

УДК 624.012.454:691.714

## Строительные конструкции с применением композиционных материалов на основе бетона

К. В. Талантова

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Талантова К. В. Строительные конструкции с применением композиционных материалов на основе бетона // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 1. — С. 206–214. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-1-206-214

### Аннотация

**Цель:** По содержанию части публикаций в открытой печати и Internet, посвященных композиционным материалам, очевидна целесообразность вновь обратиться к базовым принципам их создания, формированию свойств и уйти от их механистического понимания сложных систем как суммы свойств компонентов. В открытой печати достаточно широко представлена информация о композиционных материалах с различными типами волокон и матриц, в том числе на основе бетона. Однако нередко авторы, представляя результаты исследований, к композиционным относят практически все материалы, состоящие из двух или более компонентов. **Методы:** Оценка состояния предлагаемой информации выполняется на основе анализа информации, представленной в открытой печати и Internet, в том числе ведущих специалистов в области строительных конструкций и композиционных материалов, а также результатов экспериментально-теоретических исследований автора. **Результаты:** Современный уровень знаний о композиционных материалах можно оценить как весьма значительный. Повсеместно в открытой печати и на страницах Internet появляется информация о конструктивных решениях, выполненных с использованием композиционных материалов, интересных и весьма перспективных, обладающих заданными (требуемыми) свойствами и высокими технико-экономическими показателями. **Практическая значимость:** В научных изданиях, на страницах Internet нередко нет четкого и корректного представления о композиционных материалах. В статье делается попытка обратить внимание специалистов на необходимость осмысленно проводить исследования конструкций на основе композиционных материалов и привести термины и определения, принятые в профессиональном сообществе, в соответствие с их физическим и техническим смыслом, что позволит получать ожидаемый результат, не теряя времени и средств.

**Ключевые слова:** Композиционные материалы, заданные свойства, тип волокон, матрица, принципы создания, формирование свойств, многокомпонентные материалы, железобетон, синергетика.

### Введение

Ни один из известных строительных материалов не обладает суммой свойств: одновременно малой плотностью и прочностью, прочностью и пластичностью, малым весом и термостойкостью и т. д. В случае, когда необходимо обеспечить целый комплекс свойств, которым должен

обладать один материал для обеспечения эксплуатационных требований, предъявляемых к конструкции, необходимо затратить значительные средства, что далеко не всегда дает желаемый результат. Решить эту проблему удалось, когда специалисты научились создавать композиционные материалы (композиты) [1–7].

### **Композиция — сочетание**

В широком смысле слова практически всякий современный материал представляет собой композицию, поскольку все материалы редко применяются в чистом виде. Композиция — от лат. *compositio*, букв. — соположение, складывание, составление, сочетание. Это создает определенные сложности с точки зрения использования термина — он распространяется зачастую механически на все многокомпонентные системы.

Профессор Массачусетского технологического института (MIT) Альберт Дитц пишет: «Наука и техника, подобно литературе и искусству, имеют свои модные фразы и штампы. Одним из самых модных в наше время является словосочетание “композиционные материалы”, содержащее в новой форме очень старую и простую мысль о том, что совместная работа разнородных материалов дает эффект создания нового материала, обладающего свойствами, существенно превосходящими свойства исходных компонентов» [2–4].

Композиционные материалы (композиты) состоят из двух и более компонентов, количественное соотношение которых должно быть сопоставимым. Компоненты существенно отличаются по свойствам, а их сочетание и физико-химические процессы создают синергетический эффект (синергетика — состояние системы) и параметры порядка (управляющие параметры), изменение которых позволяет изменять состояние системы (управлять состоянием) [5]. Очевидно, важной характеристикой композиционного материала (KM) является именно последнее.

Следует отметить, что необходимым условием получения нового материала со свойствами, превосходящими свойства компонентов, является формирование межфазного слоя в результате физико-химического взаимодействия между компонентами.

В настоящее время трудно найти такую отрасль современной техники, в которой не

использовались бы конструкции из композиционных материалов. Стремление получить наименьшую материалоемкость (изделий) элементов конструкций при требуемой прочности и жесткости, а также возможность варьирования свойств материала за счет изменения структуры армирования привело к необходимости использования композитных балок, пластин и оболочек слоистой структуры в качестве составляющих элементов тонкостенных инженерных сооружений в различных отраслях народного хозяйства (в машино-, тракторо- и судостроении, в авиационной и ракетно-космической технике и т. п.) [2, 4].

