



К вопросу растяжимости фибробетона с полипропиленовым волокном

И.Г. Корнеева¹, Н.А. Емельянова²✉^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Настоящее исследование посвящено вопросу сравнительной оценки сопротивления изгибу обычного (мелкозернистого) и дисперсно-армированного бетона. Слабая растяжимость бетона обуславливает низкую трещиностойкость, что является определяющим фактором ограниченной долговечности бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неблагоприятных условиях. В работе представлены результаты экспериментальных исследований, позволяющие выполнить анализ конструктивных свойств фибробетонов с различным уровнем их объемного армирования полипропиленовыми фибрами. Приведены экспериментальные данные испытаний в режиме нагружения с постоянной скоростью деформирования 0,05 мм/с. Опытные образцы были испытаны на четырехточечный изгиб на испытательном комплексе Instron с автоматической записью прогибов в середине пролета, деформаций растянутого волокна, построением диаграмм нагрузка-прогиб, напряжения-деформации. Определена техническая целесообразность использования полипропиленовых фибр в качестве армирующих элементов в объемах, обеспечивающих условия совместности их деформирования с бетонной матрицей. Проведенное экспериментальное исследование позволило установить качественные (по структуре) и статистические изменения деформации фибробетона, позволяющие существенно увеличить его способность к восприятию растягивающих деформаций.

Ключевые слова: фибробетон, полипропилен, фибра, изгибная жесткость, трещиностойкость, дисперсное армирование

Для цитирования: Корнеева И.Г., Емельянова Н.А. К вопросу растяжимости фибробетона с полипропиленовым волокном // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 244–250. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-244-250>. EDN: EVGTER.

Original article

On the issue of stretchability of fiber-reinforced concrete with polypropylene fiber

Inna G. Korneeva¹, Natalia A. Emelyanova²✉^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The present study is devoted to the issue of comparative assessment of bending resistance of ordinary (fine-grained) and dispersed reinforced concrete. The weak extensibility of concrete causes low crack resistance, which is a determining factor in the limited durability of concrete and reinforced concrete structures operated in adverse conditions. The paper presents the results of experimental studies that make it possible to analyze the structural properties of fiber-reinforced concrete with different levels of their volumetric reinforcement with polypropylene fibers. Experimental test data in the loading mode with a constant deformation rate of 0.05 mm/s are presented. The prototypes were tested for four-point bending at the Instron test facility with automatic recording of deflections in the middle of the span, deformations of the stretched fiber, and the construction of load-deflection and stress-strain diagrams. The technical feasibility of using polypropylene fibers as reinforcing elements in volumes that ensure the compatibility of their deformation with the concrete matrix has been determined. The conducted experimental study made it possible to establish qualitative (in terms of structure) and statistical changes in the deformation of fibrocrete, which significantly increase its ability to perceive tensile deformations.

Keywords: fibre concrete, polypropylene, fiber, bending rigidity, crack resistance, dispersed reinforcement

For citation: Korneeva I.G., Emelyanova N.A. On the issue of stretchability of fiber-reinforced concrete with polypropylene fiber. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(2):244-250. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-244-250>. EDN: EVGTER.

ВВЕДЕНИЕ

Опыт эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций в неблагоприятных условиях показывает, что определяющим фактором их ограниченной долговечности является низкая трещиностойкость, обусловленная слабой растяжимостью бетона.

Рассматривая современные подходы к вопросу направленного формирования композитных структур, можно сделать вывод, что она может быть повышена путем дисперсного фиброармирования [1, 3–7].

Физико-технические свойства используемых материалов должны быть гармонизированы с соответствующими характеристиками цементосодержащих матриц. Они также должны быть приемлемыми по критериям экономической, энергетической и экологической целесообразности [8–12, 14–15]. С учетом ука-

занных предпосылок и ограничений допускается применение в качестве армирующих фрагментов волокнистых полипропиленовых фибр, являющихся одними из компонентов переработки отходов соответствующих производств полимеров. Анализ конструктивных свойств фибробетонов с различным уровнем их объемного армирования полипропиленовыми фибрами посвящено настоящее исследование.

