,8 % до 6,1 % (7 сут.) и от 4,4 % до 9,8 % при 28 сут. твердении. При добавлении базальтовой фибры, длиной от 15 до 30 мм прочность на сжатие по сравнению с контрольным образцом № 1 увеличивается от 1,0 % до 3,2 %, а при твердении образцов 28 сут. прочность при сжатии увеличивается от 2,1 % до 5,0 %.

Однако, при содержании базальтовой фибры 6,0 % (образец № 9), длиной от 15 до 30 мм прочность на сжатие по сравнению с образцом № 8 снижается на 1,3 %, т.е. содержание базальтовой фибры в мелкозернистом бетоне более 6,0 % по объему не увеличивает прочностные свойства при сжатии. Зависимость прочности при изгибе и при сжатии мелкозернистого бетона в возрасте 7 сут. и 28 сут. от дозировки и длины базальтовой фибры приведены на рис.1-4.

Таким образом, можно отметить, что базальтовая фибра положительно влияет на увеличение прочности при изгибе, но при этом, прочность на сжатие меняется незначительно.

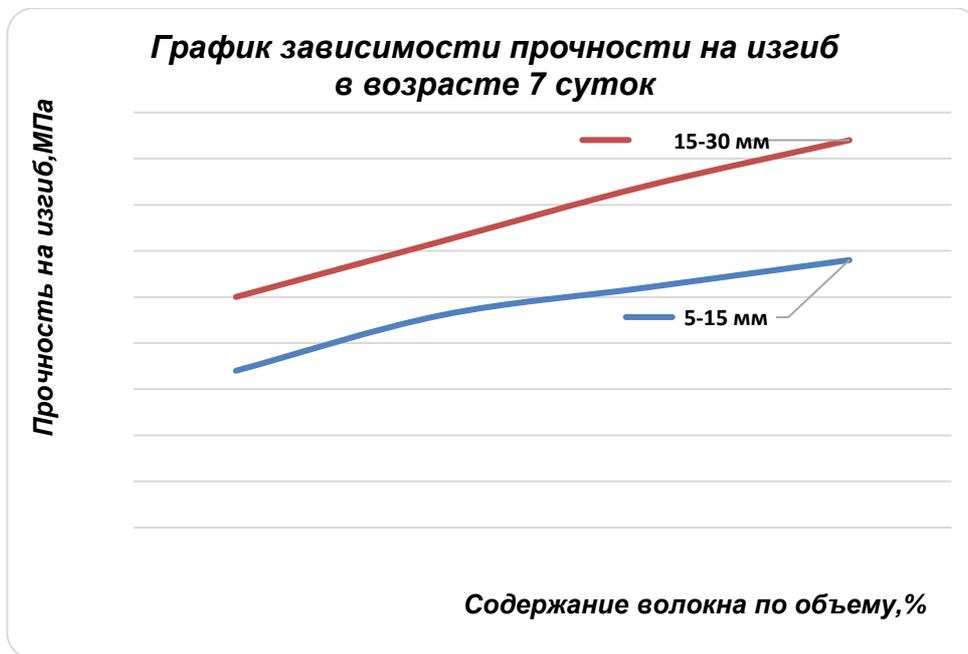


Рис. 1. График зависимости $R_{изг}$ от содержания и длины Базальтовой фибры в возрасте 7 суток

