

УДК 691.328

DOI 10.23968/1999-5571-2025-22-1-67-75

© А. Д. Когай, ассистент

© A. D. Kogai, assistant lecturer

© М. А. Дмитриева, д-р физ.-мат. наук, профессор

© M. A. Dmitrieva, Dr. Sci. Phys.-Math., Professor

© А. В. Пузатова, старший преподаватель

© A. V. Puzatova, senior teacher

(Балтийский федеральный университет
им. Иммануила Канта, Калининград, Россия)

(Immanuel Kant Baltic Federal University,
Kaliningrad, Russia)

E-mail: ad.kogai@yandex.ru

E-mail: ad.kogai@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВОЛОКОН НА СВОЙСТВА ФИБРОБЕТОНА

INFLUENCE OF DIFFERENT TYPES OF FIBERS ON THE PROPERTIES OF FIBER-REINFORCED CONCRETE

Рассмотрена эффективность использования льняных волокон в качестве армирующего компонента в сравнении с полимерным и кокосовым волокном в контексте влияния на реологические и механические свойства мелкозернистого бетона. Определены закономерности изменения плотности и подвижности бетонной смеси в зависимости от вида используемых волокон и их концентрации. Прочностные испытания на сжатие для образцов с различным типом волокон и их концентрацией не продемонстрировали существенных отличий. При испытании прочности на трехточечный изгиб в возрасте 7 и 28 суток было установлено увеличение прочностных характеристик фибробетона с введением льняного волокна относительно составов с другими видами фибры.

Ключевые слова: фибробетон, дисперсное армирование, льняное волокно, кокосовое волокно, полипропиленовое фиброволокно.

The article considers the efficiency of using flax fibers as a reinforcing component in comparison with polymer and coconut fibers in the context of the influence on the rheological and mechanical properties of fine-grained concrete. There have been determined patterns of change in the density and mobility of the concrete mix depending on the type of fibers used and their concentration. Compressive strength tests for specimens with different fiber types and fiber concentrations showed no significant differences. When testing the three-point bending strength at the age of 7 and 28 days, there was found out an increase in the strength characteristics of fiber concrete with the introduction of flax fiber relative to compositions with other types of fibers.

Keywords: fiber reinforced concrete, dispersed reinforcement, flax fiber, coconut fiber, polypropylene fiber.

Введение

Современное строительное материаловедение тесно связано с решением задач по улучшению качества строительных материалов в условиях интенсивного развития отрасли. Одним из решений в данном направлении является разработка фибробетонов — композиционных материалов на основе цемента, крупного и мелкого заполнителя с добавлением армирующих волокон. Применение дисперсного армирования спо-

собствует повышению прочностных характеристик бетона за счет сцепления волокон с бетонной матрицей и предотвращения раскрытия трещин [1].

В качестве армирующих компонентов применяются различные виды фибр из металлических и неметаллических волокон, включая природные. Разные типы фиброволокон обладают специфическими характеристиками, а также разным сцеплением с бетоном, что определяет характер их влияния

на свойства композита. Сцепление волокон с бетонной матрицей определяется адгезионным и механическим действием в зоне контакта, что обеспечивается материалом, геометрической формой, наличием изгибов, выпусков и трением фибры [2]. В соответствии с данными критериями в СПбГАСУ на кафедре ТСМиМ было проведено исследование влияния параметров стального фиброволокна на его сцепление с мелкозернистым бетоном в зависимости от профиля (гладкого, волнового) и наличия анкеров (двух концевых отгибов) [2]. Наибольшая прочность сцепления была зафиксирована для анкерной фибры, что было также отмечено исследователями из БГЭУ [3]. Стальное фиброволокно является широко применяемым материалом для дисперсного армирования, что вызвано его благоприятным влиянием на рост прочностных показателей бетона: при объемной концентрации менее 2 % оно способно повысить трещиностойкость бетона до четырехкратной величины от исходной [4].

Стальная фибра может использоваться совместно со стеклянным волокном, что изучали исследователи из КГАСУ. Синергетический эффект двух видов фибры позволил добиться повышения трещиностойкости бетона в 3,21 раза [5]. Стеклянное волокно способно и самостоятельно улучшать прочность цементных композитов: при изгибе до 87,2 % и при сжатии до 37,7 % с введением волокон длиной 10 мм в объеме до 25 кг/м³ [6]. Однако у вышерассмотренных видов фибры отмечается низкая коррозионная стойкость, что требует дополнительных мер защиты и мероприятий по обработке волокна [7].

Высокую коррозионную стойкость имеет базальтовая фибра. При добавлении в бетон базальтовых волокон длиной 6 мм в количестве 1 % по массе прочность бетона при сжатии возрастает до 14 % [8].

