

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-20-29

^{1,2} Чернильник А.А., ²Смачный В.Ю., ²*Ельшаева Д.М., ²Жеребцов Ю.В., ²Доценко Н.А.¹Ростовский государственный университет путей сообщения²Донской государственный технический университет

*E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ВИДА ПРИМЕНЯЕМЫХ ФИБРОВЫХ ВОЛОКОН НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ ОБЛЕГЧЁННЫХ БЕТОНОВ

Аннотация. *Широкое применение в строительстве находят фибробетоны, обладающие улучшенными прочностными и деформативными характеристиками. Целью данной работы являлось исследование напряженно-деформированного состояния облегченных фибробетонов, построение диаграмм напряжения – деформации и их анализ для выявления наиболее эффективного вида применяемой фибры. Всего было изготовлено и испытано 4 серии образцов-призм: первая серия – контрольный состав облегченного бетона; вторая серия – облегченный бетон с содержанием базальтовой фибры 3 %; третья серия – облегченный бетон с содержанием стеклянной фибры 3 %; четвертая серия – облегченный бетон с содержанием базальтовой фибры 1,5 % и 1,5 % стеклянной фибры. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что наибольшей деформативностью обладает облегченный бетон, армированный базальтовой фиброй. В сравнении со стеклянной фиброй базальтовая имеет большую прочность при растяжении и более высокие значения модуля упругости. Факт лучшей совместной работы бетонной матрицы и базальтового волокна обусловлен прежде всего наилучшими механическими характеристиками базальтовой фибры. Определены дальнейшие перспективы исследований в части определения прочности сцепления различных видов фибр с матрицей и изучения влияния данного показателя как на прочностные, так и на деформативные характеристики облегченных бетонов.*

Ключевые слова: *облегченный бетон, прочность, предельные деформации, фибра, бетонная матрица.*

Введение. Разработка облегченных бетонов весьма актуальна в настоящее время в связи с возрастающей потребностью в современных строительных материалах и изделиях, имеющих одновременно необходимые проектные прочностные и деформативные характеристики и при этом обладающих существенно меньшей массой по сравнению с традиционным тяжелым бетоном.

Потребность в снижении массы конструкций и как следствие возводимых из них зданий и сооружений обусловлена разнообразием инженерно-геологических условий, уменьшением нагрузок на основания и фундаменты, плотностью застройки сложностью монтажных работ. Для решения проблемы эффективного снижения массы бетонов с сохранением их достаточной прочности и деформативности, необходимо тщательно подбирать компоненты и состав разрабатываемых новых облегченных изделий.

В данном исследовании был выбран бетон, облегченный за счет введения пористого заполнителя – шлаковой пемзы – вместо части крупного плотного заполнителя и применения менее плотных видов фибры по сравнению с металлической, а именно базальтовых и стеклянных волокон.

Фибробетон эффективно показал себя при изготовлении цокольных панелей многоэтажных зданий, несъемной опалубки для обоев укрепления свайных фундаментов, стеновых панелей и монолитных стен, малых архитектурных форм при благоустройстве городских парков, архитектурного декора зданий и многих других. Несмотря на востребованность, научная проблема разработки и применения, облегченного фибробетона остается нерешенной и привлекает внимание ученых всего мира [1–9].

Обычный бетон по своей природе является хрупким материалом с относительно слабыми характеристиками при растяжении. Чтобы изменить эти характеристики и избежать внезапного хрупкого разрушения бетонных конструкций, в матрицу бетона закладывают армирующие материалы. С древних времен люди помещали волокна, такие как солома и волосы, в строительные растворы и кирпичи, чтобы улучшить их прочностные и деформативные характеристики при растяжении. Эти древние и простые методы армирования бетона теперь преобразованы в передовые методы, которые включают использование коротких волокон, случайным образом распределенных по бетонной матрице. Полученный композитный материал называется цементным

композитом, армированным волокном, хотя известны и другие названия для бетонов, строительных растворов или паст, содержащих волокна в их матрицах [1–4].

Основные свойства волокна, которые определяют характеристики композита в свежем и затвердевшем состояниях, включают размеры волокна, модуль упругости, предел прочности при растяжении, предельную деформацию, а также сцепление и химическую совместимость с матрицей. Рассматривая различные волокнистые материалы, используемые в текущей практике, можно выделить четыре основные категории металлических, стеклянных, полимерных и натуральных волокон [5, 6].

Объектом исследований, приведенных в [10, 11], являлся дисперсно-армированный облегченный бетон, включающий в своем составе как тяжелый, так и легкий заполнитель, то есть часть тяжелого традиционного заполнителя из плотных горных пород заменена аналогом по объему, но существенно меньшим по массе легким пористым заполнителем. В качестве исходных компонентов были применены гранитный щебень и шлаковая пемза. Следует отметить, что в результате такого исследования решалась не только техническая проблема, то есть снижение веса зданий и сооружений за счет снижения плотности применяемого бетона при сохраненной его прочности, но также и проблема стоимости возводимых зданий и сооружений, так как в результате существенно снижается не только вес, но и стоимость применяемого бетона, ввиду более низкой стоимости шлаковой пемзы по сравнению с гранитом.