На сегодняшний день основные принципы создания композиционных материалов и элементов конструкций с их применением достаточно глубоко изучены. Однако необходимо вновь обратиться к работам ученых, в которых излагаются базовые данные по созданию композиционных материалов. К таким исследованиям можно отнести работы отечественных и зарубежных специалистов, где дана классификация композитов, свойства, области применения [6–8].

### **Композиционные материалы**

Какие же материалы можно отнести к композиционным? В исследованиях Фудзии и Дзако [5] сказано: «Под композитами следует понимать материалы, состоящие из двух и более разнородных материалов, обладающие свойствами, которых не имели исходные материалы. В строении композиционного материала выделяют дисперсную фазу и матрицу (связующее)».

Таким образом, обобщая результаты исследований, можно заключить, что композиционные материалы характеризуются свойствами, которыми не обладает ни один из компонентов в отдельности. По своим свойствам композиции превосходят средние или суммарные свойства отдельных компонентов, обнаруживая синерге-

тический эффект [8]. Такое определение разделяют многие специалисты и ученые в мире<sup>1</sup>.

Ведущий специалист NASA в области механики композиционных материалов С. С. Chamis в своей работе [6] отметил, что благодаря появлению композиционных материалов и, в частности, материалов, армированных волокнами, конструктору предоставляется свобода эффективного использования материалов. Это дает возможность одновременно проектировать и конструкцию, и материал.

Когда проектируется элемент с применением композиционного материала (КМ) или из КМ, как и из любого другого материала, прежде всего оцениваются условия его эксплуатации, в соответствии с чем подбирается тип КМ, выбираются материалы для создания элемента из КМ для заданных условий, определяются статическая (динамическая) схема работы элемента, нагрузки и воздействия, соответствующие принятой схеме. Но именно применение композиционных материалов позволяет управлять и их свойствами, и характеристиками разрабатываемых элементов конструкций. В таких условиях специалистам нужен материал с заданными свойствами [7, 9].

В 70-е годы XX века исследования КМ в мире и СССР приняли систематический характер. На мировом рынке в 1973 г. появились стальные волокна как материал для промышленного армирования [10]. Появление фибры как самостоятельного технологического продукта для армирования стимулировало исследования и дальнейшее применение в строительной отрасли [9–11]. Благодаря полученным результатам применения стальной фибры в дорожных одеждах и в отделке тоннелей подтвердились уникальные эксплуатационные свойства сталефибробетона [10, 11].

<sup>1</sup> URL: <https://bigenc.ru/c/kompozi-tsionnye-materialy-1d46d3>.

## Фибробетон

Композиты на основе бетона — фибробетоны в зависимости от вида бетона (тяжелого, легкого и ячеистого), типа армирующего волокна (стальное, базальтовое, стеклянное, полипропиленовое и т. п.), как правило, имеют названия, в соответствии с которыми можно ожидать их физико-механические свойства: сталефибробетон, базальтофибробетон, стеклофибробетон и т. п.

На сегодняшний день исследования композиционных материалов, сталефибробетона (СФБ), в том числе, и конструкций на их основе отечественными и зарубежными специалистами выполняются более 100 лет [1–14].

Н. Ф. Porter [12] в 1910 году провел серию тестов по «улучшению прочности бетона». По полученным результатам он сделал вывод, что присутствие коротких волокон в бетоне повышает его прочность при сжатии и предел прочности при растяжении.

Сложно принять некорректный термин «улучшение прочности бетона» и далее «наличие коротких волокон в бетоне повышает его прочность». Возможно, это ошибки перевода, но и в отечественных публикациях по-прежнему идет речь об «улучшении характеристик бетона» [15]. Более того, при обсуждении темы «Композиционные материалы» в интернете указывается, что «типичные инженерные композитные материалы включают: «Железобетон и каменную кладку»<sup>2</sup>.

Не менее интересная информация представлена в конспекте лекций дисциплины «Железобетонные и каменные конструкции»: «Железобетон — это композиционный материал (пластичная (!) основа (бетон) армирована прочным наполнителем (!) — стальными стержнями или изделиями) ...» [16].

Что касается железобетона, то известно, что создание железобетонных конструкций (ЖБК)

<sup>2</sup> URL: [https://in.Wikipedia.org/wiki/Composite\\_material](https://in.Wikipedia.org/wiki/Composite_material).