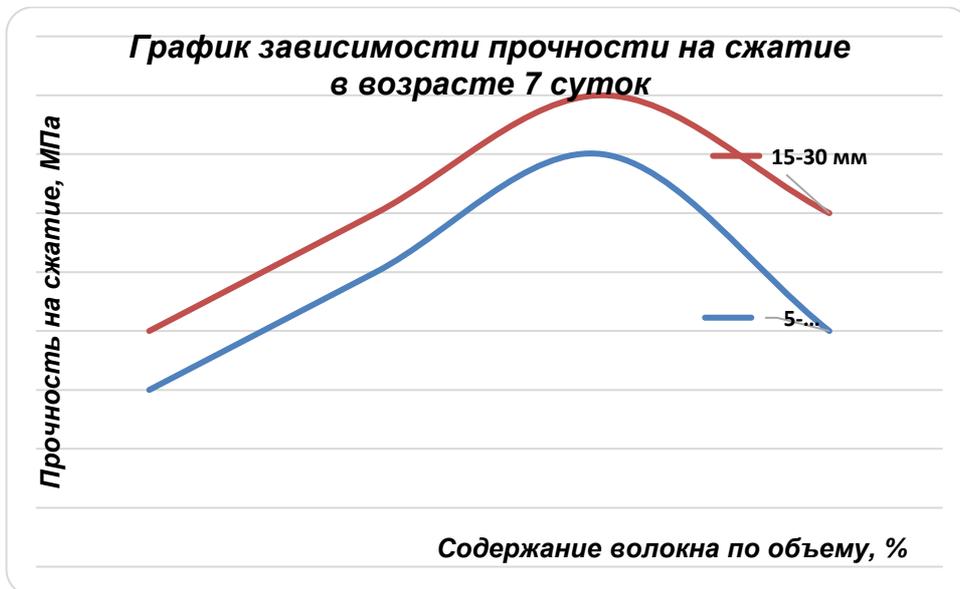


Рис. 2. График зависимости $R_{сж}$ от дозировки и длины Базальтовой фибры в возрасте 7 суток

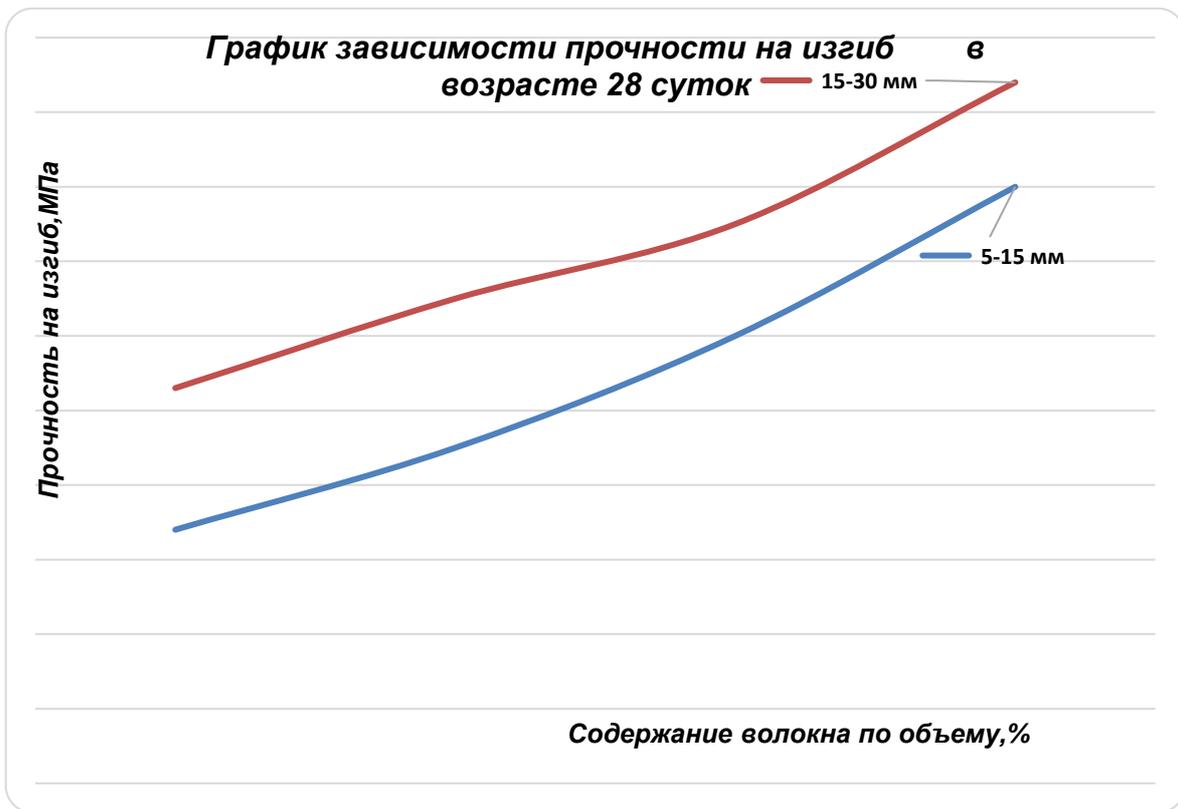


Рис. 3. График зависимости $R_{изг}$ от содержания и длины Базальтовой фибры в возрасте 28 суток