Широко применяемым видом фибры, также имеющим хорошую коррозионную

стойкость, являются полимерные волокна. Например, макрофибра на основе полиолефинов улучшает прочность при изгибе: при введении в количестве 4,5 кг/м³ прирост прочности составил 17 и 33 % для отношений В/Ц 0,5 и 0,31 соответственно, однако повышения прочности на сжатие зафиксировано не было [9]. К похожим выводам пришли исследователи из ДГТУ, которые не установили прироста прочности на сжатие для полиамидных и полипропиленовых волокон, в то время как прочность на изгиб была увеличена на 22 % при добавлении полиамидного волокна в количестве 1,9 кг/м³ и на 49 % при аналогичном расходе полипропиленового волокна [10].

Относительно новым направлением является исследование наноразмерных компонентов, обладающих армирующими свойствами. Таким материалом является нанофибриллярная целлюлоза, получаемая путем диспергирования до наноразмеров растительных целлюлозосодержащих материалов. Ее введение в состав бетона способствует повышению прочности и снижению усадочных деформаций [11, 12]. В 2024 году группе исследователей удалось установить ее заметное влияние на кинетику схватывания бетонной смеси в раннем возрасте [13].

Отдельный интерес представляет применение натуральных волокон в качестве армирующих компонентов бетонной смеси. Вызвано это актуальностью использования экологически чистых материалов и отходов сельскохозяйственной деятельности, что способствует улучшению экологической обстановки. Известны исследования о введении в бетон в качестве наполнителя шелухи подсолнечника [14], золы рисовой шелухи [15], обрезков грунтовой ткани [16]. В целях дисперсного армирования исследовалось джутовое волокно, способное обеспечивать прирост прочности на сжатие при концентрации волокон до 0,25 % по массе цемента [17]. Конопляное волокно улучшает

механические и теплофизические свойства бетона, материалы на его основе отличаются низкой плотностью и теплопроводностью и применяются для облицовки стен и заполнения технологических проемов [18]. Тростниковые волокна длиной 40 мм при концентрации до 2 % способствуют приросту прочности бетона на изгиб до 1,7 МПа и на сжатие до 9,2 МПа к исходной в сравнении с контрольным составом. Бетоны на основе таких волокон также обладают низкой теплопроводностью [19]. В качестве перспективного материала в последнее время отмечают волокна кокосового ореха. При их добавлении в бетон в концентрациях до 2 % показатели прочности на сжатие на 28-е сутки стали выше на 16 %, а показатели прочности на растяжение при изгибе повысились на 42 % по сравнению с контрольными образцами бетона [20].

В настоящее время актуальным направлением является использование местного сырья для производства строительных материалов. В регионах, где отсутствует производство армирующих волокон либо затруднена их доставка, в частности в Калининградской области, необходимо уделить внимание техническим культурам регионального значения.

Лен активно возделывают более чем в 14 регионах России (Алтайский край, Омская область, Смоленская область и т. д.), а с 2017 года — и в Калининградской области. Льняное волокно получают в результате обработки растительной культуры. После вымачивания, сушки, очистки и вычеса длинные льняные волокна используются для создания текстильной продукции, короткие — для создания веревок и канатов, а отходы применяются в производстве санитарной пакли (вторичное волокно). Предел прочности таких волокон при растяжении на 20 % больше, чем у джутового волокна [21], что делает данный материал перспективным для использования в качестве армирующего компонента в цементном бетоне. Прочност-

ные характеристики обеспечиваются за счет состава волокон: целлюлоза (75...78 %), гемицеллюлоза (9,4...11,9 %), лигнин (3,8 %), пектиновые вещества (2,9...3,2 %), воскообразные вещества (2,7 %), азотосодержащие вещества в пересчете на белки (1,9...2,1 %), минеральные вещества (1,3...2,8 %) [22]. Вторичное льняное волокно способствует предотвращению аутогенной усадки и раскрытия трещин, повышению прочностных характеристик и улучшению структурообразования за счет гигроскопичности волокон [23–25]. Однако данные о влиянии льняных волокон на свойства бетона весьма ограничены и представлены в большей мере зарубежными исследователями.

Цель данной работы состоит в изучении влияния льняных волокон на реологические и прочностные свойства бетона в контексте сравнения их эффективности по отношению к распространенным видам волокон: кокосовых и полипропиленовых.

Материалы и методы

Для оценки влияния различных типов волокон на свойства мелкозернистого бетона было выбрано полипропиленовое, кокосовое и льняное волокно. При проведении сравнительного анализа влияния количественного содержания волокон на характеристики бетона были исследованы концентрации 0,75; 1,5 и 2,25 % волокон по массе цемента в базовом составе смеси с соотношением цемента к песку 1 : 2,5 и водоцементным отношением 0,5. Исследуемые составы приведены в таблице.