оказалось возможным благодаря гарантированной совместности работы, адаптивности напряжений и деформаций арматуры и бетона, что обеспечивается, помимо прочего, их надежным сцеплением по поверхности контакта [17, 18]. При этом железобетон — строительный термин, принятый в профессиональной среде, — обобщающее название элементов железобетонных конструкций (плит, балок, колонн и т. п.), не материала (!), тем более композиционного [19] (подобно принятому термину, например, мебель (стол, стул).

О каменной кладке говорить, что это композиционный материал, некорректно. Во-первых, кладка — не материал, это конструкция, возводимая из штучных изделий, соединенных раствором швом. Прочность кладки при сжатии всегда меньше, чем прочность камня, из которого она возведена [20]. Ожидать роста прочности кладки, по сравнению с прочностью камня (кирпича) и раствора, что отличает композиты от других материалов, бессмысленно, так как это противоречит требованиям норм [20].

В смысле сочетания компонентов (вяжущего, заполнителей, воды) бетон — композиция. Однако составляющие бетона даже при их взаимодействии не обеспечивают формирование уникальных свойств, что имеет место при создании композиционных материалов [5].

Известно, что регулировать физико-механические свойства бетона и конструкций на его основе возможно за счет рационального подбора его состава, изменения характеристик компонентов, организации структуры материала, выбора технологии приготовления смеси и формования изделия, условий его твердения [17].

Введение дисперсных волокон в бетонную смесь не просто меняет свойства бетона, а приводит к созданию нового (композиционного) материала на основе бетонной матрицы со свойствами, заданными при создании элемента конструкции

в соответствии с эксплуатационными требованиями к элементу. При этом в композиционном материале — фибробетоне — при введении волокон в бетон формируется бетонная матрица, с присущими ей характеристиками, отличающимися от характеристик исходного бетона [9, 21]. Это различие является результатом взаимодействия компонентов: бетона при введении волокон (частиц), а «их сочетание и физико-химические процессы, происходящие между ними (взаимодействие), и дают синергетический эффект», что приводит к формированию уникальных свойств [8].

Необходимо отметить, что «волокна играют первичную основную роль в композиционных материалах, они могут придавать цементной смеси или бетону значительное количество “относительной вязкости”, которая обозначает способность такого материала абсорбировать относительно большое количество энергии перед отказом, они придают композиционным материалам многие значимые свойства» [2].

В работе «Оценка конкурентных преимуществ композиционных материалов в строительных конструкциях» [22] нет сведений, о каком композиционном материале идет речь, представлено «сравнение результатов испытания лотка «железобетонного» и из композиционного материала», без данных о конструктивных решениях лотков, не говоря уже о выборе материалов, порядке, результатах и анализе испытаний. Неясно, как без конкретных сведений оценивать преимущества неизвестного композиционного материала в неизвестных конструкциях лотков, хотя сомнений в «конкурентных преимуществах композиционных материалов нет».

Огнеупорная промышленность стала использовать волокна нержавеющей стали для получения литой фибры и армирования ею бетона в основном в США и Японии [6, 23]. Так, исследования СФБ при высокотемпературном нагреве при пожаре показали, что энергия разруше-

ния СФБ до 200 раз превышает этот показатель обычного бетона, а коэффициент интенсивности напряжений выше в 12 раз [24]. Сталефибробетон с фиброй из низкоуглеродистой стали выдерживает нагрев, без снижения прочности, до температуры 450–537 °С; с фиброй из нержавеющей стали до температуры 1590–1595 °С [25].

Задание свойств конструкции путем подбора компонентов, организации армирования в преимущественном направлении в соответствии с условиями нагружения или напряженно-деформированного состояния (НДС) позволяет обеспечить эффективную работу и материала, и конструкции.

С точки зрения принципов формирования структуры композиционного материала [4, 5] можно утверждать, что на уровень упруго-прочностных свойств сталефибробетона как композитного материала влияют: тип матрицы и волокна, объемное содержание компонентов, геометрические параметры волокон, распределение их по объему, уровень взаимодействия на границе «волокно — матрица» [21].