МЕТОДЫ

В соответствии с модельным представлением о структуре фибробетона [1], ее целевое формирование осуществлялось с учетом максимального диаметра заполнителя (10 мм) и его объемного содержания (0,48). При этом фибровые волокна с эквивалентным диаметром 0,8 мм и длиной 40 мм характеризовались параметрами, представленными в таблице.

Нормируемые (ГОСТ 9550-81) свойства полипропиленовых фибр
Polypropylene fibre properties (based on State All-Union Standard GOST 9550-81).

Наименование параметра	Значение параметра
Начальное поперечное сечение образца, мм ²	0,5
Прочность при растяжении, МПа	145,54
Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	21,95
Модуль упругости, МПа	2767
Прочность при разрыве, МПа	140,9
Относительное удлинение при разрыве, %	22,3

Опытные призматические образцы изготавливались из фибробетонных смесей, матричную основу которых составлял бетон (Ц:П:Щ:В = 1:1,42:3,31:0,55 при Ц = 380 кг/м³).

Объемное содержание армирующих элементов находилось в диапазоне от 0 до 2 %. Хранение образцов в течение 28 сут. соответствовало регламенту ГОСТ 10180-2012. До момента испытаний (60 сут.) – в обычных условиях.

Опытные образцы были испытаны на изгиб на испытательном комплексе Instron в режиме постоянства скорости деформирования (0,05 мм/с).

Производилась автоматическая запись прогибов в середине пролета и деформаций растянутого волокна с автоматическим построением диаграмм нагрузка-прогиб, напряжения-деформации, времени испытания. В качестве граничных условий (критериев) разрушения

приняты: прогиб – 3 мм, деформация растянутого волокна 0,03 мм/мм или разделение образца на две части.

Число опытных образцов каждого уровня армирования составляло 12 штук, что позволило выполнить статистически представительное обобщение полученных результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выборочные семейства диаграмм «Усилие-прогиб» обычного и фиброармированного ($\mu = 1\%$) бетонов представлены на рис. 1а, б. Их визуальное сопоставление подтверждает осязаемое различие кинетики в процессе нагружения прогибов, количественных значений параметров и статистических закономерностей их распределения. Учитывая установленную неоднозначность последствий фиброармирования на показатели сжимаемости [2], целесообразно оценить влияние уровня армирования на сопротивление изгибу. Прежде всего, обращает

на себя внимание снижение максимального усилия, воспринимаемого фибробетоном по мере его насыщения арматурными элемен-

тами. При этом, до уровня оптимального по Рабиновичу [1] значения ($\mu_{\text{опт}} \approx 1,5-1,8\%$) речь может идти о тенденции (снижение 2–8 %).