Номер состава	Добавка	Кол-во добавки, %
1	Полипропиленовая фибра	0,75
2	"	1,5
3	"	2,25
4	Кокосовое волокно	0,75
5	"	1,5
6	"	2,25
7	Льняное волокно	0,75
8	"	1,5
9	"	2,25

Использовались следующие компоненты: 1) цемент: портландцемент «Евроцем 500 супер», ЦЕМ I 42,5 Н, производитель — ООО «Петербург цемент»; 2) песок строительный сухой, произведен в России; 3) полипропиленовая фибра: длина волокон 10–12 мм, толщина 12 мкм, произведена в России; 4) волокна из скорлупы кокосового ореха, диаметр 100–450 мкм, длина 10–25 см, произведены в Индии; 5) льняные волокна, толщина 15–25 мкм, длина 15–40 мм, произведены в России.

Кокосовые и льняные волокна были очищены от органических остатков и нарезаны на отрезки длиной 10 мм, что соответствует длине полипропиленовой фибры, а также отвечает оптимальной длине природного волокна в соответствии с [17]. Снимки волокон, полученные при помощи стереомикроскопа Olympus SZX16, приведены на рис. 1.

После подготовки волокна добавляли к сухой смеси цемента и песка и тщательно перемешивали до равномерного распределения по объему, после чего смесь затворяли водой и повторно перемешивали.

Для бетонной смеси определяли следующие характеристики: плотность смеси (по ГОСТ 5802–1986), подвижность по расплыву конуса (по ГОСТ Р 58277–2018), подвижность по погружению конуса (по ГОСТ 5802–1986). После определения необходимых реологических характеристик бетонной смесью наполняли стальные формы ЗФБ-40 для формирования образцов-балок

размером 40×40×160 мм. Заполнение форм проводилось в два этапа с вибрированием. Наполненные смесью формы накрывали пленкой для обеспечения необходимой влажности. По истечении одних суток формы распалубливали, и образцы направляли в камеру нормального твердения для набора прочности.

Отдельные образцы в возрасте 1, 7 и 28 суток отбирали для проведения прочностных испытаний на трехточечный изгиб и сжатие в установке TONIPRAX 1543.0300 в соответствии с ГОСТ Р 58277–2018.

Результаты и обсуждение

По итогам определения плотности бетонных смесей различного состава были получены результаты, приведенные на рис. 2. Наибольшую плотность имел состав с минимальной концентрацией кокосового волокна, а наименьшую — он же, но с наибольшей концентрацией. Следовательно, увеличение концентрации кокосового волокна приводит к резкому снижению плотности бетонной смеси. Обратный эффект наблюдался у составов с введением льняного волокна: увеличение концентрации волокон способствовало росту показателя плотности смеси. Результаты для составов с введением полипропиленовой фибры имели немонотонный характер: с повышением концентрации с 0,75 до 1,25 % эффекта практически не наблюдалось, при большем повышении концентрации — плотность снижалась. Представляется возможным отслеживание кор-

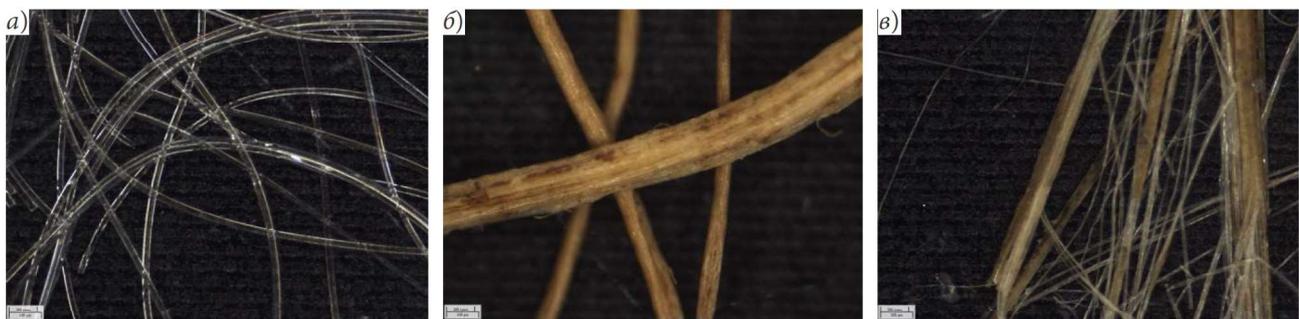


Рис. 1. Снимки волокон при 4-кратном увеличении: а — полипропиленовых; б — кокосовых; в — льняных

реляции с плотностью самих волокон: так, наибольшей плотностью обладают льняные волокна ($1,5 \text{ г/см}^3$), наименьшей — кокосовые ($0,15 \dots 0,3 \text{ г/см}^3$), а промежуточное значение принимают полипропиленовые волокна ($0,9 \dots 0,92 \text{ г/см}^3$).