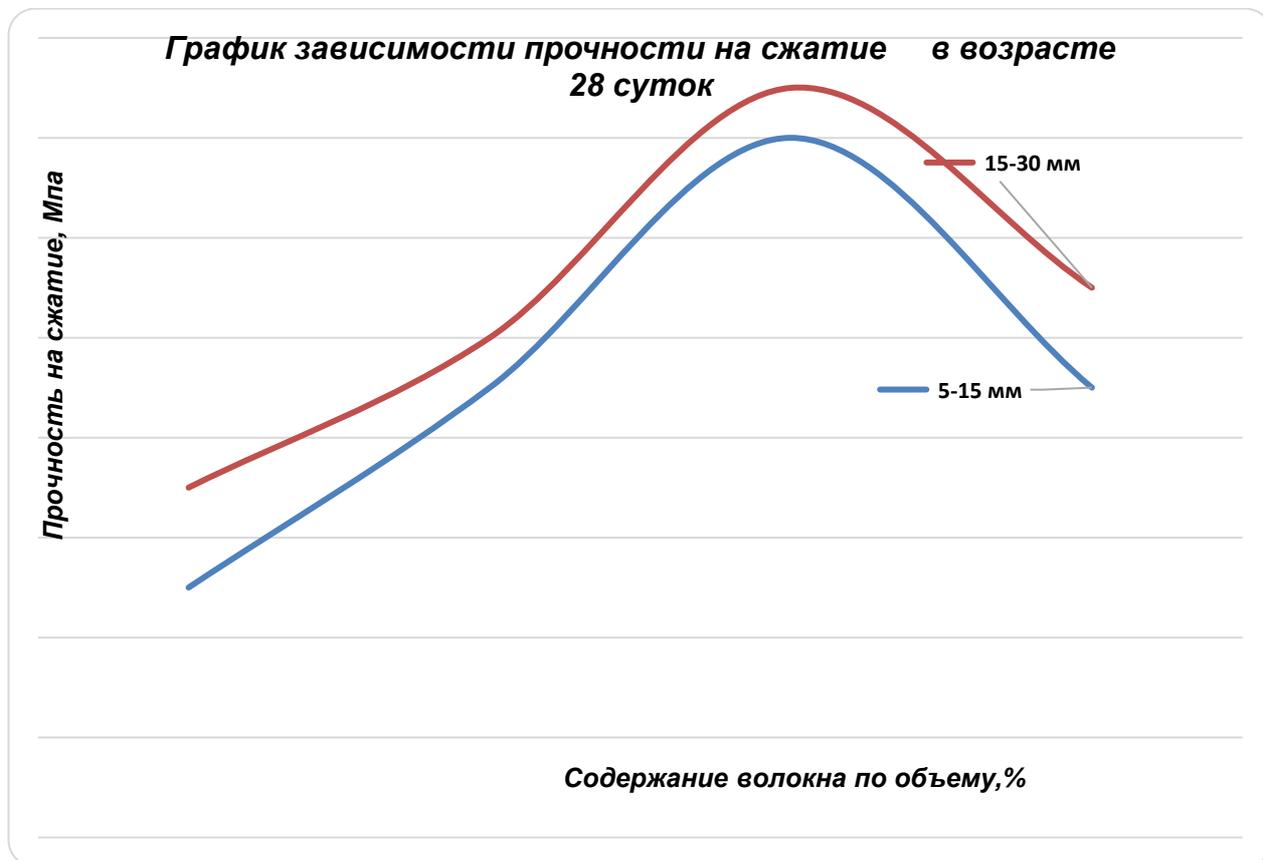


Рис. 4. График зависимости $R_{сж}$ от дозировки и длины Базальтовой фибры в возрасте 28 суток

Так как, базальтовое волокно является добавкой повышающим прочность, то его эффективность можно оценить по формуле [12]:

$$R_{(7)28} = [(R_{\text{осн}} - R_{\text{контр}}) / R_{\text{контр}}] * 100$$

где, $R_{\text{осн}}$ и $R_{\text{контр}}$ – прочности контрольных образцов основных и контрольных составов, МПа.