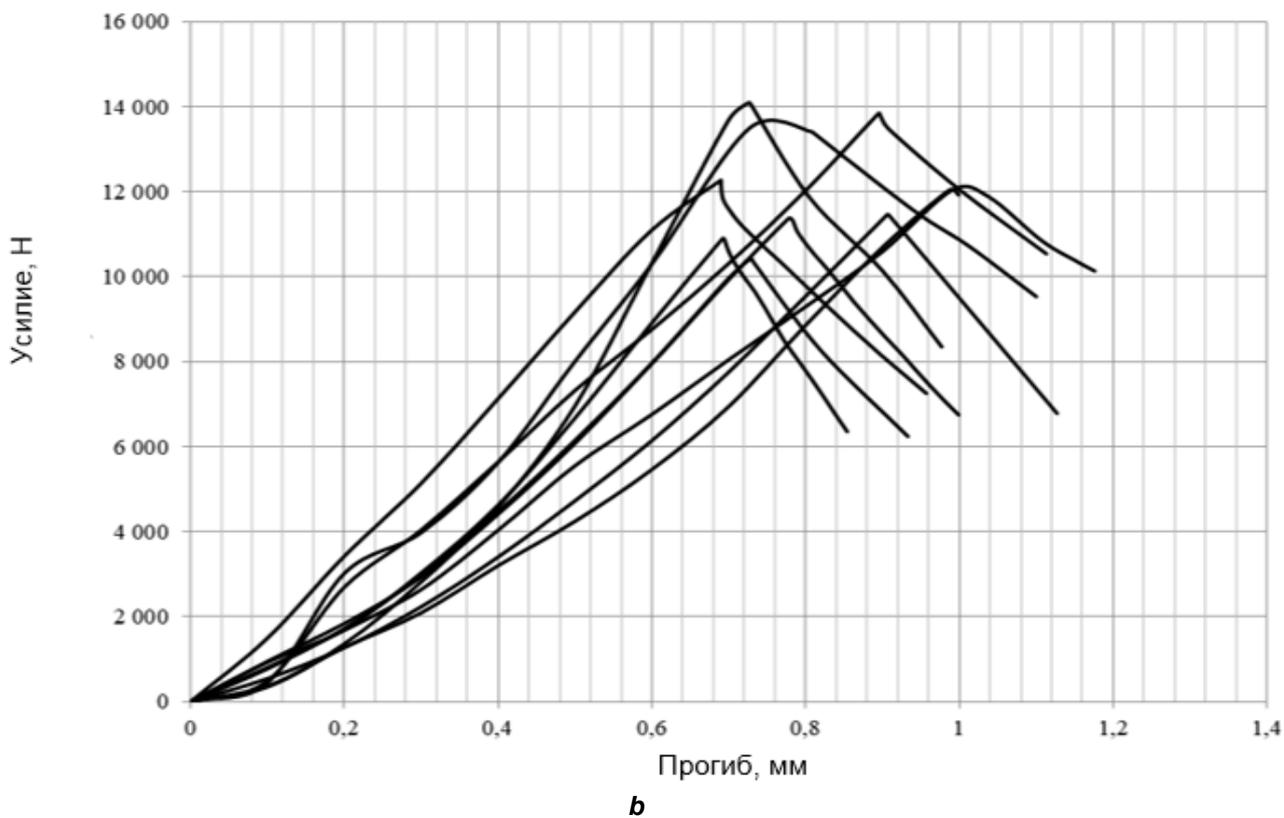
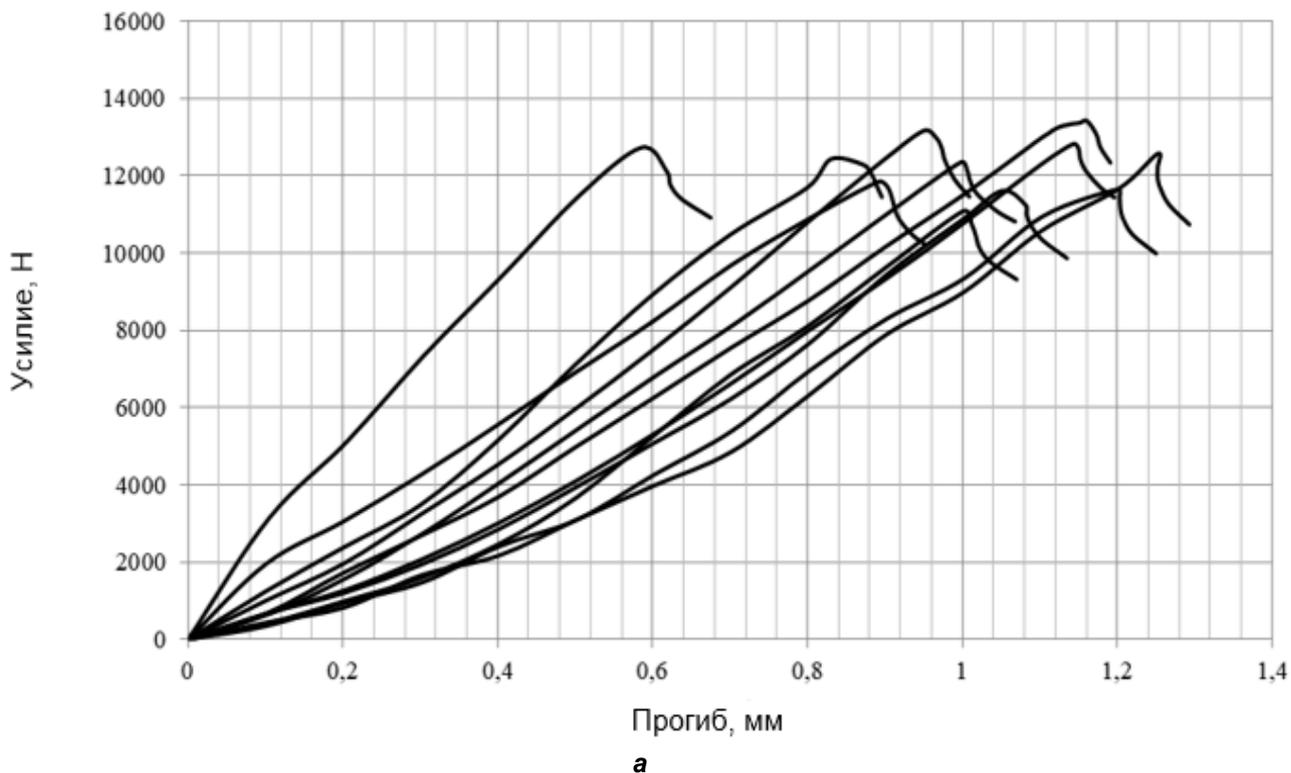