В [1, 4] проверялось влияние рубленого базальтового волокна в керамзитобетоне на улучшение его прочности. Были получены экспериментальные зависимости поведения бетона под нагрузкой с помощью испытаний на сжатие и изгиб. Дисперсное рубленое базальтовое волокно использовалось в качестве армирования образцов размерами 100×100×100 мм и 100×100×400 мм. Фактически, влияние непосредственно на характер разрушения наблюдалось на керамзитобетоне без базальтовой фибры и затем считывалось по значению прочности и предельной деформации образцов [1].

Искусственные нейронные сети активно применяются для предсказания механических свойств фибробетонов [12, 13]. В [12] с помощью искусственных нейронных сетей получена аналитическая модель, описывающая конечную прочность сцепления через средние значения касательных напряжений. В качестве объекта исследования выступает бетон различных классов

прочности, армированный металлической и композитной арматурой. Установлено, что величина сцепления связана с прочностными характеристиками бетона и видом применяемой арматуры. Техника искусственных нейронных сетей предложена в [13] для предсказания прочности связи фиброволокна и цементной матрицы.

В работе [10] исследовались прочностные свойства мелкозернистого бетона, армированного аморфным волокном на основе системы Fe-V-C и получаемого методом «пряжения», и бетонов, армированных доступными видами фибры: фиброй на основе минеральной ваты, базальтовым волокном, стекловолокном, стальными и полипропиленовыми волокнами. Наибольшие значения прочности на изгиб показали образцы с аморфным волокном, а наибольшую прочность на сжатие – со стальной фиброй. Добавление аморфных волокон приводит к увеличению прочности на изгиб на 56 %, но снижает прочность на сжатие на 30 % по сравнению с контрольными образцами. Добавление стальной фибры показывает увеличение прочности на изгиб на 20 % и увеличение прочности на сжатие на 14 %, что подтверждает положительный эффект от добавления коммерчески доступной фибры к мелкозернистому бетону. Авторами разработаны составы фибробетона с пределом прочности на сжатие до 38 МПа и пределом прочности при изгибе до 12 МПа, что позволяет использовать аморфную фибру в качестве компонента мелкозернистого бетона в строительстве [10].

Механические свойства и долговечность легкого бетона на основе пемзы, армированного базальтовым волокном и содержащего наноразмерный карбонат кальция (НКК) исследованы в [11]. НКК использовался в качестве замены портландцемента в различном процентном соотношении: от 5 до 25 с шагом 5 %. Базальтовые волокна длиной 6 мм были добавлены в двух количествах: 0,5 % и 1 % по объему. Результаты исследований показали, что смеси с добавлением НКК имели более низкие результаты по механической прочности в раннем возрасте и сопоставимые с контрольными смесями – в более позднем возрасте. Добавление НКК также привело к снижению водопоглощения, сорбционной способности и повышенной устойчивости к сульфату магния по сравнению с контрольным составом легкого бетона. Использование базальтового волокна улучшило механические свойства легкого бетона на основе пемзы, но ухудшило свойства свежеприготовленного бетона. Показано, что полученный вид бетона может применяться в промышленности по производству экологически чистых бетонных блоков наряду с геополимерными облегченными бетонами [10, 11].

Проанализированные публикации не дают всех ответов на вопросы, касающиеся прочностных и деформативных характеристик облегченных бетонов [14–21] с добавлением дисперсно-армирующих волокон [1–9, 22]. Не изучено влияние рецептурных факторов на диаграммы деформирования таких бетонов.

Таким образом, целью работы стало исследование напряженно-деформированного состоя-

ния облегченных фибробетонов, а также построение диаграмм напряжения – деформации и их анализ для выявления наиболее эффективного вида применяемой фибры.

Материалы и методы. При проведении экспериментальных исследований применялся портландцемент марки ПЦ 500 Д0, физико-механические характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики портландцемента ПЦ 500 Д0

Наименование показателя	Фактическое значения
Физико-механические показатели	
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	54,8
Сроки схватывания, мин	
- начало	155
- конец	220
Тонкость помола (проход через сито № 008), %	96,7
Удельная поверхность, см ² /г	2930
Нормальная густота цементного теста, %	23,5

В качестве крупного плотного заполнителя применялся щебень гранитный со следующими физико-механическими характеристиками: размер фракций – 5-20 мм; насыпная плотность – 1503 кг/м³; истинная плотность – 2620 кг/м³; дробимость – 11,4 % по массе; содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм – 8,1 % по массе; пустотность – 43 %.

В качестве крупного легкого заполнителя применялась шлаковая пемза: размер фракций – 5-20 мм; насыпная плотность – 612 кг/м³; истинная плотность – 1310 кг/м³; прочность по ГОСТ 32496 – 0,8 МПа; пустотность – 53 %.

В качестве мелкого заполнителя применялся песок кварцевый со следующими физическими характеристиками: модуль крупности – 1,66; содержание пылевидных и глинистых частиц – 1,2 %; насыпная плотность – 1438 кг/м³; истинная плотность – 2650 кг/м³.

В качестве дисперсной арматуры применялась базальтовая и стеклянная фибра. В таблице 2 представлены физико-механические характеристики применяемой фибры.