Результаты эффективности введения базальтовой фибры в мелкозернистый бетон приведены в табл. 2 и 3.

Из табл. 2 видно, что эффективность введения базальтовой фибры для мелкозернистых бетонов при их длине от 15 до 30 мм выше, чем при длине от 5 до 15 мм. При содержании 4,5 % базальтовой фибры длиной от 15 до 30 мм эффективность введения составляет 38,7 %, чем при содержании 4,5 % базальтовой фибры длиной от 5 до 15 мм. На рис. 5 приведен график эффективности введения базальтовой фибры длиной от 15 до 30 мм в возрасте 7 сут.

-Таблица 2. Эффективность введения базальтовой фибры для мелкозернистых бетонов (7 сут.)

Длина базальтовой фибры	Содержание базальтовой фибры по объему, %.	Средняя прочность, МПа		Эффективность добавки ΔR , %	
		$R_{\text{изг}}$	$R_{\text{сж}}$	$R_{\text{изг}}$	$R_{\text{сж}}$
-	0,0	5,20	18,6	-	-
5÷15	1,5	5,27	18,7	1,3	0,5
	3,0	5,33	18,9	2,4	1,5
	4,5	5,36	19,1	3,0	2,6
	6,0	5,39	18,8	3,5	1,0
15÷30	1,5	5,35	18,8	2,8	1,0
	3,0	5,41	19,0	3,8	2,1
	4,5	5,47	19,2	4,9	3,1
	6,0	5,52	19,0	5,7	2,1

Из табл. 3 видно, что эффективность введения базальтовой фибры для мелкозернистых бетонов при длине волокон от 15 до 30 мм выше, чем при длине от 5 до 15 мм. При содержании 4,5 % базальтовой фибры длиной от 15 до 30 мм эффективность введения выше на 22 % при изгибе и на 6,3 % при сжатии, чем при содержании 4,5 % базальтового волокна длиной от 5 до 15 мм. На рис. 6 приведен график эффективности введения базальтовой фибры длиной от 15 до 30 мм в возрасте 28 сут.

Исходя, из полученных результатов исследований о влиянии длины базальтовых фибр в мелкозернистый бетон можно уверенно говорить о значительном повышении прочности на изгиб, так как максимальная эффективность добавки составляет 22,0 % и 6,3 % соответственно для изгиба и сжатия, доказывая, что волокно является добавкой, повышающей прочность в соответствии с ГОСТ 24211-2008. Результаты прочности на сжатие с увеличением содержания базальтовой фибры увеличивает незначительно.

