

Ю.В. ПУХАРЕНКО^{1,2}, Д.А. ПАНТЕЛЕЕВ^{1,2}, В.И. МОРОЗОВ¹, М.И. ЖАВОРОНКОВ¹

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия

²Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры
и строительных наук, г. Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

Аннотация. В настоящее время все большее развитие в строительстве получают композиционные материалы, в том числе, использование дисперсно армированного бетона, что обусловлено его значительно улучшенными по сравнению с традиционным бетоном и железобетоном физико-механическими и эксплуатационными характеристиками.

В статье представлены результаты влияния крупного заполнителя в составе композита на энергетические и силовые характеристики трещиностойкости фибробетона армированного стальной анкерной фиброй. Исследован процесс деформирования и механизм разрушения сталефибробетона.

Для этого в соответствии с положениями ГОСТ 29167 «Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении» были испытаны сталефибробетонные образцы-балки с контролем прикладываемой нагрузки и вызываемого ею прогиба. По полученным данным построены диаграммы зависимости нагрузки от прогиба, после их обработки и дополнительных построений были определены энергозатраты на статическое разрушение, прочность на растяжение при изгибе и коэффициент интенсивности напряжений.

Установлено, что значение условных удельных эффективных энергозатрат на статическое разрушение и прочность на растяжение при изгибе фибробетонных образцов с матрицей из тяжелого бетона с крупным заполнителем оказались ниже, чем у фибробетонных образцов с матрицей из мелкозернистого бетона, что объясняется меньшим сцеплением стальной анкерной фибры с матрицей, и соответствующим снижением эффективности их работы.

Ключевые слова: сталефибробетон, дисперсно армированный бетон, композит, стальная фибра, трещиностойкость, условный критический коэффициент интенсивности напряжений, прочность.

Yu.V. PUKHARENKO^{1,2}, D.A. PANTELEEV^{1,2}, V.I. MOROZOV¹, M.I. ZHAVORONKOV¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia

²Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia

INFLUENCE OF LARGE AGGREGATES ON THE ENERGY AND POWER CHARACTERISTICS OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

Abstract. At present, composite materials are gaining more and more development in construction, including the use of dispersed reinforced concrete, which is due to its significantly improved physical, mechanical and operational characteristics compared to traditional concrete and reinforced concrete.

The article presents the results of the influence of coarse filler in the composition of the composite on the energy and power characteristics of the crack resistance of fiber-reinforced concrete

© Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Морозов В.И., Жаворонков М.И., 2022

reinforced with steel anchor fibers. The process of deformation and the mechanism of destruction of steel fiber reinforced concrete have been studied.

To do this, in accordance with the provisions of GOST 29167 "Methods for determining the characteristics of crack resistance (fracture toughness) under static loading", steel-fiber-reinforced concrete sample beams were tested with control of the applied load and the deflection caused by it. Based on the data obtained, diagrams of the dependence of the load on the deflection were constructed, after their processing and additional constructions, the energy costs for static destruction, tensile strength in bending, and the stress intensity factor were determined.

It has been established that the value of the conditional specific effective energy consumption for static failure and tensile strength in bending of fiber-reinforced concrete samples with a matrix of heavy concrete with coarse aggregate turned out to be lower than that of fiber-reinforced concrete samples with a matrix of fine-grained concrete, which is explained by the lower adhesion of the steel anchor fiber to the matrix, and a corresponding decrease in their efficiency.