Таблица 2

Физико-механические показатели фибры

Вид фибры	Прочность на растяжение, МПа	Длина волокна, мм	Модуль упругости, ГПа	Плотность, кг/м ³	Коэффициент удлинения, %
Базальтовая	3200	12	80	2600	3,2
Стеклянная	1800	12	70	2600	1,5

Для регулирования подвижности бетонных смесей использовался суперпластификатор Muraplast FK 48.

Всего было изготовлено и испытано 4 серии образцов с размерами 150x150x600 мм:

- первая серия – контрольный состав облегченного бетона;
- вторая серия – облегченный бетон с содержанием базальтовой фибры 3 %;
- третья серия – облегченный бетон с содержанием стеклянной фибры 3 %;
- четвертая серия – облегченный бетон с содержанием базальтовой фибры 1,5 % и стеклянной фибры – 1,5 %.

Параметры состава бетонной смеси для изготовления опытных образцов рассчитывались согласно [8, 23, 24] и приведены в таблице 3.

Примечание. В/Ц – водоцементное отношение; Ц – расход цемента; В – расход воды; Щ – расход щебня; П – расход песка; $\rho_{бс}$ – плотность бетонной смеси

Также для исследований были применены: испытательное оборудование (пресс гидравлический ИП-1000 (ООО НПК «ТЕХМАШ», г. Нефтекамск, Республика Башкортостан, Россия)), средства измерения (линейка измерительная металлическая, весы лабораторные, прибор для измерения отклонений от плоскости НПЛ-1, прибор для измерения отклонений от перпендикулярности НПП-1).

Применялась стандартная методика испытаний по ГОСТ 24452-80 «Методы определения

призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона». Нагружение образцов производилось ступенями по 10 % от ожидаемой разрушающей нагрузки со скоростью $(0,6 \pm 0,2)$ МПа/с.

Испытания на осевое растяжение проводились в соответствии с требованиями ГОСТ

10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Измерения деформаций бетона опытных призм производились цепочкой тензодатчиков с базой 50 мм и индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм.

Таблица 3

Параметры состава бетонной смеси

Наименование параметра	В/Ц	Ц, кг/м ³	В, л/м ³	Щ, кг/м ³		П, кг/м ³	$\rho_{бс}$, кг/м ³	Марка по удобоукладываемости (осадке конуса)
				гранитный щебень	шлаковая пемза			
Значение параметра	0,57	373	205	670 (60 % по объему)	180 (40 % по объему)	520	1948	П1

Основная часть. Результаты, полученные по итогам испытаний опытных образцов облегченных бетонов представлены в таблице 4.

По результатам испытаний были построены диаграммы сжатия « ϵ_b - σ_b » и растяжения « ϵ_{bt} - σ_{bt} ». Графические зависимости «напряжения – деформации» представлены на рисунках 1 и 2.

Таблица 4

Результаты определения прочностных и деформативных характеристик и их приростов опытных образцов облегченных бетонов

Характеристики бетона	1 серия	2 серия	3 серия	4 серия
R_b , МПа (ΔR_b , %)	33,7 (0)	38,5 (+14)	37,9 (+12)	36,2 (+7)
ϵ_{bR} , мм/м $\cdot 10^{-3}$ ($\Delta \epsilon_{bR}$, %)	2,65 (0)	3,92 (+45)	3,11 (+31)	3,03 (+24)
R_{bt} , МПа (ΔR_{bt} , %)	2,9 (0)	4,2 (+48)	3,8 (+17)	3,6 (+14)
ϵ_{btR} , мм/м $\cdot 10^{-4}$ ($\Delta \epsilon_{btR}$, %)	1,67 (0)	5,78 (+350)	5,56 (+330)	4,51 (+270)
E , ГПа (ΔE , %)	29,1 (0)	33,6 (+15)	32,8 (+12)	31,2 (+7)

Примечание. R_b – призменная прочность на сжатие; ϵ_{bR} – предельные деформации при осевом сжатии; R_{bt} – прочность на осевое растяжение; ϵ_{btR} – предельные деформации при осевом растяжении; E – модуль упругости; ΔR_b – прирост призменной прочности на сжатие; $\Delta \epsilon_{bR}$ – прирост предельных деформаций при осевом сжатии; ΔR_{bt} – прирост прочности на осевое растяжение; $\Delta \epsilon_{btR}$ – прирост предельных деформаций при осевом растяжении; ΔE – прирост модуля упругости.