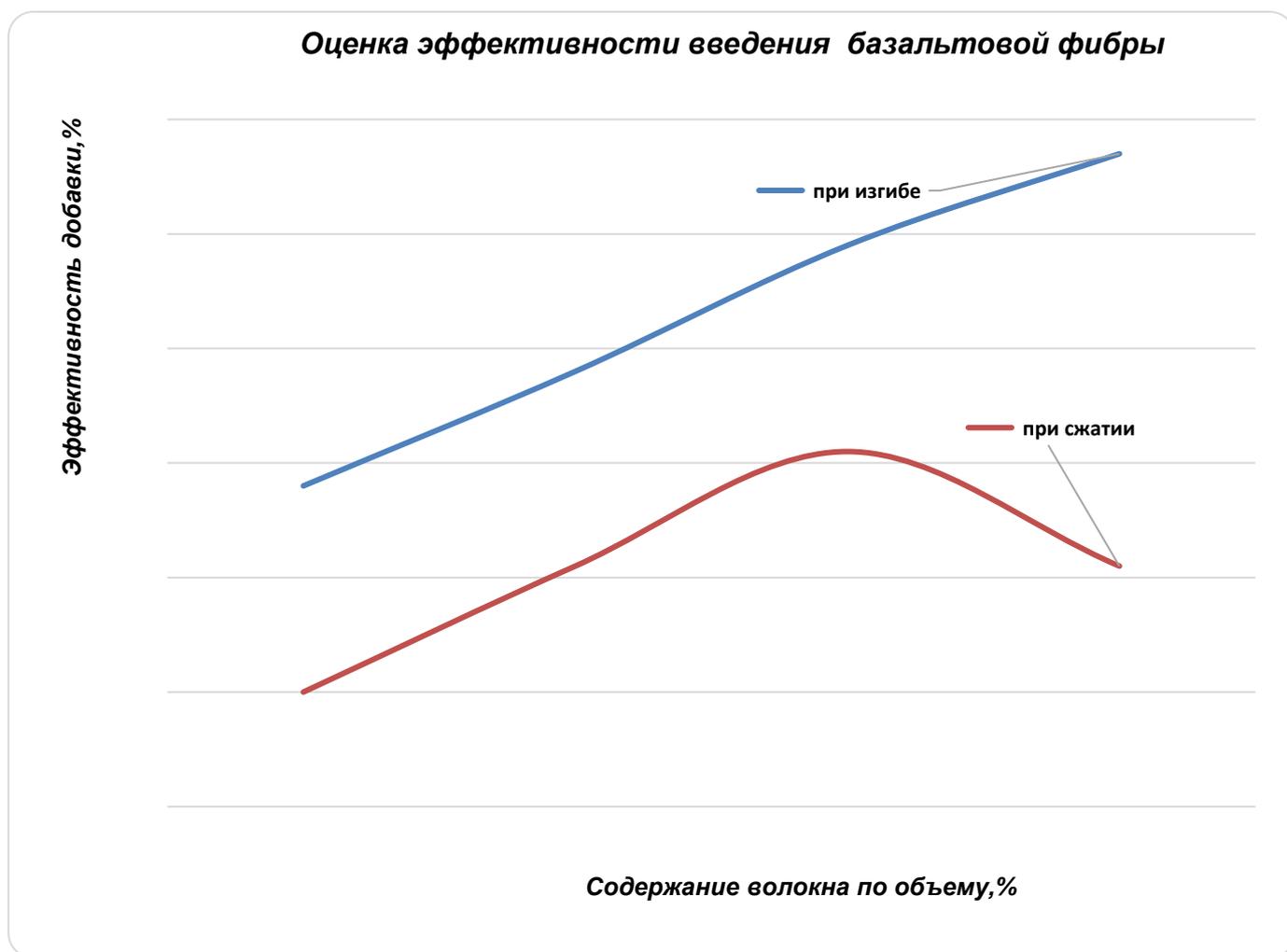


Рисунок 5. Оценка эффективности введения базальтовой фибры в зависимости от ее дозировки и длины (возраст твердения бетона 7 сут.)

-Таблица 3. Эффективность введения базальтовой фибры для мелкозернистых бетонов (28 сут.)

Длина базальтовой фибры	Содержание базальтовой фибры по объему, %.	Средняя прочность, МПа, $R_{изг}$		Эффективность добавки ΔR , %	
		$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$
-	0,0	7,50	27,9	-	-
5÷15	1,5	7,64	28,3	1,8	1,4
	3,0	7,75	28,7	3,2	2,7

	4,5	7,90	29,2	5,3	4,4
	6,0	8,10	28,7	7,4	2,7
15÷30	1,5	7,83	28,5	4,2	2,1
	3,0	7,95	28,8	5,6	3,1
	4,5	8,05	29,3	6,8	4,7
	6,0	8,24	28,9	8,9	3,4