Рис. 1. Семейство диаграмм «Усилие – прогиб»:
а – обычный бетон; б – фиброармированный бетон

Fig. 1. Family of diagrams "Force – deflection": a – normal concrete; b – fiber-reinforced concrete

В дальнейшем падение прочности более существенно и достигает 13–15 %.

Одновременно наблюдаются изменения в статистиках ее распределения, характеризующиеся ростом дисперсии и коэффициента изменчивости.

С учетом последних, минимально ожидаемые значения разрушающих усилий фибробетона составят 90–95 % от обычного, без четкой зависимости от уровня армирования. Принципиально важным фактором представляется динамика изменения прогиба на этапах возрастания нагрузки и ее снижении в процессе самоускоряющегося разрушения. Фиброармирование ведет к более интенсивному, чем нагрузка,

снижению прогибов с заметной стабилизацией на уровне оптимального армирования (рис. 2). Подобное соотношение кинетики прочности и деформативности подтверждает интегральную целесообразность армирования в части суммарного эффекта сопротивления фибробетона изгибу. Положительное влияние армирования прослеживается и на изменении статистических параметров: существенно снижается дисперсия, интервал ожидаемых значений требуемой обеспеченности. Следовательно, максимально ожидаемые (при 95 % обеспеченности) значения прогибов фибробетона составляет (65–80 %) чисто бетонного аналога.