Кроме того, необходимо отметить, что фибробетоны создаются, как правило, на основе мелкозернистого бетона. Результаты исследований показали, что в качестве бетона-матрицы следует применять мелкозернистый бетон [9, 21]. В случае необходимости введения в смесь крупного заполнителя его количество и размер необходимо выбирать с учетом геометрии фибры и обязательной лабораторной корректировкой состава СФБ смеси.

В СП «Конструкции сталефибробетонные ...» [26] приводится определение композиционного материала на основе тяжелого или мелкозернистого бетона. При этом результаты исследований показали, что введение крупного заполнителя при приготовлении сталефибробетонной смеси существенно снижает (до 80 %) эффективность фибрового армирования стальной фиброй [27].

## Выводы

Таким образом, развитие строительной техники базируется на разработке новых конструктивных решений, что невозможно без создания новых современных материалов. Однако новые материалы, в том числе композиционные, обладают свойствами, которые не являются простой суммой свойств компонентов, а формируются на более тонком уровне, которым можно или нужно управлять.

При этом, чтобы не вносить путаницу в принятые, устоявшиеся профессиональные понятия и термины, которые сформированы на основе многолетних исследований и строительной практики, не следует терминам присваивать новый, необоснованный физический смысл. В противном случае не удастся получить от новых решений ожидаемый результат или просто потерять и время, и средства.

## Список источников

1. Рудой Б. Л. Композиты / Б. Л. Рудой. — М.: Моск. рабочий, 1976. — 144 с.
2. Кербер М. Л. Композиционные материалы / М. Л. Кербер // Соросовский образовательный журнал. — 1999. — № 5. — С. 123–127.
3. Берлин А. А. Принципы создания композиционных полимерных материалов / А. А. Берлин и др. — М.: Химия, 1990. — 240 с.
4. Браутман Л. Механика композиционных материалов. Пер. с англ. / Л. Браутман, Р. Крок, Дж. Сендечки (ред.). — М.: Мир, 1978. — Т. 2 — 566 с.
5. Фудзии Т. Механика разрушения композиционных материалов. Пер. с японск. / Т. Фудзии, М. Дзако. — М.: Мир, 1982. — 232 с.
6. Композиционные материалы. В 8 т. Т. 8, Ч. II: Анализ и проектирование конструкций / Ред. К. Чамис, пер. с англ. Г. Г. Портнова. — М.: Машиностроение, 1978. — 264 с.
7. Кочешков И. В. Анализ понятия и принципов создания композиционных материалов / И. В. Кочешков //

Наукоемкие технологии в машиностроении. — 2016. — № 2. — С. 3–11. — DOI: <https://doi.org/10.12737/17788> (дата обращения: 22.11.2024).

8. Жарин Д. Прикладная синергетика композиционных материалов / Д. Жарин, А. Бобрышев, С. Курин // LAP LAMBERT Academic Publishing. — 2012. — 152 с.

9. Талантова К. В. Сталефибробетон и конструкции на его основе / К. В. Талантова, Н. М. Михеев. — СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. — 276 с.

10. Beddar, M. Fiber reinforced concrete: past, present and future / M. Beddar // Бетон и железобетон — пути развития: науч. тр. 2-ой Всерос. (Международ.) конф. по бетону и железобетону: в 5 т. Т. 3: Секционные доклады, секция «Технология бетона». — М.: Дипак, 2005. — С. 228–234.

11. Vandewalle M. The use of fiber reinforced concrete in road constructions / M. Vandewalle, N. V. Bekaert // Proc. Int. Symp. Fibre Reinforced Concr., Madras, Des. 16–19, 1987. — Rotterdam, 1988. — Vol. 2. — Pp. 6.111–6.119.

12. Porter H. F. Preparation of concrete from selection of materials to final disposition / H. F. Porter // J. Am. Conc. Inst. — 1910. — Vol. 6. — P. 296.

13. Некрасов В. П. Описание железобетонных изделий / В. П. Некрасов. — Привилегия, выданная 27 марта 1909. кл. 37 п. 4/01 №15271, заявл.13/XI-1907.

14. Некрасов В. П. Метод косвенного вооружения бетона / В. П. Некрасов. — М.: Транспечать, 1925. — 255 с.

15. Клещевникова В. И. Разновидности материалов для дисперсного армирования бетона / В. И. Клещевникова, А. С. Логвинова, С. В. Беляева // Alfabuild. — 2019. — № 1(8). — С. 59–74.

