

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

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.

Введение

Анализ технической литературы показывает, что использование дисперсного армирования позволяет сокращать объемы арматурных работ, а также расширять технологические возможности получения изделий и конструкций. Армирование бетона различными волокнами оказывает существенное влияние на физико-механические и деформативные характеристики получаемых фибробетонов [1–6].

Важной характеристикой дисперсно армированных бетонов является их трещиностойкость [7–11]. Влияние дисперсного армирования на трещиностойкость очевидна, поскольку образование и развитие трещин в неармированном тяжелом и мелкозернистом бетоне ограничивается только зернами заполнителя, тогда как в фибробетоне – хаотично расположенными волокнами, образующими при их достаточном количестве фиброцементный каркас. Следует отметить, что до сих пор исследования данного вопроса проводились, как правило, применительно к цементно-песчаным бетонам [12–15].

Целью данной работы являлось определение влияния крупного заполнителя в составе композита на энергетические и силовые характеристики трещиностойкости фибробетона армированного стальной анкерной фиброй.

Метод

При проведении экспериментальных исследований был использован портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства *Heidelberg cement* (АО «Сланцевский цементный завод “Цесла”»), кварцевый песок с модулем крупности $M_k = 2,3$ и гранитный щебень фракции 5–10 мм. Для дисперсного армирования использовалась стальная анкерная фибра (рисунок 1) длиной $l = 30$ мм и диаметром $d = 0,3$ мм.



Рисунок 1 – Стальная анкерная фибра

Для оценки степени влияния крупного заполнителя на энергетические и силовые характеристики сталефибробетона были изготовлены образцы 2-х составов (таблица 1), имеющие одинаковый объем цементного теста ($0,43 \text{ м}^3/\text{м}^3$). Предел армирования составлял 1,0 % по объему, шаг армирования – 0,2 об. %.

Таблица 1 – Составы бетонных матриц

Сырьевые материалы	Расход материалов, кг/м ³	
	состав 1	состав 2
Портландцемент	495	580
Песок кварцевый	1485	590
Щебень гранитный	–	900
Вода	270	240

Для определения характеристик трещиностойкости фибробетонных образцов в СПбГАСУ на кафедре ТСМиМ была сконструирована установка (рисунок 2).

Методика испытаний силовых и энергетических характеристик трещиностойкости заключается в контроле прогибов бетонных и фибробетонных образцов и нагрузок, вызывающих эти прогибы, при проведении испытаний прочности на растяжение при изгибе. После проведения испытания строится диаграмма зависимости прогибов от прикладываемых нагрузок, и далее, по полученной диаграмме, расчетным путем определяются характеристики трещиностойкости, подробнее процесс проведения испытаний описывался в предыдущих научных статьях [16, 17].



Рисунок 2 – Установка для проведения испытаний по определению характеристик трещиностойкости бетонных и фибробетонных образцов

Результаты и обсуждение

Испытания производились на бетонных и фибробетонных образцах-балках размером 7х7х28 см в соответствии с требованиями ГОСТ 29167 «Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении».

Полученные результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты силовых и энергетических характеристик трещиностойкости

Силовые и энергетические характеристики трещиностойкости	Состав 1					
	объемное содержание волокон, μ , %					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Условные удельные эффективные энергозатраты на статическое разрушение, G^*_f , Дж/м ²	60	8304	14346	17966	23914	25011
Условный критический коэффициент интенсивности напряжений, K^*_c , МПа·м ^{0,5}	0,64	1,17	1,23	1,28	1,27	1,34
Прочность на растяжение при изгибе, $R_{изг}$, МПа	4,3	6,7	12,1	15,9	21,5	24,5
Силовые и энергетические характеристики трещиностойкости	Состав 2					
	объемное содержание волокон, μ , %					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Условные удельные эффективные энергозатраты на статическое разрушение, G^*_f , Дж/м ²	104	6043	11176	17192	20396	24431
Условный критический коэффициент интенсивности напряжений, K^*_c , МПа·м ^{0,5}	0,92	1,24	1,35	1,44	1,47	1,63
Прочность на растяжение при изгибе, $R_{изг}$, МПа	5,3	7,2	9,9	15,6	19,1	19,4

По представленным в таблице 2 данным видно, что показатель условных удельных эффективных энергозатрат на статическое разрушение (G^*_f) у неармированных образцов наименьший из всех полученных результатов. Это объясняется тем, что развитие трещины, проходящей через рабочее сечение образца, ничего не сдерживает. При этом численное значение указанной характеристики у мелкозернистого бетона (состав 1) меньше значения этой же величины, полученной при испытании неармированного тяжелого бетона с крупным заполнителем (состав 2), что свидетельствует о том, что щебень некоторым образом ограничивает развитие трещины.

На рисунке 3 представлены диаграммы зависимостей прогибов от прилагаемых нагрузок, построенные в процессе проведения испытаний образцов из неармированного мелкозернистого бетона и бетона с крупным заполнителем.