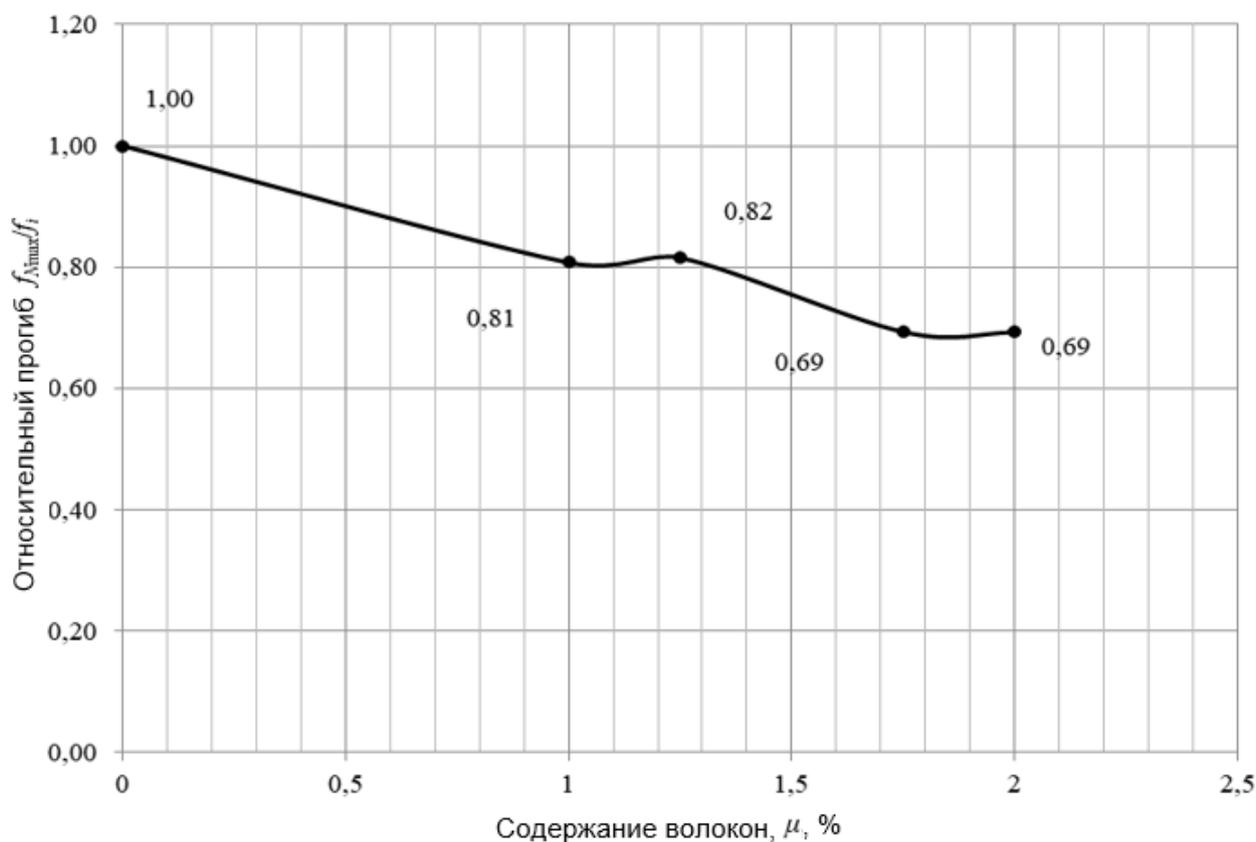


Рис. 2. Прогиб при максимальной нагрузке
Fig. 2. Deflection at maximum load

Характерной и отличительной особенностью фибробетона является его способность к деформированию после достижения максимальной нагрузки [13].

Из представленных на рис. 3 данных следует многократное увеличение деформативности при росте фиброармирования и ее стабилизации в области оптимального объемного содержания. Получение подобных экспериментальных данных становится возможным в условиях обеспечения режима нагружения с

постоянной скоростью деформирования и является косвенным подтверждением существенного возрастания потенциала стесненного деформирования.

Подобные выводы следуют и из сравнительной оценки деформаций растяжения при физическом разрушении образцов по указанным выше критериям (рис. 4). Наблюдается устойчивая динамика возрастания растяжимости фибробетона с увеличением армирования в рассматриваемом диапазоне.