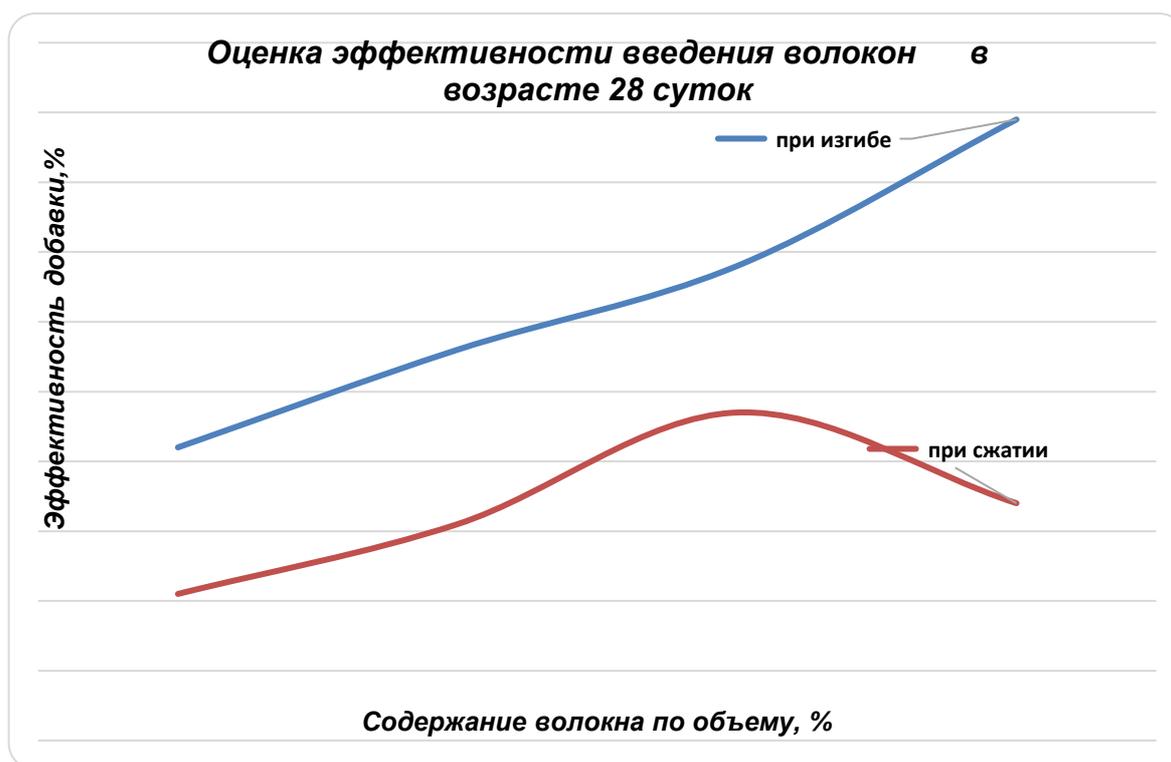


Рисунок 6. Оценка эффективности введения базальтовой фибры в зависимости от ее дозировки и длины (возраст твердения бетона 28 сут.)

Результаты прочности при введении базальтовой фибры с длиной от 15 до 30 мм выше, чем при введении длиной от 5 до 15 мм. Исходя из результатов исследований, рациональнее использовать базальтовую фибру длиной 15-30 мм с дозировкой от 4,0 до 5,0 % по объему.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баженов Ю.М.** Технология бетона / Ю.М. Баженов // Изд. 5. Общие вопросы. Москва: Издательство АСВ, 2011.

2. **Рабинович Ф.М.** Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технологии и конструкции. -М.: Изд-во АСВ, 2004. -560 с.

3. **Зубова М.А.** Мелкозернистые бетоны с применением базальтовой фибры и комплексных модифицирующих добавок: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. - Волгоград, 2014 г. -159 с.

4. **Боровских И.В.** Высокопрочный тонкозернистый базальтофибробетон: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. -Казань, 2009 г. -162 с.

5. **Cory H., Hatem M. Seliem, Adel El-Safty, Sami H. Rizkalla** Use of basalt fibers for concrete structures // *Construction and Building Materials*, 2015, Vol. 96, Pp. 37-46.

6. **Бабаев В.Б.** Мелкозернистый цементобетон с использованием базальтового волокна для дорожного строительства: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. - Белгород, 2013 г. -180 с.

7. **Бучкин А.В.** Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный тонким базальтовым волокном: автореф. дис. канд. техн. наук.-М., 2011.

8. **Dehong Wang, Yanzhong Ju, Hao Shen, Libin Xu**, Mechanical properties of high performance concrete reinforced with basalt fiber and polypropylene fiber. *Construction and Building Materials* 197 (2019). Pp. 464-473.

9. **Chaohua Jiang, Ke Fan, Fei Wu, Da Chen**, Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete. *China. Materials and Design* 58. 2014. Pp. 187-193.

10. **Karim Attia, Wael Alnahhal, Ahmed Elrefai, Yousef Rihan**. Flexural behavior of basalt fiber-reinforced concrete slab strips reinforced with BFRP and GFRP bars. *Canada. Composite Structures* 211. 2019. Pp. 1-12.

11. **ГОСТ 24211-2008** Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия (с Изменением №1) (с Поправкой).

12. **ГОСТ 30459-2008** Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности. М.: Стандартинформ, 2010. 18 с.