Keywords: *steel fiber reinforced concrete, dispersed reinforced concrete, composite, steel fiber, crack resistance, conditional critical stress intensity factor, strength.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миненко Е.Ю., Грачева Ю.В., Шлапакова О.И. Оценка энергетических характеристик дисперсно-армированного бетона в дорожном строительстве // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 32 (51). С. 66–70.
2. Степанов М.В., Моисеенко Г.А. Диаграммы деформирования мелкозернистого высокопрочного бетона и высокопрочного сталефибробетона при сжатии // Строительство и реконструкция. 2019. № 3 (83). С. 11–21.
3. Кострикин М.П. Эффективность дисперсного полиармирования бетона низко модульными волокнами // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2 (85). С. 128–133.
4. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Ерофеев В.Т., Ерофеева И.В., Тараканов О.В., Кондращенко В.И., Кесарийский А.Г. Исследование трещиностойкости бетонов нового поколения // Строительные материалы. 2019. № 10. С. 3–11.
5. Давиденко М.А., Давиденко А.И., Матвеев В.П., Мирошникова А.А. Определение предельных деформаций сталефибробетона на основе энергетических зависимостей диаграмм деформирования бетона // Научный вестник государственного образовательного учреждения Луганской Народной Республики «Луганский национальный аграрный университет». 2020. № 8–3. С. 214–219.
6. Колчунов В.И., Кузнецова К.Ю., Федоров С.С. Модель критерия трещиностойкости и прочности плосконапряженных конструкций из высокопрочного фибробетона и фиброжелезобетона // Строительство и реконструкция. 2021. № 3 (95). С. 15–26.
7. Zertsalov M.G., Khoteev E.A. Calculating the crack resistance of fiber-reinforced concrete lining of free-flow water tunnels using linear fracture mechanics // Power Technology and Engineering. 2019. V.53. № 4. P. 440–444.
8. Zhang W., Lee D., Lee C., Zhang X., Ikechukwu O. Bond performance of sffc considering random distributions of aggregates and steel fibers // Construction and Building Materials. 2021. V. 291. P. 123304.
9. Shen J., Zhang Y. Fiber-reinforced mechanism and mechanical performance of composite fibers reinforced concrete // Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition. 2020. V. 35. № 1. P. 121–130.
10. Storm J., Kaliske M., Pise M., Brands D., Schröder J. A comparative study of micro-mechanical models for fiber pullout behavior of reinforced high performance concrete // Engineering Fracture Mechanics. 2021. V. 243. P.107506.
11. Enfedaque A., Alberti M.G., Gálvez J.C., Cabanas P. Numerical simulation of the fracture behavior of high-performance fiber-reinforced concrete by using a cohesive crack-based inverse analysis // Materials. 2022. V. 15. № 1.
12. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Совершенствование методов определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости фибробетона // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 3. С. 301–310.
13. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Методы определения характеристик трещиностойкости фибробетона // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развитию архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2018 году: Сб. науч. тр. РААСН. Т. 2. М.: Издательство АСВ, 2019. С. 448–457.
14. Жаворонков М.И. Методика определения энергетических и силовых характеристик разрушения фибробетона // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 6 (47). С. 155–160.
15. Жаворонков М.И., Власова А.В., Лукина Е.Н., Шакаров А.Р. Определение характеристик трещиностойкости фибробетона, армированного стеклянной, базальтовой и углеродной фиброй // Молодой ученый. 2021. № 48 (390). С. 39–47.
16. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Диаграммы деформирования цементных композитов, армированных стальной проволоочной фиброй // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 2. С. 143–147.

17. Пухаренко Ю.В., Морозов В.И., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Диаграммы разрушения цементных композитов, армированных аморфнометаллической фиброй // Эксперт: теория и практика. 2020. №3(6). С. 50–55.