Результаты определения подвижности при расплыве конуса после 15 встряхиваний представлены на рис. 3. Наибольший диаметр расплыва смеси был зафиксирован для состава с минимальной концентрацией льняного волокна, дальнейшее увеличение концентрации до среднего и максимального значения приводило к одинаковому снижению подвижности (со 120 до 105 мм). Уменьшение подвижности при увеличении концентрации волокон справедливо для всех составов. Изменение концентрации от минимальной к максимальной для состава с полипропиленовым волокном показало уменьшение диаметра расплыва со 105 до 100 мм, а с кокосовым — со 110 до 100 мм.

Анализируя результаты определения подвижности по погружению конуса, приведенные на рис. 4, можно утверждать, что во всех составах при увеличении количества армирующих волокон подвижность смеси уменьшалась. Наибольшей подвижностью

(погружением конуса) характеризовались смеси с минимальной концентрацией природных волокон, при повышении концентрации подвижность резко уменьшалась, и при дальнейшем увеличении процента их введения она оставалась практически неизменной. Наименьшая подвижность наблюдалась для состава с добавлением максимальной дозировки полипропиленовых волокон.

Проанализировав полученные значения пределов прочности на сжатие (рис. 5), можно установить, что параметры для разных составов отличаются незначительно. В возрасте одних суток наименьшие показатели прочности были отмечены у составов с льняным волокном, а наибольшие — у состава с минимальной концентрацией кокосового волокна. После семи суток у всех составов была приблизительно равная прочность (относительно вида волокна при равной концентрации), при этом увеличение концентрации волокон снижало прочность. Через 28 суток наибольшими показателями прочности обладали составы с льняными волокнами, а наименьшими — с полипропиленовыми, что справедливо для любой рассматриваемой концентрации.