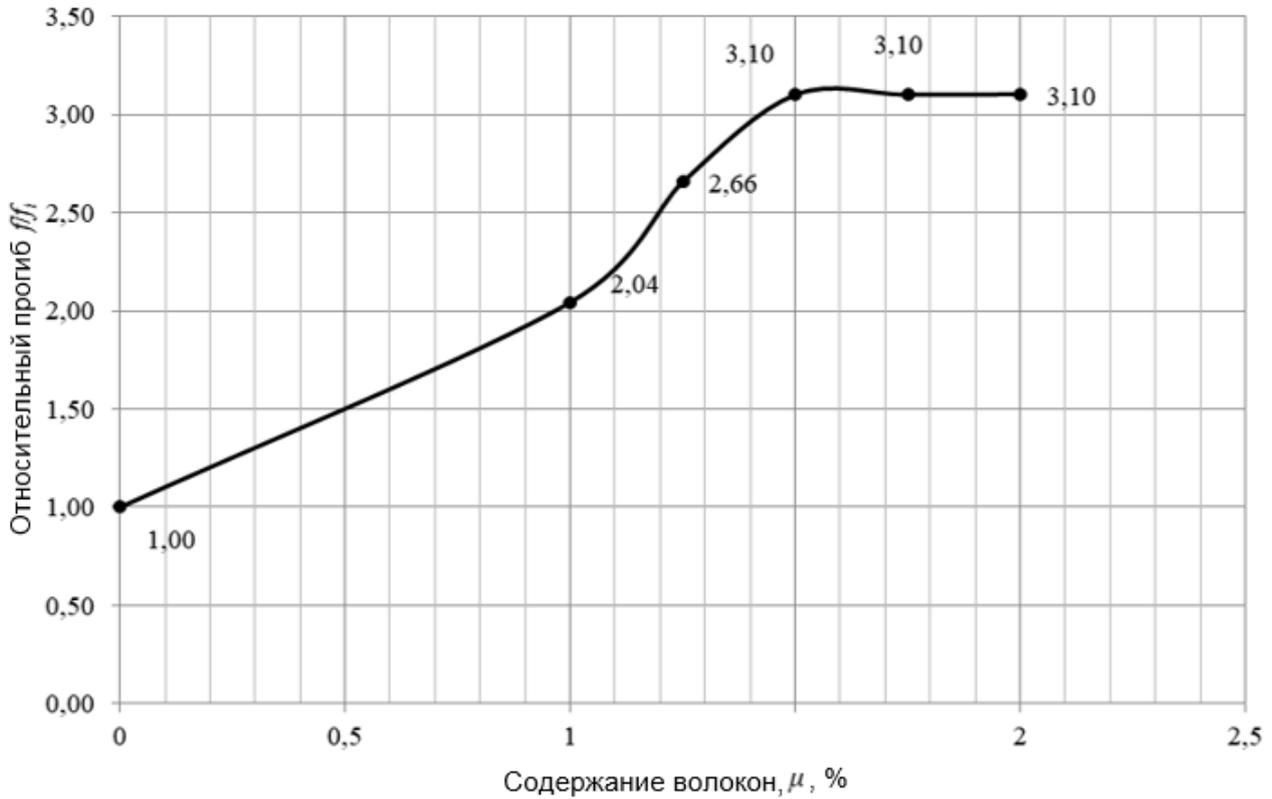


Рис. 3. Прогиб при разрушении
Fig. 3. Deflection at failure

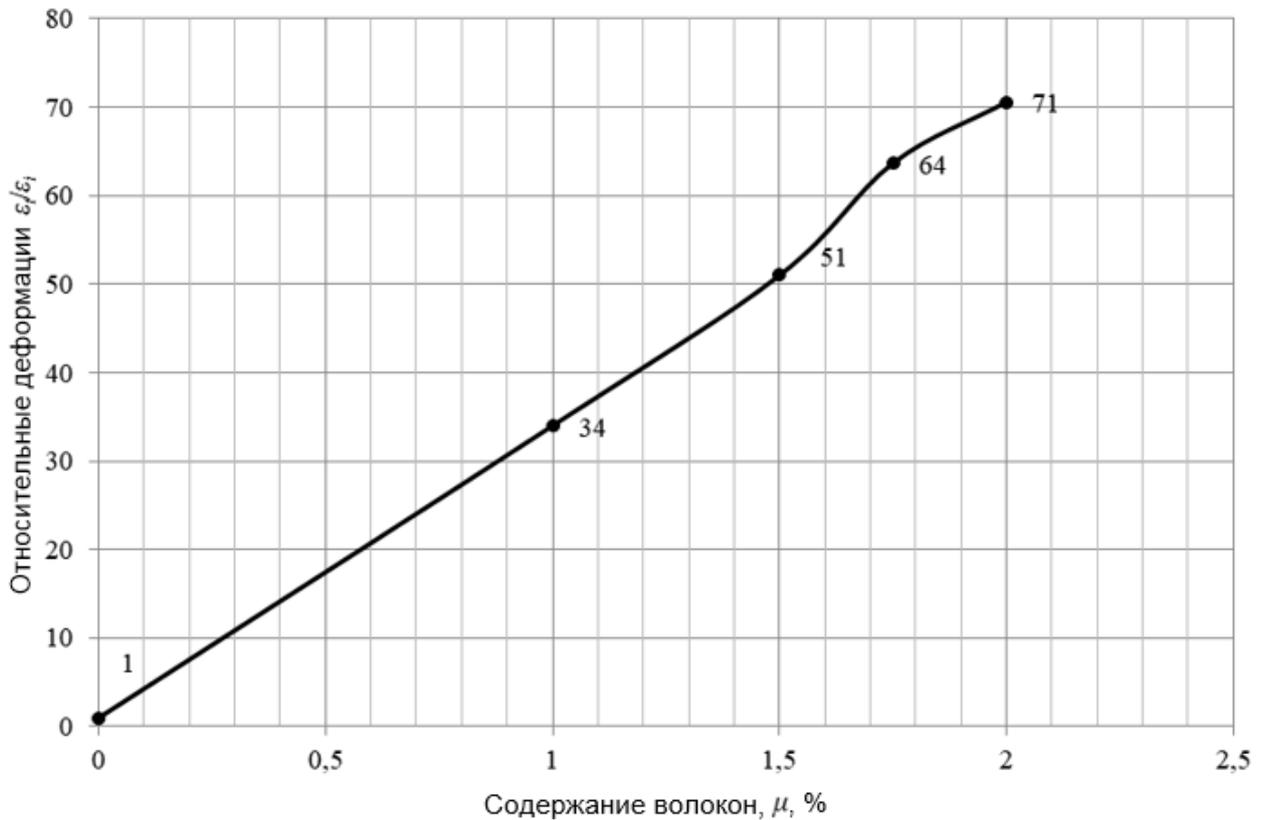


Рис. 4. Деформации растяжения при разрушении
Fig. 4. Tensile deformations at failure

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Армирование бетона фибрами из полипропиленовых волокон в объемах, обеспечи-

вающих условия совместности их деформирования, способствует увеличению его растяжимости и изгибной жесткости.

2. Чрезмерное фибронасыщение структуры бетона нецелесообразно из-за превалирующего (по сравнению с увеличением жесткости) снижения прочности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография. М.: Ассоциации строительных вузов, 2011. 642 с.
2. Korneyeva I.G. Constructive Properties of Concrete Being Finely Reinforced with Polypropylene Fibers // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 212. P. 1–5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821201007>.
3. Romualdi J.R., Mandel J.A. Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Lengths of Wire Reinforcement // *ACI Journal*. 1964. Vol. 61. Iss. 6. P. 657–671. <https://doi.org/10.14359/7801>.
4. Моргун Т.В. Анализ закономерностей формирования оптимальных структур дисперсно-армированных бетонов // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2003. № 8. С. 58–61. EDN: PJJOUR.
5. Peled A., Cyr M.F., Shah S.P. High Content of Fly Ash (Class F) in Extruded Cementitious Composites // *ACI Materials Journal*. 2000. Vol. 97. Iss. 5. P. 509–517.
6. Johnston C.D. Properties of Steel Fibre Reinforced Mortar and Concrete // *Concrete International 1980. Proceedings of the Symposium on Fibrous Concrete (London, 16 April, 1980)*. London, 1980. P. 29–47.