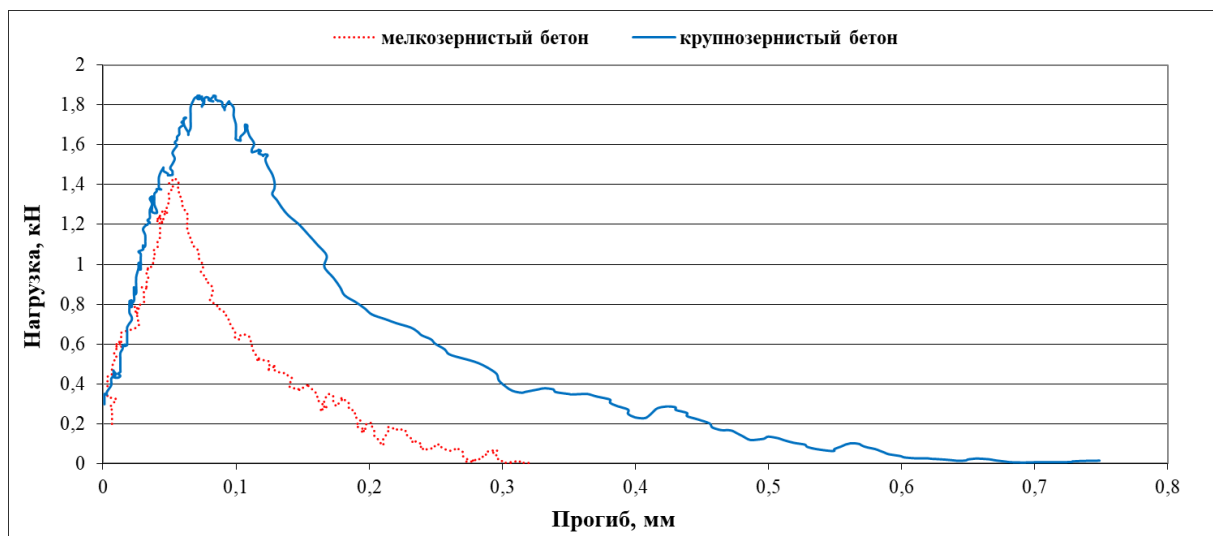


Рисунок 3 – Диаграммы деформирования бетонных образцов

Численное значение условных удельных эффективных энергозатрат на статическое разрушение (G^*_f) определяется по площади под диаграммой деформирования после возникновения магистральной трещины. По рисунку 3 видно, что диаграмма деформирования тяжелого бетона (состав 2) располагается выше диаграммы деформирования мелкозернистого бетона (состав 1), то есть площади фигур, описанных этими диаграммами, неравны, отсюда и различие условных удельных эффективных энергозатрат на статическое разрушение (G^*_f).

При использовании дисперсного армирования механизмы разрушения полученных композитов меняются. Введенная в состав бетона фибра, равномерно распределенная по всему

объему, будет пересекать рабочее сечение и, в том числе, развивающуюся трещину. В ходе раскрытия трещины, пересекающие ее волокна, будут удерживать образец от деления на части.

На рисунке 4 показаны диаграммы деформирования сталефибробетонных образцов, изготовленных на основе мелкозернистого бетона, а на рисунке 5 – крупнозернистого. По представленным диаграммам видно, что прогибы фибробетонных образцов достигают 27 мм к концу испытаний. Это объясняется описанным выше эффектом, что волокна, пересекающие трещину, и заанкеренные по обеим ее сторонам, ограничивают развитие этой трещины и деление образца на части, вытягиваясь, при этом, из матрицы. Данный эффект можно численно охарактеризовать условными удельными эффективными энергозатратами на статическое разрушение (G^*_f). По полученным результатам видно, что эта характеристика у фибробетонных образцов оказывается на 2–3 порядка выше, чем у неармированных образцов. Также значения условных удельных эффективных энергозатрат на статическое разрушение (G^*_f) крупнозернистого фибробетона несколько ниже, чем у мелкозернистого фибробетона, что объясняется негативным влиянием крупного заполнителя на однородность распределения волокон в объеме бетона и соответствующим снижением эффективности их работы. Так как показатель (G^*_f) характеризует работу композита после образования магистральной трещины, то представляется возможным косвенно судить о сцеплении фибры с матрицей.