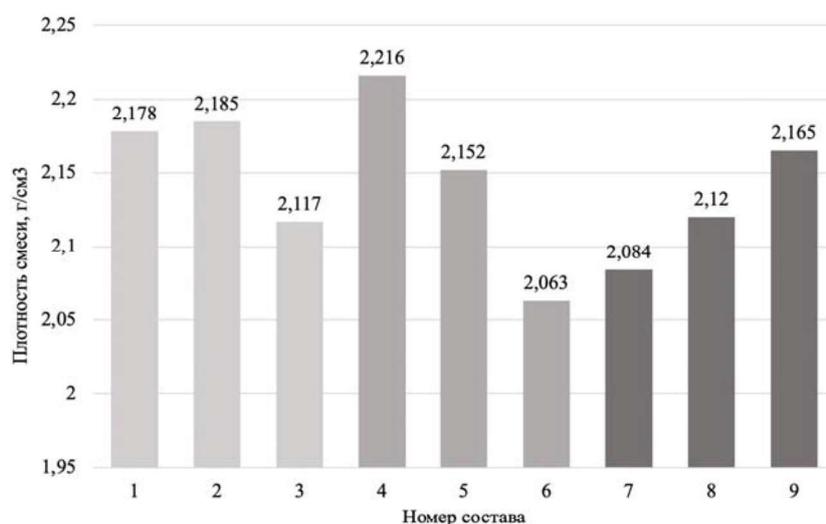


Рис. 2. Плотность бетонных смесей с добавлением различных волокон

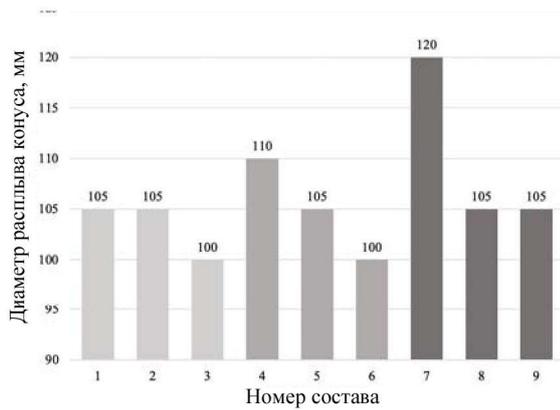


Рис. 3. Подвижность по расплыву конуса

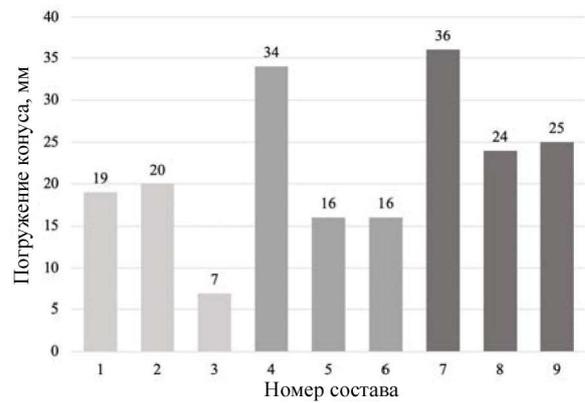


Рис. 4. Подвижность по погружению конуса

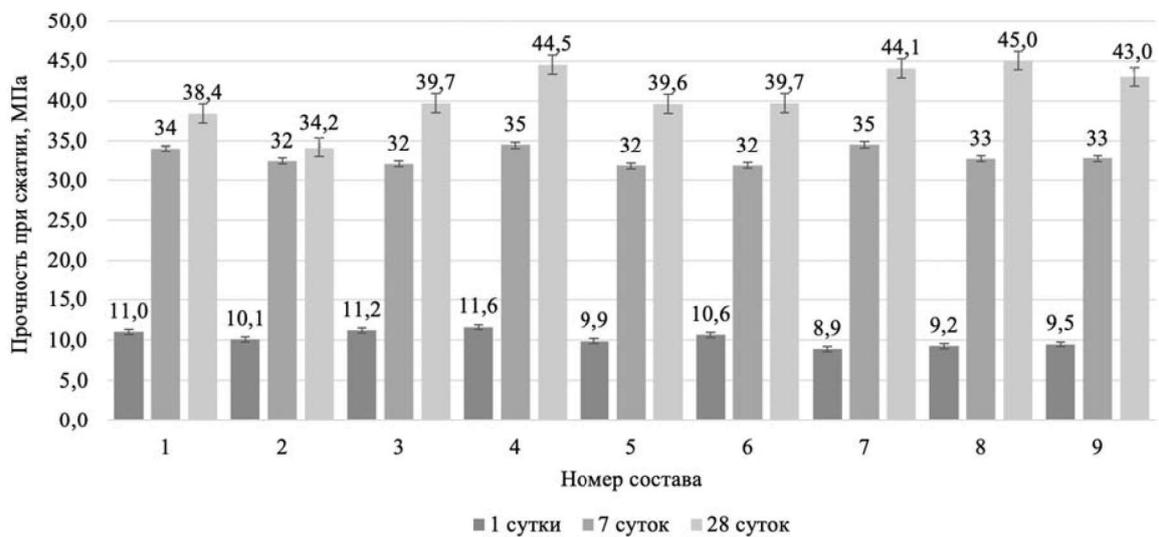


Рис. 5. Прочность при сжатии

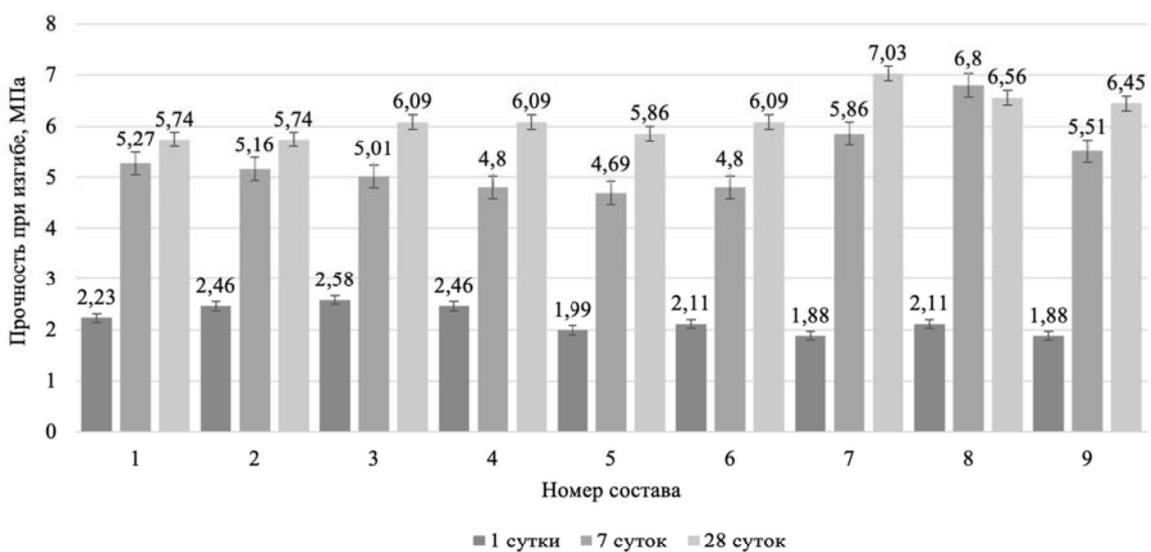


Рис. 6. Прочность при трехточечном изгибе

При испытании на трехточечный изгиб наибольшая прочность в возрасте 1 суток отмечалась у составов с полипропиленовой фиброй. Однако в возрасте 7 и 28 суток наибольший прирост прочности отмечался у составов с льняным волокном. На 28-е сутки при минимальном проценте введения волокон составы с льняной фиброй продемонстрировали прочность на 18,3 % выше относительно составов с полипропиленовым и на 13,4 % — с кокосовым волокном (рис. 6).

Заключение

Проведенные исследования продемонстрировали эффективность применения льняных волокон в качестве армирующего компонента в мелкозернистом бетоне. Для составов, армированных льняным волокном, характерен рост плотности и снижение подвижности смеси при увеличении концентрации волокон. В раннем возрасте наибольшие прочностные показатели на изгиб и сжатие имели составы с полипропиленовым фиброволокном, однако по мере твердения льняное волокно оказывало больший эффект на прочность образцов в возрасте 7 и 28 суток. Таким образом, отмечается перспективность рассмотрения природных армирующих материалов, в частности льна.