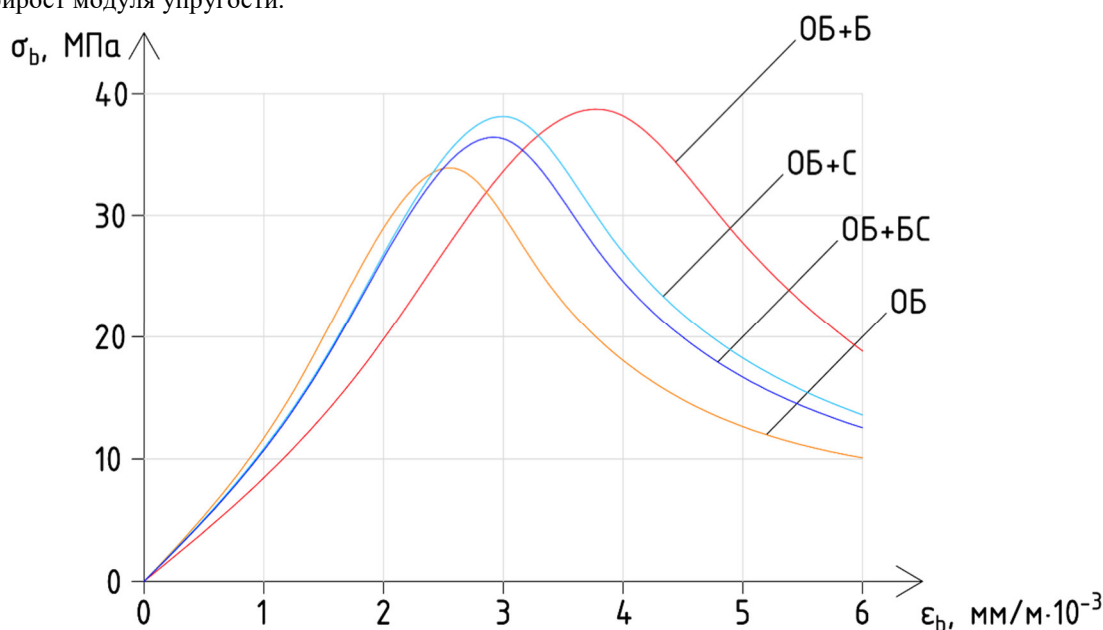


Рис. 1. Криволинейная диаграмма состояния сжатого бетона

ОБ – облегченный бетон; ОБ+Б – облегченный фибробетон с содержанием фибры 3 %;

ОБ+С – облегченный бетон с содержанием стеклянной фибры 3 %;

ОБ+БС – облегченный бетон с содержанием базальтовой фибры 1,5 % и стеклянной фибры – 1,5 %

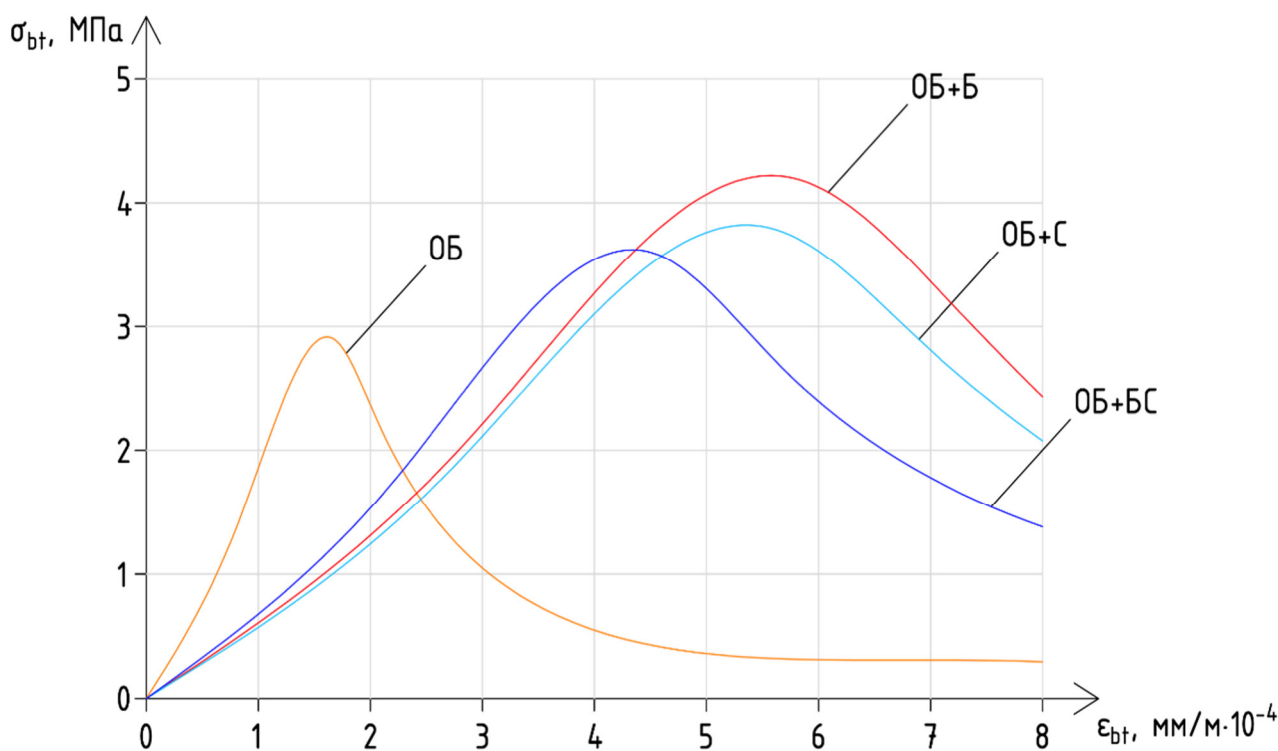


Рис. 2. Криволинейная диаграмма состояния растянутого бетона (см. рисунок 1)

Анализ построенных диаграмм «напряжения – деформации» всех четырех исследованных видов бетонов выявил следующее. Наименьшей деформативностью обладает неармированный бетон, выступавший в качестве контрольного состава, его пик диаграммы находится левее и ниже всех остальных пиков. Наибольшей деформативностью обладает облегченный бетон, дисперсно-армированный базальтовым фиброволокном. Его пик диаграммы находится правее и выше всех остальных пиков.