16. Сивоконь Ю. В. Конспект лекций по строительным конструкциям: учеб. пособие / Ю. В. Сивоконь, В. Р. Касимов. — Н. Новгород: ННГАСУ, 2019. — 132 с.

17. Рыбьев И. А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для строит. спец. вузов / И. А. Рыбьев. — 2-е изд., испр. — М.: Высшая школа, 2004. — 701 с.

18. Холмянский М. М. Контакт арматуры с бетоном / М. М. Холмянский. — М.: Стройиздат, 1981. — 184 с.

19. Железобетон в XXI веке. Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России: монография / Коллектив авторов под. ред. К. В. Михайлова. — М.: НИИЖБ, 2001. — 390 с.

20. СП 15.13330.2020. Свод правил. Каменные и армокаменные конструкции. СНиП II-22-81 (утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2020 № 902/пр.) (ред. от 21.12.2023).

21. Лобанов И. А. Особенности структуры и свойства дисперсно-армированных бетонов / И. А. Лобанов // Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов: межвуз. тем. сб. тр. — Л., 1986. — С. 5–10.

22. Галиев Л. С. Оценка конкурентных преимуществ композиционных материалов в строительных конструкциях / Л. С. Галиев, В. В. Полити, В. С. Канхва // Отходы и ресурсы. — 2022. — Т. 9. — № 3. — URL: [https://resources.today/PDF/19ECOR\\_322.pdf](https://resources.today/PDF/19ECOR_322.pdf). — DOI: 10.15862/19ECOR322.

23. Wooldridge J. F. Reinforced Refractory Fibers Prove Their Value / J. F. Wooldridge // Brick and Clay Record. — 1978. — Vol. 173. — Iss. 4. — Pp. 36–39.

24. Дорф В. А. Влияние характеристик стальной фибры и ее содержание в сталефибробетоне на его огнестойкость / В. А. Дорф, Р. О. Красновский, Д. Е. Капустин и др. // Вестник гражданский инженеров СПбГАСУ. — 2017. — № 5(64). — С. 38–46.

25. Иванов М. А. Влияние повышенных температур на прочностные свойства сталефибробетона / М. А. Иванов // Известия вузов. Строительство и архитектура. — 1984. — № 12. — С. 129–132.

26. СП 360.1325800.2017. Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования. — М.: ФГУП НИЦ «Строительство», 2017. — 40 с.

27. Куликов А. Н. Экспериментально-теоретические исследования свойств фибробетона при безградиентном напряженном состоянии в кратковременных испытаниях: техн. наук / А. Н. Куликов. — Л., 1975.

Дата поступления: 14.01.2025

Решение о публикации: 10.02.2025

#### **Контактная информация:**

ТАЛАНТОВА Клара Васильевна — д-р техн. наук, доц.; [talant\\_bar@mail.ru](mailto:talant_bar@mail.ru)

## Use of Concrete-Based Composite Materials in Construction

K. V. Talantova

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Talantova K. V. Use of Concrete-Based Composite Materials in Construction // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 1, pp. 206–214. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-206-214

### Summary

**Purpose:** On reviewing some of the Internet open publications devoted to composite materials, the author understands a clear need to revisit the basic principles of their development and the formation of properties and to move away from mechanistic understanding of complex system properties as the sum of those of their components. The information on composite materials with different types of fibers and matrices including those based on concrete is widely available in the open publications. However, when presenting the results of research, authors often refer to almost all materials consisting of two or more constituent materials as composite.

**Methods:** The proposed information has been assessed based on the analysis of the Internet open publications, leading experts in the field of construction and composite materials and the author's experimental and theoretical studies. **Results:** Composite materials have been widely investigated and applied recently. Innovative design solutions using intriguing and very promising composite materials with specified (required) properties have been researched in a number of open publications and the Internet. **Practical significance:** In scientific publications and on the Internet pages, there is often no clear and accurate understanding of composite materials. The article attempts to draw experts' attention to the need for the research on structures based on composite materials and bring the terms and definitions accepted in the professional community into line with their physical and technical meaning, which will allow obtaining the expected results without wasting time and money.

**Keywords:** Composite materials, specified properties, fiber type, matrix, principles of creation, formation of properties, multicomponent materials, reinforced concrete, synergetic.