Благодарности

Коллектив авторов благодарит д-ра техн. наук, профессора-консультанта СПбГАСУ Юрия Владимировича Пухаренко за идею проведения исследований и полезные консультации.

Библиографический список

1. Пухаренко Ю. В., Пантелеев Д. А., Жаворонков М. И. Влияние вида армирующих волокон на модуль упругости фибробетона // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2022–2023 годы: сб. науч. тр. РААСН. В 2 т. Т. 2. М.: АСВ, 2024. С. 342–349.*
2. Пухаренко Ю. В., Пантелеев Д. А., Жаворонков М. И. Влияние вида фибры и состава матрицы на

их сцепление в фибробетоне // *Вестник Сибирского гос. автомобильно-дорожного ун-та. 2022. Т. 19, № 3 (85). С. 436–445. DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-3-436-445.*

3. Матвейко Н. П., Зарапин В. Г., Артимович В. С. Модифицирование поверхности стальной фибры для дисперсного армирования бетона // *Вестник Витебского гос. технологического ун-та. 2017. № 1 (32). С. 171–178.*

4. Александров К. Н. Исследование влияние положения стальной фибры на работу фибробетона на местные нагрузки // *Молодой ученый. 2022. № 22 (417). С. 32–35.*

5. Бадертдинов И. Р., Габидуллин М. Г., Рахимов Р. З. Влияние одно- и двухуровневого армирования стальной и стеклянной фиброй на время начала трещинообразования бетона класса В45 // *Известия Казанского гос. архитектурно-строительного ун-та. 2012. № 4 (22). С. 270–278.*

6. Габидуллин М. Г., Багманов Р. Т., Шангараев А. Я. Исследование влияния характеристик стеклофибры на физико-механические свойства стеклофибробетона // *Известия КазГАСУ. 2010. № 1 (13). С. 268–273.*

7. Плотникова А. А., Косарикова О. В., Бокарев В. И. Оценка стойкости стеклянных волокон в среде гидратирующего портландцемента // *Молодой ученый. 2021. № 20 (362). С. 117–123.*

8. Окольникова Г. Э., Новиков Н. В., Старчевская А. Ю., Пронин Г. С. Влияние базальтовой фибры на прочность бетона // *Системные технологии. 2019. № 2 (31). С. 37–40.*

9. Смирнова О. М., Харитонов А. М. Прочностные и деформативные свойства фибробетона с макрофиброй на основе полиолефинов // *Строительные материалы. 2018. № 12. С. 44–48.*

10. Маилян Л. Р., Стельмах С. А., Холодняк М. Г., Щербань Е. М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона // *Вестник евразийской науки. 2017. Т. 9, № 4 (41). С. 77.*

11. Cao Y., Zavaterra P., Youngblood J., Moon R., Weiss J. The influence of cellulose nanocrystal additions on the performance of cement paste // *Cement and Concrete Composites. 2015. Vol. 56. Pp. 73–83.*

12. Пухаренко Ю. В., Аубакирова И. У., Хирхасова В. И. Целлюлоза в бетоне: новое направление развития строительной нанотехнологии // *Строительные материалы. 2020. № 7. С. 39–44. URL: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-782-7-39-44>*

13. Пухаренко Ю. В., Хренов Г. М., Ткаченко В. И. Влияние нанофибриллярной целлюлозы на кинетику схватывания цементного теста // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2024. Т. 16, № 1. С. 6–11. DOI 10.15828/2075-8545-2024-16-1-6-11.*

14. Sarwar M. W., Awan A. N., Rashid H., Aleem M., Ali R., Shakeel A. Environment friendly construction techniques using sunflower husk, rice husk and their ashes // Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences. 2016. Vol. 4 (3). Pp. 117–120.

15. Нгуен Динь Чинь, Нгуен Тхе Винь, Баженов Ю. М. Высокопрочные бетоны с комплексным применением золы рисовой шелухи, золы-уноса и суперпластификаторов // Вестник МГСУ. 2012. № 1. С. 77–82.

16. Зимина Е. Л. Анализ возможности использования отходов легкой промышленности в производстве материалов строительного назначения // Вестник Витебского гос. технологического ун-та. 2016. № 2 (31). С. 39–46.

17. Mohammad Z., Mashud A., Md Mozammel H., Shafiqul I. Scope of using jute fiber for the reinforcement of concrete material // Textiles and Clothing Sustainability. 2017. Vol. 2 (11). URL: <https://doi.org/10.1186/s40689-016-0022-5>

18. Хамадоу Ф. Конопляный бетон // Молодой ученый. 2019. № 4 (242). С. 72–74.