При распределении стеклянных и базальтовых волокон в бетоне наблюдалась тенденция неравномерного диспергирования волокон в матрице ввиду различий в характеристиках волокон, их поведении в механике процесса перемешивания и иных факторов, что требует дополнительных усилий по гомогенизации фибры в теле бетона. Данное обстоятельство приводит к увеличению водоцементного отношения до 0,6–0,62 или дополнительному перемешиванию, которое может потенциально повредить волокна и поставить под угрозу их долговременные характеристики. Следует отметить, что влияние фиброволокна на удобоукладываемость бетона сильно зависит от соотношения сторон и площади поверхности волокон. Марка по удобоукладываемости (осадке конуса) контрольного состава (первая серия образцов) составляла П2, у составов же с фиброй (вторая, третья и четвертая серии образцов) она изменялась до П1.

Выводы. В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы. Наибольшей деформативностью обладает облегченный бетон, армированный базальтовой фиброй. Факт лучшей совместной работы бетонной матрицы и базальтового волокна обусловлен прежде всего наилучшими механическими характеристиками базальтовой фибры. В сравнении со стеклянной фиброй и с комбинированной (базальтовая и стеклянная) базальтовая имеет большую прочность при растяжении и более высокое значение модуля упругости.

Однако в дальнейшем планируется изучить прочность сцепления фибры с матрицей. Сцепление фибры с бетонной матрицей композита является результатом комбинированного проявления адгезии, трения и механического зацепления в зоне их контакта с цементным камнем. Влияние каждого из этих факторов на анкеровку волокон в матрице может быть различным и зависит от состава, структуры и свойств цементного камня, а также от материала фибр, их формы и размеров.

Полученные в ходе исследования результаты рекомендуются к внедрению в практику строительства и производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Galishnikova V.V., Kharun M., Koroteev D.D., Chiadighikaobi P.C. Basalt fiber reinforced expanded clay concrete for building structures // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 101(1). 10107. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:

<https://doi.org/10.34910/MCE.101.7> (дата обращения: 18.10.2021).

2. Kang I.-K., Kim S.-H. Compressive Strength Testing of Hybrid Concrete-Filled Fiber-Reinforced Plastic Tubes Confined by Filament Winding // *Applied Sciences*. 2021. № 11. 2900. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11072900> (дата обращения: 18.10.2021).

3. Fiore V., Scalici T., Di Bella G., Valenza A. A review on basalt fiber and its composite // *Composites Part B: Engineering*. 2015. № 74. Pp. 74–94.

4. Харун М., Коротеев Д.Д., Дхар П., Ждеро С., Елроба Ш.М. Физико-механические свойства базальто-волоконистого высокопрочного бетона // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2018. № 14(5). С. 396–403.

5. Ahmed W., Lim C. Production of sustainable and structural fiber reinforced recycled aggregate concrete with improved fracture properties: A review // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Т. 279. 123832. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123832> (дата обращения: 18.10.2021).

6. Zeyad A.M. Effect of fibers types on fresh properties and flexural toughness of self-compacting concrete // *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. Т. 9. Pp. 4147–4158.

7. Elgabbas F., Ahmed E.A., Benmokrane B. Flexural behavior of concrete beams reinforced with ribbed basalt FRP bars under static loads // *Journal of Composites for Construction*. 2016. № 21(3). С. 195–230.

8. Mailyan L.R., Beskopylny A.N., Meskhi B., Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Ananova O. Optimization of Composition and Technological Factors for the Lightweight Fiber-Reinforced Concrete Production on a Combined Aggregate with an Increased Coefficient of Structural Quality // *Applied Sciences*. 2021. № 11. 7284. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11167284> (дата обращения: 18.10.2021).

9. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Нажуев М.П., Насевич А.С., Гераськина В.Е., Пошев А.У.-Б. Влияние различных видов фибры на физико-механические свойства центрифугированного бетона // *Вестник Евразийской науки*. 2018. № 6. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/14SAVN618.pdf>. (дата обращения: 18.10.2021).

10. Begich Y.E., Klyuev S.V., Jos V.A., Cherkashin A.V. Fine-grained concrete with various types of fibers // *Magazine of Civil Engineering*. 2020. № 97(5). 9702. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.18720/MCE.97.2> (дата обращения: 18.10.2021).

11. Karaburc S.N., Yildizel S.A., Calis G.C. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice lightweight concrete // *Magazine of Civil Engineering*. 2020. 94(2). Pp. 81–92.

12. Anysz H., Narloch P. Designing the Composition of Cement Stabilized Rammed Earth Using Artificial Neural Networks // *Materials*. 2019. Т. 12. 1396. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/ma12091396> (дата обращения: 18.10.2021).

13. Narloch P., Hassanat A., Tarawneh A.S., Anysz H., Kotowski J., Almohammadi K. Predicting Compressive Strength of Cement-Stabilized Rammed Earth Based on SEM Images Using Computer Vision and Deep Learning // *Applied Sciences*. 2019. № 9. 5131. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app9235131> (дата обращения: 18.10.2021).

14. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Маилян Л.Р., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Изучение характера механизма дрейфа компонентов бетонной смеси при производстве центрифугированных колонн вариатропной структуры на примере физической модели движения заполнителей // *Строительство и архитектура*. 2017. Т. 5. № 4. С. 229–233.

15. Абдыкалыков Т.А., Джамаева А.М. Облегченные мелкозернистые бетоны на основе композиционных вяжущих веществ // *Материаловедение*. 2017. № 2(22). С. 20–23.

16. Гаврилов А.В., Алюян К.Д., Доброхотов В.Б., Придатко Ю.М. Совершенствование технологии получения облегченных бетонов // *Шестьдесят восьмая всеросс. науч.-технич. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сборник материалов конференции*. Ярославский государственный технический университет. 2015. С. 765–767.

17. Рылова Т.С., Лахтарина С.В., Егорова Е.В. Легкий конструкционный бетон с повышенным коэффициентом конструктивного качества // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2018. Т. 4. № 2(132). С. 221–226.

18. Савенков А.И., Савенков В.А. Облегченные вариатропные железобетонные перекрытия // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2016. Т. 1. № 1. С. 288–293.

19. Рылова Т.С., Лахтарина С.В., Егорова Е.В. Легкий конструкционный бетон с повышенным коэффициентом конструктивного качества // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2018. Т. 4. № 2(132). С. 221–226.

20. Савенков А.И., Савенков В.А. Облегченные вариатропные железобетонные перекрытия // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2016. Т. 1. № 1. С. 288–293.

21. Рылова Т.С., Лахтарина С.В., Егорова Е.В. Легкий конструкционный бетон с повышенным коэффициентом конструктивного качества // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2018. Т. 4. № 2(132). С. 221–226.

22. Савенков А.И., Савенков В.А. Облегченные вариатропные железобетонные перекрытия // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2016. Т. 1. № 1. С. 288–293.

23. Рылова Т.С., Лахтарина С.В., Егорова Е.В. Легкий конструкционный бетон с повышенным коэффициентом конструктивного качества // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2018. Т. 4. № 2(132). С. 221–226.

24. Савенков А.И., Савенков В.А. Облегченные вариатропные железобетонные перекрытия // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2016. Т. 1. № 1. С. 288–293.

25. Рылова Т.С., Лахтарина С.В., Егорова Е.В. Легкий конструкционный бетон с повышенным коэффициентом конструктивного качества // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2018. Т. 4. № 2(132). С. 221–226.

26. Савенков А.И., Савенков В.А. Облегченные вариатропные железобетонные перекрытия // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2016. Т. 1. № 1. С. 288–293.

27. Рылова Т.С., Лахтарина С.В., Егорова Е.В. Легкий конструкционный бетон с повышенным коэффициентом конструктивного качества // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2018. Т. 4. № 2(132). С. 221–226.

28. Савенков А.И., Савенков В.А. Облегченные вариатропные железобетонные перекрытия // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2016. Т. 1. № 1. С. 288–293.

19. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Beskopylny A.N., Mailyan L.R., Meskhi B., Butko D., Smolyanichenko A.S. Influence of Composition and Technological Factors on Variatropic Efficiency and Constructive Quality Coefficients of Lightweight Vibro-Centrifuged Concrete with Alkalized Mixing Water // *Applied Science*. 2021. Т. 11. 9293. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11119293> (дата обращения: 18.10.2021).

20. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Рекомендации по учету вариатропии при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона // *Вестник Евразийской науки*. 2018. № 4. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf> (дата обращения: 18.10.2021).

21. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Доценко Н.А. Особенности расчета центрифугированных и виброцентрифугированных железобетонных конструкций по дифференци-

альным конструктивным характеристикам бетона // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2020. № 12. С. 32–46.

22. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Нажуев М.П., Рымова Е.М., Лиев Р.А. Влияние вида заполнителя и дисперсного армирования на деформативность виброцентрифугированных бетонов // *Вестник евразийской науки*. 2018. № 5. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: www.esj.today/PDF/51SAVN518.pdf (дата обращения: 18.10.2021).

23. Черных Д.С., Строев Д.А., Чернильник А.А., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А. Зависимость коэффициентов прочностной и деформативной вариатропной эффективности центрифугированного бетона от зернового состава крупного заполнителя // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. Том 11. № 3. 2021. С. 470–479.

24. Нажуев М.П., Самофалова М.С., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Курбанов Н.С., Ефимов И.И. Влияние рецептурных факторов на прочностные характеристики базальтофибробетонов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2021. № 7. С. 24–32.

Информация об авторах

Чернильник Андрей Александрович, аспирант, инженер. E-mail: chernila_a@mail.ru. Ростовский государственный университет путей сообщения, Россия, 344038, Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2; Донской государственный технический университет, Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Смачный Владислав Юрьевич, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: smachney87@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Ельшаева Диана Михайловна, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Жеребцов Юрий Владимирович, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: yuri.zherebtsov@gmail.com. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Доценко Наталья Александровна, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Поступила 22.10.2021 г.