7. Ahmed T.A.H., Daoud O.M.A. Influence of Polypropylene Fibres on Concrete Properties // *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 2016. Vol. 13. Iss. 5. P. 9–20. <http://doi.org/10.9790/1684-1305060920>.
8. Rizzuti L., Bencardino F. Effects of Fibre Volume Fraction On the Compressive and Flexural Experimental Behaviour of SFRC // *Contemporary Engineering Sciences*. 2014. Vol. 7. Iss. 8. P. 379–390. <https://doi.org/10.12988/ces.2014.4218>.
9. Dharan D.S., Lal A. Study The Effect of Polypropylene Fiber in Concrete // *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2016. Vol. 3. Iss. 6. P. 616–619.
10. Sukontasukkul P. Toughness Evaluation of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams Under Bending // *Thammasat International Journal of Science and Technology*. 2004. Vol. 9. Iss. 3. P. 35–41.
11. Amin A., Foster S.J., Muttoni A. Derivation of The σ -w Relationship for SFRC from Prism Bending Tests // *Structural Concrete*. 2015. Vol. 16. Iss. 1. P. 93–105. <https://doi.org/10.1002/suco.201400018>.
12. Jin-Ha Hwang, Deuck Hang Lee, Hyunjin Ju, Kang Su Kim, Soo-Yeon Seo, Joo-Won Kang Shear Behavior Models of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams Modifying Softened Truss Model Approaches // *Materials*. 2013. Vol. 6. Iss. 10. P. 4847–4867. <https://doi.org/10.3390/ma6104847>.
13. Korneyeva I.G. Extensibility of Fibre Reinforced Concrete // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 667. P. 1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012044>.
14. Zollo R.F. Collated Fibrillated Polypropylene Fibers in FRC. Detroit: American Concrete Institute, 1984. P. 397–409.
15. Guirguis S., Potter R.J. Polypropylene Fibres in Concrete. Australia: Technical Report TR/F90 Cement and Concrete Association of Australia, 1985. 21 p.