19. Сяньпэн В., Минкунь В., Ковшар С., Леонович С. Конструкционный бетон, армированный тростниковым и кокосовым видами волокон // Архитектура и строительство. 2023. № 3. С. 20–28.

20. Ali M., Liu A., Hou S., Chou N. Mechanical and dynamic properties of coconut fiber reinforced concrete // Construction and Building Materials. 2012. Vol. 30. Pp. 814–825.

21. Фесик С. П. Справочник по сопротивлению материалов. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Будівельник, 1982. 281 с.

22. Кричевский Г. Е., Корчагин М. В., Сенахов А. В. Химическая технология текстильных материалов. М.: Легпромбытиздат, 1985. 640 с.

23. Rahimi M., Housseine O., Tagnit-Hamou A. Effectiveness of treated flax fibers in improving the early age behavior of high-performance concrete // Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 45. 103448. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103448>

24. Boghossian E., Wegner L. D. Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete // Cement and Concrete Composites. 2008. Vol. 30 (10). Pp. 929–937.

25. Dai G., Zhang Z., Du W., Li Z., Gao W., Li L. Conversion of skin collagen fibrous material waste to an oil sorbent with pH-responsive switchable wettability for high-efficiency separation of oil/water emulsions // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 226. Pp. 18–27.

References

1. Pukharenko Yu. V., Panteleev D. A., Zhavoronkov M. I. *Vliyanie vida armiruyushchikh*

volokon na modul' uprugosti fibrobetona [Influence of the type of reinforcing fibers on the elastic modulus of fiber concrete]. *Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noy otrasli Rossiyskoy Federatsii v 2022–2023 gody. Trudy RAASN* [Fundamental, search and applied researches of RAASN on scientific support of development of architecture, town-planning and construction industry of the Russian Federation in 2022–2023. Proceedings of RAASN]. In 2 vols. Vol. 2. Moscow, ASV Publ., 2024, pp. 342–349.

2. Pukharenko Yu. V., Panteleev D. A., Zhavoronkov M. I. *Vliyanie vida fibry i sostava matritsy na ikh stseplenie v fibrobetone* [Influence of fiber type and matrix composition on their adhesion in fiber concrete]. *Vestnik Sibirskogo gos. avtomobil'no-dorozhnogo un-ta – Bulletin of Siberian State Automobile – Road Building University*, 2022, vol. 19, no. 3 (85), pp. 436–445. DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-3-436-445.

3. Matveyko N. P., Zarapin V. G., Artimovich V. S. *Modifitsirovanie poverkhnosti stal'noy fibry dlya dispersnogo armirovaniya betona* [Surface modification of steel fiber for disperse reinforcement of concrete]. *Vestnik Vitebskogo gos. tekhnologicheskogo un-ta – Bulletin of Vitebsk State Technological University*, 2017, no. 1 (32), pp. 171–178.

4. Badertdinov I. R., Gabidullin M. G., Rakhimov R. Z. *Vliyanie odno- i dvukhurovnego armirovaniya stal'noy i steklyannoy fibroy na vremya nachala treshchinoobrazovaniya betona klassa V45* [Influence of one- and two-level reinforcement with steel and glass fiber on the time of cracking initiation of concrete of B45 class]. *Izvestiya Kazanskogo gos. arkhitekturno-stroitel'nogo un-ta – Bulletin of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*, 2012, no. 4 (22), pp. 270–278.

5. Aleksandrov K. N. *Issledovanie vliyanie polozheniya stal'noy fibry na rabotu fibrobetona na mestnye nagruzki* [Investigation of the influence of steel fiber position on the work of fiber concrete on local loads]. *Molodoy ucheniy – Young Scientist*, 2022, no. 22 (417), pp. 32–35.

6. Gabidullin M. G., Bagmanov R. T., Shangaraev A. Ya. *Issledovanie vliyaniya kharakteristik steklofibry na fiziko-mekhanicheskie svoystva steklofibrobetona* [Investigation of influence of glass fiber characteristics on physical and mechanical properties of glass fiber concrete]. *Izvestiya KazGASU – Bulletin of KazGASU*, 2010, no. 1 (13), pp. 268–273.

7. Plotnikova A. A., Kosarikova O. V., Bokarev V. I. *Otsenka stoykosti steklyannykh volokon v srede gidratiruyushchego portlandtsementa* [Estimation of glass fibers durability in the environment of hydrating Portland cement]. *Molodoy ucheniy – Young Scientist*, 2021, no. 20 (362), pp. 117–123.