REFERENCES

1. Minenko E.Yu., Gracheva Yu.V., Shlapakova O.I. Otsenka `energeticheskikh harakteristik dispersno-armirovannogo betona v dorozhnom stroitel'stve [Evaluation of the energy characteristics of dispersed-reinforced concrete in road construction] // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2013. № 32 (51). Pp. 66–70. (rus)
2. Stepanov M.V., Moiseenko G.A. Diagrammy deformirovaniya melkozernistogo vysokoprochnogo betona i vysokoprochnogo stalefibrobetona pri szhatii [Diagrams of deformation of fine-grained high-strength concrete and high-strength steel fiber concrete under compression] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2019. № 3 (83). Pp. 11–21. (rus)
3. Kostrikin M.P. Effektivnost' dispersnogo poliarmirovaniya betona nizkomodul'nymi voloknami [Efficiency of dispersed polyreinforcement of concrete with low-modulus fibers] // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2021. № 2 (85). Pp. 128–133. (rus)
4. Travush V.I., Karpenko N.I., Erofeev V.T., Erofeeva I.V., Tarakanov O.V., Kondraschenko V.I., Kesarijskij A.G. Issledovanie treschinostojkosti betonov novogo pokolenija [Investigation of crack resistance of new generation concretes] // Stroitel'nye materialy. 2019. № 10. Pp. 3–11. (rus)
5. Davidenko M.A., Davidenko A.I., Matveev V.P., Miroshnikova A.A. Opredelenie predel'nyh deformatsij stalefibrobetona na osnove `energeticheskikh zavisimostej diagramm deformirovaniya betona [Determination of ultimate deformations of steel fiber concrete based on the dependences of concrete deformation diagrams] // Nauchnyj vestnik gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija Luganskoj Narodnoj Respubliki «Luganskij natsional'nyj agrarnyj universitet». 2020. № 8–3. Pp. 214–219. (rus)
6. Kolchunov V.I., Kuznetsova K.Ju., Fedorov S.S. Model' kriterija treschinostojkosti i prochnosti ploskonaprjazhennykh konstruksij iz vysokoprochnogo fibrobetona i fibrozhelezobetona [Model of the criterion of crack resistance and strength of plane-stressed structures from high-strength fiber-reinforced concrete and fiber-reinforced concrete] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2021. № 3 (95). Pp. 15–26. (rus)
7. Zertsalov M.G., Khoteev E.A. Calculating the crack resistance of fiber-reinforced concrete lining of free-flow water tunnels using linear fracture mechanics // Power Technology and Engineering. 2019. V. 53. № 4. P. 440–444.
8. Zhang W., Lee D., Lee C., Zhang X., Ikechukwu O. Bond performance of sfrc considering random distributions of aggregates and steel fibers // Construction and Building Materials. 2021. V. 291. P. 123304.
9. Shen J., Zhang Y. Fiber-reinforced mechanism and mechanical performance of composite fibers reinforced concrete // Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition. 2020. V. 35. № 1. P. 121–130.
10. Storm J., Kaliske M., Pise M., Brands D., Schröder J. A comparative study of micro-mechanical models for fiber pullout behavior of reinforced high performance concrete // Engineering Fracture Mechanics. 2021. V. 243. P.107506.
11. Enfedaque A., Alberti M.G., Gálvez J.C., Cabanas P. Numerical simulation of the fracture behavior of high-performance fiber-reinforced concrete by using a cohesive crack-based inverse analysis // Materials. 2022. V. 15. №1.
12. Puharenko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Sovershenstvovanie metodov opredelenija silovykh i `energeticheskikh harakteristik treschinostojkosti fibrobetona [Improvement of methods for determining the power and energy characteristics of fiber concrete crack resistance] // Vestnik MGSU. 2019. T. 14. Vyp. 3. Pp. 301–310. (rus)
13. Puharenko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Metody opredelenija harakteristik treschinostojkosti fibrobetona [Methods for determining the characteristics of crack resistance of fiber-reinforced concrete] // Fundamental'nye, poiskovyje i prikladnye issledovanija RAASN po nauchnomu obespecheniju razvitiju arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli RF v 2018 godu: Sb. nauch. tr. RAASN. T. 2. M.: Izdatel'stvo ASV, 2019. Pp. 448–457. (rus)
14. Zhavoronkov M.I. Metodika opredelenija `energeticheskikh i silovykh harakteristik razrusheniya fibrobetona [Method for determining the energy and power characteristics of the destruction of fiber-reinforced concrete] // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2014. № 6 (47). Pp. 155–160. (rus)
15. Zhavoronkov M.I., Vlasova A.V., Lukina E.N., Shkarov A.R. Opredelenie harakteristik treschinostojkosti fibrobetona, armirovannogo stekljannoj, bazal'tovoj i uglerodnoj fibroj [Determination of characteristics of crack resistance of fiber-reinforced concrete reinforced with glass, basalt and carbon fiber] // Molodoy uchenyj. 2021. № 48 (390). Pp. 39–47. (rus)
16. Puharenko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Diagrammy deformirovaniya tsementnykh kompozitov, armirovannykh stal'noj provolochnoj fibroj [Diagrams of deformation of cement composites reinforced with steel wire fiber] // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. 2018. № 2. Pp. 143–147. (rus)
17. Puharenko Yu.V. Diagrammy razrusheniya tsementnykh kompozitov, armirovannykh amorfno-metallicheskoj fibroj [Fracture diagrams of cement composites reinforced with amorphous metal fiber] / Yu.V. Puharenko, V.I. Morozov, D.A. Panteleev, M.I. Zhavoronkov // `Ekspert: teorija i praktika. – 2020. № 3 (6). – Pp. 50–55. (rus)

Информация об авторах:

Пухаренко Юрий Владимирович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии строительных материалов и метрологии».
Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия,
главный научный сотрудник.
E-mail: tsik54@yandex.ru

Пантелеев Дмитрий Андреевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии».
Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия,
старший научный сотрудник.
E-mail: dm-pant@yandex.ru

Морозов Валерий Иванович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Железобетонных и каменных конструкций».
E-mail: gbk@spbgasu.ru

Жаворонков Михаил Ильич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии».
E-mail: sith07@list.ru

Information about authors:

Pukharenko Yury V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia,
doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Technology of Building Materials and Metrology.
Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia,
chief researcher.
E-mail: tsik54@yandex.ru

Panteleev Dmitrii A.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies of Building Materials and Metrology.
Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia,
Senior Researcher.
E-mail: dm-pant@yandex.ru

Morozov Valerii I.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: gbk@spbgasu.ru

Zhavoronkov Mikhail I.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies of Building Materials and Metrology.
E-mail: sith07@list.ru