REFERENCES

1. Rabinovich F.N. *Composites Based On Dispersion-Reinforced Concrete. Theory and Design Issues, Technology, Constructions: Monograph*. Moscow: Association of Construction Universities, 2011. 642 p. (In Russ.).
2. Korneyeva I.G. Constructive Properties of Concrete Being Finely Reinforced with Polypropylene Fibers. *MATEC Web of Conferences*. 2018;212:1-5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821201007>.
3. Romualdi J.R., Mandel J.A. Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Lengths of Wire Reinforcement. *ACI Journal*. 1964;61(6):657-671. <https://doi.org/10.14359/7801>.
4. Morgun T.V. Analysis of The Patterns of Formation of Optimal Structures of Dispersion-Reinforced Concrete. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2003;8:58-61. (In Russ.). EDN: PJJOUR.
5. Peled A., Cyr M.F., Shah S.P. High Content of Fly Ash (Class F) in Extruded Cementitious Composites. *ACI Materials Journal*. 2000;97(5):509-517.
6. Johnston C.D. Properties of Steel Fibre Reinforced Mortar and Concrete. In: *Concrete International 1980. Proceedings of the Symposium on Fibrous Concrete*. 16 April 1980, London. London; 1980. p. 29–47.

7. Ahmed T.A.H., Daoud O.M.A. Influence of Polypropylene Fibres on Concrete Properties. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 2016;13(5):9-20. <http://doi.org/10.9790/1684-1305060920>.
8. Rizzuti L., Bencardino F. Effects of Fibre Volume Fraction On the Compressive and Flexural Experimental Behaviour of SFRC. *Contemporary Engineering Sciences*. 2014;7(8):379-390. <https://doi.org/10.12988/ces.2014.4218>.
9. Dharan D.S., Lal A. Study The Effect of Polypropylene Fiber in Concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2016;3(6):616-619.
10. Sukontasukkul P. Toughness Evaluation of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams Under Bending. *Thammasat International Journal of Science and Technology*. 2004;9(3):35-41.
11. Amin A., Foster S.J., Muttoni A. Derivation of The σ -w Relationship for SFRC from Prism Bending Tests. *Structural Concrete*. 2015;16(1):93-105. <https://doi.org/10.1002/suco.201400018>.
12. Jin-Ha Hwang, Deuck Hang Lee, Hyunjin Ju, Kang Su Kim, Soo-Yeon Seo, Joo-Won Kang Shear Behavior Models of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams Modifying Softened Truss Model Approaches. *Materials*. 2013;6(10):4847-4867. <https://doi.org/10.3390/ma6104847>.
13. Korneeva I.G. Extensibility of Fibre Reinforced Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;667:1-8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012044>.
14. Zollo R.F. *Collated Fibrillated Polypropylene Fibers in FRC*. Detroit: American Concrete Institute, 1984. p. 397-409.
15. Guirguis S., Potter R.J. *Polypropylene Fibres in Concrete*. Australia: Technical Report TR/F90 Cement and Concrete Association of Australia, 1985. 21 p.

Информация об авторах

Information about the authors

Корнеева Инна Геннадьевна,

к.т.н., доцент кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kornee-inna@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6130-0195>
Author ID: 1246486

Inna G. Korneeva,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Building Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: kornee-inna@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6130-0195>
Author ID: 1246486

Емельянова Наталья Александровна,

старший преподаватель кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: ena6767@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7692-4424>
Author ID: 1292257

Natalia A. Emelyanova,

Senior teacher of the Department
of Building Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉ e-mail: ena6767@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7692-4424>
Author ID: 1292257

Вклад авторов

Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

The authors declare no conflict of interests.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Information about the article

Статья поступила в редакцию 04.03.2025.
Одобрена после рецензирования 19.03.2025.
Принята к публикации 21.03.2025.

The article was submitted 04.03.2025.
Approved after reviewing 19.03.2025.
Accepted for publication 21.03.2025.