### References

1. Rudoy B. L. *Kompozity* [Composites]. Moscow: Mosk. Rabochiy Publ., 1976, 144 p. (In Russian)
2. Kerber M. L. *Kompozitsionnye materialy* [Composite materials]. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal* [Soros educational journal]. 1999, Iss. 5, pp. 123–127. (In Russian)
3. Berlin A. A. et al. *Printsipy sozdaniya kompozitsionnykh polimernykh materialov* [Principles of creation of composite polymer materials]. Moscow: Khimiya Publ., 1990, 240 p. (In Russian)
4. Brautman L., Krok R., Sendetski Dzh. (red.) *Mekhanika kompozitsionnykh materialov. Per. s angl.* [Mechanics of composite materials. Trans. from English]. Moscow: Mir Publ., 1978, vol. 2, 566 p. (In Russian)
5. Fudzii T., Dzako M. *Mekhanika razrusheniya kompozitsionnykh materialov. Per. s yaponsk.* [Fracture mechanics of composite materials. Trans. from Japanese]. Moscow: Mir Publ., 1982, 232 p. (In Russian)
6. *Kompozitsionnye materialy. V 8 t. T. 8, Ch. II: Analiz i proektirovanie konstruksiy. Red. K. Chamis, per. s angl. G. G. Portnova* [Composite materials. In 8 volumes. Vol. 8, Part II: Analysis and design of structures. Ed. K. Chamis, translated from English by G. G. Portnov]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1978, 264 p. (In Russian)
7. Kocheshkov I. V. *Analiz ponyatiya i printsipov sozdaniya kompozitsionnykh materialov* [Analysis of the concept and principles of creating composite materials]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii* [Science-intensive

- technologies in mechanical engineering]. 2016, Iss. 2, pp. 3–11. DOI: <https://doi.org/10.12737/17788> (accessed: November 22, 2024). (In Russian)
8. Zharin D., Bobryshev A., Kurin S. *Prikladnaya sinergetika kompozitsionnykh materialov* [Applied synergetics of composite materials]. LAP LAMBERT Academic Publishing [LAP LAMBERT Academic Publishing]. 2012, 152 p. (In Russian)
9. Talantova K. V., Mikheev N. M. *Stalefibrobeton i konstruksii na ego osnove* [Steel fiber concrete and structures based on it]. St. Petersburg: FGBOU VPO PGUPS Publ., 2014, 276 p. (In Russian)
10. Beddar, M. Fiber reinforced concrete: past, present and future [Fiber reinforced concrete: past, present and future]. *Beton i zhelezobeton — puti razvitiya: nauch. tr. 2-oy Vseros. (Mezhdunar.) konf. po betonu i zhelezobetonu: v 5 t. T. 3: Sektsionnye doklady, sektsiya “Tekhnologiya betona”* [Concrete and reinforced concrete — ways of development: scientific. t. 2-nd All-Russian (International) Conf. on Concrete and Reinforced Concrete: in 5 vols. Vol. 3: Sectional reports, section “Concrete Technology”]. Moscow: Dipak Publ., 2005, pp. 228–234. (In Russian)
11. Vandewalle M., Bekaert N. V. The use of fiber reinforced concrete in road constructions. Proc. Int. Symp. Fibre Reinforced Concr., Madras, Des. 16–19, 1987. Rotterdam, 1988, vol. 2, pp. 6.111–6.119.
12. Porter H. F. Preparation of concrete from selection of materials to final disposition. J. Am. Conc. Inst., 1910, vol. 6, p. 296.
13. Nekrasov V. P. *Opisanie zhelezobetonnykh izdeliy. Privilegiya, vydannaya 27 marta 1909. kl. 37 p. 4/01 №15271, zayavl.13/XI-1907* [Description of reinforced concrete products. Privilege issued on March 27, 1909. cl. 37 p. 4/01 № 15271, declared.13/XI-1907]. (In Russian)
14. Nekrasov V. P. *Metod kosvennogo vooruzheniya betona* [Method of indirect armature of concrete]. Moscow: Transpechat’ Publ., 1925, 255 p. (In Russian)
15. Kleshchevnikova V. I., Logvinova A. S., Belyaeva S. V. *Raznovidnosti materialov dlya dispersnogo armirovaniya betona* [Types of materials for dispersed reinforcement of concrete]. Alfabuild, 2019, Iss. 1(8), pp. 59–74. (In Russian)
16. Sivokon’ Yu. V., Kasimov V. R. *Konspekt lektsiy po stroitel’nym konstruksiyam: ucheb. posobie* [Lecture notes on building structures: textbook]. N. Novgorod: NNGASU Publ., 2019, 132 p. (In Russian)
17. Ryb’ev I. A. *Stroitel’noe materialovedenie: ucheb. posobie dlya stroit. spets. Vuzov, 2-e izd., ispr.* [Construction materials science: a textbook for construction specialty universities, 2nd ed., corrected]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2004, 701 p. (In Russian)
18. Kholmyanskiy M. M. *Kontakt armatury s betonom* [Contact of reinforcement with concrete]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1981, 184 p. (In Russian)
19. *Zhelezobeton v XXI veke. Sostoyanie i perspektivy razvitiya betona i zhelezobetona v Rossii: monografiya. Kollektiv avtorov pod. red. K. V. Mikhaylova* [Reinforced concrete in the 21st century. The state and prospects for the development of concrete and reinforced concrete in Russia: a monograph. Collective of authors under editorship of K. V. Mikhailov]. Moscow: NIIZhB Publ, 2001, 390 p. (In Russian)
20. *SP 15.13330.2020. Svod pravil. Kamennye i armokamennye konstruksii. SNiP II-22-81 (utv. Prikazom Ministroya Rossii ot 30.12.2020 № 902/pr.) (red. ot 21.12.2023)* [SP 15.13330.2020. Code of Practice. Stone and Reinforced Stone Structures. SNiP II-22-81 (approved by Order of the Ministry of Construction of Russia dated 30.12.2020 № 902/pr.) (as amended on 21.12.2023)]. (In Russian)
21. Lobanov I. A. *Osobennosti struktury i svoystva dispersno-armirovannykh betonov* [Features of the structure and properties of dispersion-reinforced concrete]. *Tekhnologiya izgotovleniya i svoystva novykh kompozitsionnykh stroitel’nykh materialov: mezhvuz. tem. sb. tr.* [Manufacturing technology and properties of new composite building materials: interuniversity. thematic collection of works]. L., 1986, pp. 5–10. (In Russian)
22. Galiev L. S., Politi V. V., Kankhva V. S. *Otsenka konkurentnykh preimushchestv kompozitsionnykh materialov v stroitel’nykh konstruksiyakh* [Assessment of competitive advantages of composite materials in building structures]. *Otkhody i resursy* [Waste and resources]. 2022, vol. 9, Iss. 3. Available at: <https://resources.today/>