8. Okol'nikova G. E., Novikov N. V., Starchevskaya A. Yu., Pronin G. S. *Vliyanie bazal'tovoy fibry na prochnost' betona* [Effect of basalt fiber on the strength of concrete]. *Sistemnye tekhnologii – System Technologies*, 2019, no. 2 (31), pp. 37–40.
9. Smirnova O. M., Kharitonov A. M. *Prochnostnye i deformativnye svoystva fibrobetona s makrofibroy na osnove poliiolefinov* [Strength and deformation properties of fiber concrete with polyolefin-based macrofiber]. *Stroitel'nye materialy – Construction Materials*, 2018, no. 12, pp. 44–48.
10. Mailyan L. R., Stel'makh S. A., Kholodnyak M. G., Shcherban' E. M. *Vybor vidov volokon dlya dispersnogo armirovaniya izdeliy iz tsentrifugirovannogo betona* [Selection of fiber types for dispersed reinforcement of products from centrifuged concrete]. *Vestnik evraziyskoy nauki – Bulletin of Eurasian Science*, 2017, vol. 9, no. 4 (41), p. 77.
11. Cao Y., Zavatteri P., Youngblood J., Moon R., Weiss J. The influence of cellulose nanocrystal additions on the performance of cement paste. *Cement and Concrete Composites*, 2015, vol. 56, pp. 73–83.
12. Pukharenko Yu. V., Aubakirova I. U., Khirkhasova V. I. *Tsellyuloza v betone: novoe napravlenie razvitiya stroitel'noy nanotekhnologii* [Cellulose in concrete: a new direction of development of construction nanotechnology]. *Stroitel'nye materialy – Building Materials*, 2020, no. 7, pp. 39–44. Available at: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-782-7-39-44>
13. Pukharenko Yu. V., Khrenov G. M., Tkachenko V. I. *Vliyanie nanofibrillyarnoy tsellyulozy na kinetiku skhvatyvaniya tsementnogo testa* [Influence of nanofibrillar cellulose on the kinetics of cement dough setting]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal – Nanotechnologies in construction: scientific online journal*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 6–11. DOI 10.15828/2075-8545-2024-16-1-6-11.
14. Sarwar M. W., Awan A. N., Rashid H., Aleem M., Ali R., Shakeel A. Environment friendly construction techniques using sunflower husk, rice husk and their ashes. *Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences*, 2016, vol. 4 (3), pp. 117–120.
15. Nguen Din' Chin', Nguen TkheVin', Bazhenov Yu. M. *Vysokoprochnye betony s kompleksnym primeneniem zoly risovoy shelukhi, zoly-unosa i superplastifikatorov* [High-strength concrete with complex application of rice husk ash, fly ash and superplasticizers]. *Vestnik MGSU – Bulletin of MSCU*, 2012, no. 1, pp. 77–82.
16. Zimina E. L. *Analiz vozmozhnosti ispol'zovaniya otkhodov legkoy promyshlennosti v proizvodstve materialov stroitel'nogo naznacheniya* [Analysis of the possibility of using waste from light industry in the production of construction materials]. *Vestnik Vitebskogo gos. tekhnologicheskogo un-ta – Bulletin of Vitebsk State Technological University*, 2016, no. 2 (31), pp. 39–46.
17. Mohammad Z., Mashud A., Md Mozammel H., Shafiqul I. Scope of using jute fiber for the reinforcement of concrete material. *Textiles and Clothing Sustainability*, 2017, vol. 2 (11). Available at: <https://doi.org/10.1186/s40689-016-0022-5>.
18. Khamadou F. *Konoplyaniy beton* [Hemp concrete]. *Molodoy ucheniy – Young Scientist*, 2019, no. 4 (242), pp. 72–74.
19. Syan'pen V., Minkun' V., Kovshar S., Leonovich S. *Konstruktivnyy beton, armirovannyi trostnikovym i kokosovym vidami volokon* [Structural concrete reinforced with cane and coconut fiber types]. *Arkhitektura i stroitel'stvo – Architecture and Construction*, 2023, no. 3, pp. 20–28.
20. Ali M., Liu A., Hou S., Chou W. N. Mechanical and dynamic properties of coconut fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 30, pp. 814–825.
21. Fesik S. P. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov* [Reference book on resistance of materials]. 2-nd ed., revised. Kiev, Budivelnik Publ., 1982, 281 p.
22. Krichevskiy G. E., Korchagin M. V., Senakhov A. V. *Khimicheskaya tekhnologiya tekstil'nykh materialov* [Chemical technology of textile materials]. Moscow, Legprombytizdat Publ., 1985. 640 p.
23. Rahimi M., Hiseine O., Tagnit-Hamou A. Effectiveness of treated flax fibers in improving the early age behavior of high-performance concrete. *Journal of Building Engineering*, 2021, vol. 45, 103448. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103448>
24. Boghossian E., Wegner L. D. Use of flax fibers to reduce plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and Concrete Composites*, 2008, vol. 30 (10), pp. 929–937.
25. Dai G., Zhang Z., Du W., Li Z., Gao W., Li L. Conversion of skin collagen fibrous material waste to an oil sorbent with pH-responsive switchable wettability for high-efficiency separation of oil/water emulsions. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 226, pp. 18–27.