© Чернильник А.А., Смачный В.Ю., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., 2022

^{1,2}Chernil'nik A.A., ²Smachney V.Yu. ^{2,*}El'shaeva D.M., ²Zherebtsov Yu.V., ²Dotsenko N.A.,

¹Rostov State Transport University

²Don State Technical University

*E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru

INFLUENCE OF THE TYPE OF FIBERS USED ON THE STRENGTH AND DEFORMATION OF DISPERSED-REINFORCED LIGHTWEIGHT CONCRETE

Abstract. Fiber-reinforced concretes with improved strength and deformation characteristics are widely used in construction. The research is aimed to study the stress-strain condition of lightweight fiber-reinforced concrete, to plot stress-strain diagrams and analyze them. In total, four series of prism specimens are manufactured and tested. The first series is the control composition of lightweight concrete; the second series is lightweight concrete with a basalt fiber content of 3%; the third series is lightweight concrete with a glass fiber content of 3%; the fourth series is lightweight concrete with a basalt fiber content of 1.5% and 1.5% glass fiber. The experimental studies demonstrate that lightweight concrete reinforced with basalt fiber has the highest deformability. In comparison with glass fiber, basalt fiber has a higher tensile strength and a higher elastic modulus. The fact that the concrete matrix and basalt fiber work together better is primarily due to the best mechanical characteristics of the basalt fiber. Further research prospects are determined in terms of determining the adhesion strength of various types of fibers with a matrix and studying the effect of this indicator on both the strength and deformation characteristics of lightweight concrete.

Keywords: lightweight concrete, strength, ultimate deformation, fiber, concrete matrix.

REFERENCES

- Galishnikova V.V., Kharun M., Koroteev D.D., Chiadighikaobi P.C. Basalt fiber reinforced expanded clay concrete for building structures. Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 101(1). 10107. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.34910/MCE.101.7> (date of treatment: 18.10.2021).
- Kang I.-K., Kim S.-H. Compressive Strength Testing of Hybrid Concrete-Filled Fiber-Reinforced Plastic Tubes Confined by Filament Winding. Applied Sciences. 2021. No. 11. 2900. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11072900> (date of treatment: 18.10.2021).
- Fiore V., Scalici T., Di Bella G., Valenza A. A review on basalt fiber and its composite. Composites Part B: Engineering. 2015. No. 74. Pp. 74–94.
- Kharun M., Koroteev D.D., Dkhar P., Zdero S., Elroba S.M. Physical and mechanical properties of basalt-fibered high-strength concrete [Fiziko-mekhanicheskie svoystva bazal'to-voloknistogo vysokoprochnogo betona]. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2018. No. 14(5). Pp. 396–403. (rus)
- Ahmed W., Lim C. Production of sustainable and structural fiber reinforced recycled aggregate concrete with improved fracture properties: A review. Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 279. 123832. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123832> (date of treatment: 18.10.2021).
- Zeyad A.M. Effect of fibers types on fresh properties and flexural toughness of self-compacting concrete. Journal of Materials Research and Technology. 2020. Vol. 9. Pp. 4147–4158.
- Elgabbas F., Ahmed E.A., Benmokrane B. Flexural behavior of concrete beams reinforced with ribbed basalt FRP bars under static loads. Journal of Composites for Construction. 2016. No. 21(3). Pp. 195–230.
- Mailyan L.R., Beskopylny A.N., Meskhi B., Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Ananova O. Optimization of Composition and Technological Factors for the Lightweight Fiber-Reinforced Concrete Production on a Combined Aggregate with an Increased Coefficient of Structural Quality. Applied Sciences. 2021. No. 11. 7284. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11167284> (date of treatment: 18.10.2021).
- Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Nazhnev M.P., Nasevich A.S., Geras'kina V.E., Poshev A.U.-B. The effect of various types of fibers on the physico-mechanical properties of centrifuged concrete [Vliyaniye razlichnykh vidov fibry na fiziko-mekhanicheskiye svoystva tsentrifugirovannogo betona]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. Vol. 6. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/14SAVN618.pdf> (date of treatment: 18.10.2021). (rus)
- Begich Y.E., Klyuev S.V., Jos V.A., Cherkashin A.V. Fine-grained concrete with various types of fibers. Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 97(5). 9702. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.18720/MCE.97.2> (date of treatment: 18.10.2021).
- Karaburc S.N., Yildizel S.A., Calis G.C. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice lightweight concrete. Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 94(2). Pp. 81–92.
- Anysz H., Narloch P. Designing the Composition of Cement Stabilized Rammed Earth Using