PDF/19ECOR 322.pdf. DOI: 10.15862/19ECOR322. (In Russian)

23. Wooldridge J. F. Reinforced Refractory Fibers Prove Their Value. *Brick and Clay Record*, 1978, vol. 173, Iss. 4, pp. 36–39.

24. Dorf V. A., Krasnovskiy R. O., Kapustin D. E. Vliyaniye kharakteristik stal'noy fibry i ee sodержanie v stale-fibrobetone na ego ognestoykost' [Influence of the characteristics of steel fiber and its content in steel-fiber concrete on its fire resistance]. *Vestnik grazhdanskiy inzhenerov SPbGASU* [Bulletin of civil engineers of St. Petersburg state university of architecture and civil engineering]. 2017, Iss. 5(64), pp. 38–46. (In Russian)

25. Ivanov M. A. Vliyaniye povyshennykh temperatur na prochnostnye svoystva stale-fibrobetona [Bulletin of civil engineers of St. Petersburg state university of architecture and civil engineering]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura* [News of universities. Construction and architecture]. 1984, Iss. 12, pp. 129–132. (In Russian)

26. SP 360.1325800.2017. *Konstruktсии stalefibrobetonnye. Pravila proektirovaniya* [SP 360.1325800.2017. Steel-fiber concrete structures. Design rules]. Moscow: FGUP NITs “Stroitel'stvo” Publ., 2017, 40 p. (In Russian)

27. Kulikov A. N. *Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya svoystv fibrobetona pri bezgradientnom napryazhenom sostoyanii v kratkovremennykh ispytaniyakh: tekhn. nauk* [Experimental and theoretical studies of the properties of fiber-reinforced concrete in a gradient-free stress state in short-term tests: tech. sciences]. L., 1975. (In Russian)

Received: January 14, 2025

Accepted: February 10, 2025

**Author's information:**

Klara V. TALANTOVA — Dr. Sci. in Engineering, Associate Professor; talant\_bar@mail.ru