- Artificial Neural Networks. Materials. 2019. Vol. 12. 1396. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/ma12091396> (date of treatment: 18.10.2021).
13. Narloch P., Hassanat A., Tarawneh A.S., Anysz H., Kotowski J. Almohammadi, K. Predicting Compressive Strength of Cement-Stabilized Rammed Earth Based on SEM Images Using Computer Vision and Deep Learning. Applied Sciences. 2019. No. 9. 5131. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app9235131> (date of treatment: 18.10.2021).
14. Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Mailyan L.R., Shcherban' E.M., Nazhuev M.P. Study of the nature of the drift mechanism of the components of a concrete mixture in the production of centrifuged columns of a variatropic structure on the example of a physical model of the movement of aggregates [Izuchenie kharaktera mekhanizma dreifa komponentov betonnoi smesi pri proizvodstve tsentrifugirovannykh kolonn variatropnoi struktury na primere fizicheskoi modeli dvizheniya zapolnitelei]. Construction and architecture. 2017. Vol. 5. No. 4. Pp. 229–233. (rus)
15. Abdykalykov T.A., Dzhamayeva A.M. Lightweight fine-grained concrete based on composite binders [Oblegchennye melkozernistyie betony na osnove kompozitsionnykh vyazhushchikh veshchestv]. Materials Science. 2017. No. 2(22). Pp. 20–23. (rus)
16. Gavrilov A.V., Aloyan K.D., Dobrokhotov V.B., Pridatko Yu.M. Improving the technology for producing lightweight concrete [Sovershenstvovanie tekhnologii polucheniya oblegchennykh betonov]. Shest'desyat vos'maya vsross. nauch.-tekhnich. konf. studentov, magistrantov i aspirantov vysshikh uchebnykh zavedenii s mezhdunarodnym uchastiem: sbornik materialov konferentsii. Yaroslavl State Technical University. 2015. Pp. 765–767. (rus)
17. Rylova T.S., Lahtarina S.V., Egorova E.V. Lightweight structural concrete with an increased coefficient of structural quality [Legkiy konstruktivnyy beton s povyshennym koeffitsiyentom konstruktivnogo kachestva]. Bulletin of the Donbass National Academy of construction and architecture. 2018. Vol. 4(132). No. 2. Pp. 221–226. (rus).
18. Savenkov A.I., Savenkov V.A. Lightweight variatropic reinforced concrete slabs [Oblegchennye variatropnye zhelezobetonnye perekrytiya]. Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 288–293. (rus)
19. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Beskopylny A.N., Mailyan L.R., Meskhi B., Butko D., Smolyanichenko A.S. Influence of Composition and Technological Factors on Variatropic Efficiency and Constructive Quality Coefficients of Lightweight Vibro-Centrifuged Concrete with Alkalized Mixing Water. Applied Science. 2021. Vol. 11. 9293. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11199293> (date of treatment: 18.10.2021).
20. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Nazhuev M.P. Recommendations on accounting variatropy the calculation, design and manufacture of centrifuged structures of heavy concrete [Rekomendatsii po uchetu variatropii pri raschete, proyektirovanii i izgotovlenii tsentrifugirovannykh konstruktsiy iz tyazhelogo betona]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. Vol. 10. No. 4. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf> (date of treatment: 18.10.2021). (rus)
21. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Dotsenko N.A. Features of calculation of centrifuged and vibro-centrifuged reinforced concrete structures by differential construction characteristics of concrete [Osobennosti rascheta tsentrifugirovannykh i vibrotsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh konstruktsiy po differentsial'nym konstruktivnym kharakteristikam betona]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 12. Pp. 32–46. (rus)
22. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Nazhuev M.P., Rymova E.M., Liev R.A. Influence of the type of aggregate and dispersed reinforcement on the deformability of vibrocentrifuged concretes [Vliyanie vida zapolnitelya i dispersnogo armirovaniya na deformativnost' vibrotsentrifugirovannykh betonov]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. Vol. 10. No. 5. AdobeAcrobatReader. URL: www.esj.today/PDF/51SAVN518.pdf (date of treatment: 18.10.2021). (rus)
23. Chernykh D.S., Stroev D.A., Chernil'nik A.A., El'shaeva D.M., Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A. Dependence of the coefficients of strength and deformative variatropic efficiency of centrifuged concrete on the grain composition of a large aggregate. [Zavisimost' koeffitsiyentov prochnostnoy i deformativnoy variatropnoy effektivnosti tsentrifugirovannogo betona ot zernovogo sostava krupnogo zapolnitelya]. Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2021. Vol. 11. No. 3. Pp. 470–479. (rus).
24. Nazhuev M.P., Samofalova M.S., El'shaeva D.M., Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A., Kurbanov N.S., Efimov I.I. Influence of recipe factors on strengths characteristics of basalt fiber concrete. [Vliyaniye retsepturnykh faktorov na prochnostnyie kharakteristiki bazal'tofibrobetonov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 24–32. (rus)

Information about the authors

Chernil'nik, Andrei A. Postgraduate student, Engineer. E-mail: chernila_a@mail.ru. Rostov State Transport University. Russian Federation, 344038, Rostov-on-Don, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Square, 2; Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Smachney, Vladislav Y. Master student. E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru. Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

El'shaeva, Diana M. Master student. E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru. Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Zherebtsov, Yuriy V. Master student. E-mail: yuri.zherebtsov@gmail.com. Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Dotsenko, Natal'ya A. Master student. E-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru. Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Received 22.10.2021

Для цитирования:

Чернильник А.А., Смачный В.Ю., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А. Влияние вида применяемых фибровых волокон на прочность и деформативность дисперсно-армированных облегчённых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 20–29. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-20-29

For citation:

Chernil'nik A.A., Smachney V.Yu., El'shaeva D.M., Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A. Influence of the type of fibers used on the strength and deformation of dispersed-reinforced lightweight concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 20–29. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-20-29