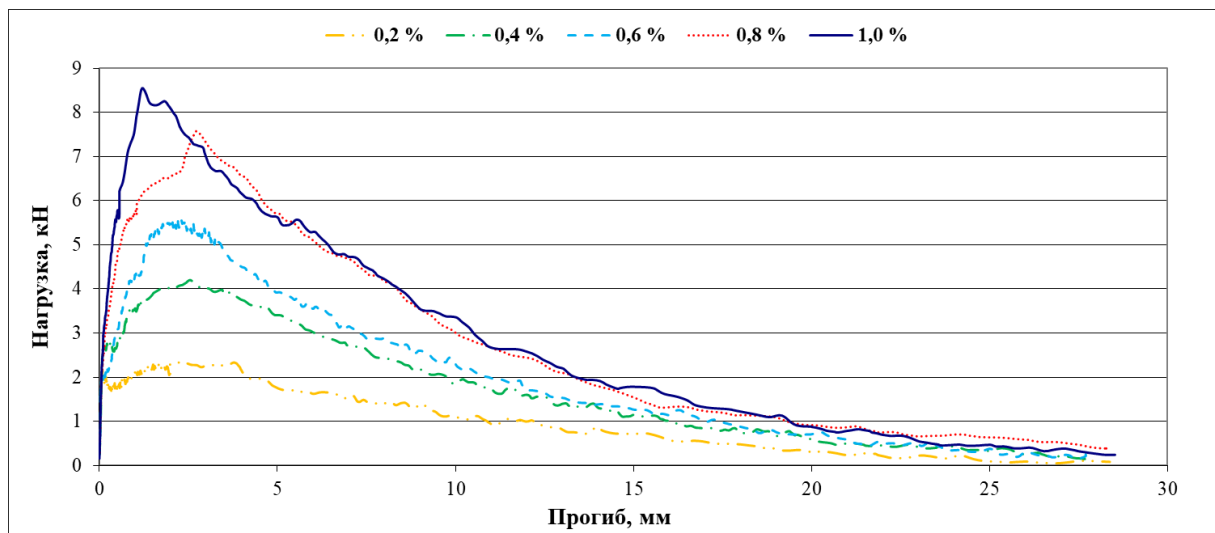


Рисунок 4 – Диаграммы деформирования сталефибробетонных образцов, изготовленных на основе мелкозернистого бетона

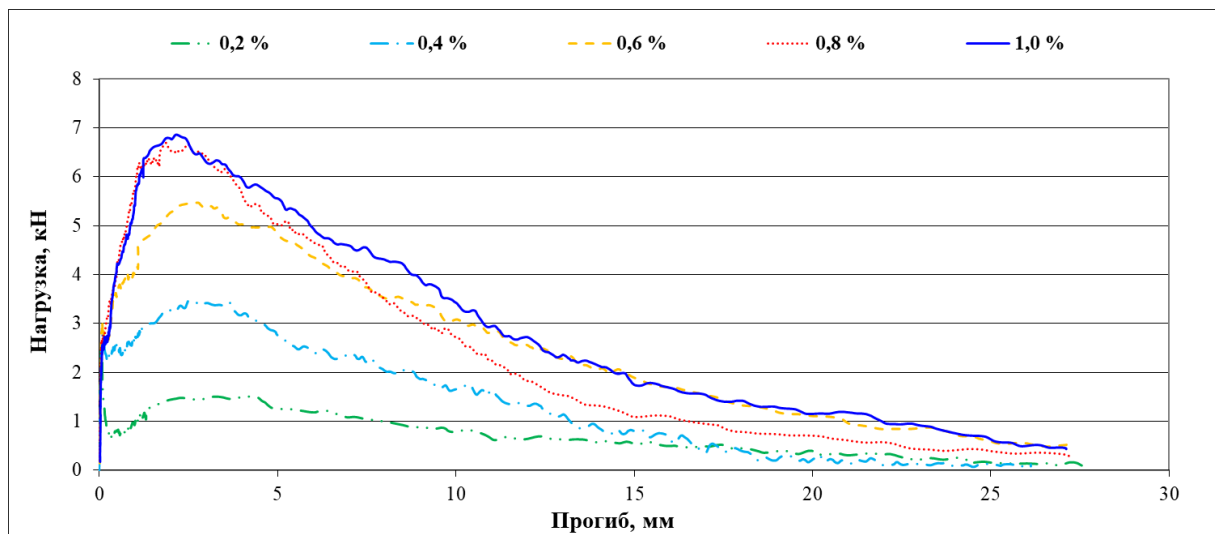


Рисунок 5 – Диаграммы деформирования сталефибробетонных образцов, изготовленных на основе крупнозернистого бетона

Кроме удельных эффективных энергозатрат на статическое разрушение в таблице 2 приведены численные значения прочности на растяжение при изгибе ($R_{изг}$), а также значения условного критического коэффициента интенсивности напряжений (K^*_c), который характеризует напряженно-деформированное состояние вблизи вершины трещины и позволяет оценить способность материала сопротивляться ее развитию.

По полученным данным видно, что условный критический коэффициент интенсивности напряжений (K^*_c) повышается при введении фибры, и продолжает повышаться при увеличении ее объемного содержания. При этом условный критический коэффициент интенсивности напряжений (K^*_c) фибробетонных образцов с матрицей из тяжелого бетона с крупным заполнителем оказывается несколько более высоким, чем у фибробетонных образцов с матрицей из мелкозернистого бетона, что также показывает влияние крупного заполнителя на механизм разрушения.

На рисунке 6 приведена диаграмма деформирования фибробетонных образцов, армированных стальной фиброй в количестве 0,2 % и 0,4 % по объему. В верхнем правом углу рисунка 6, приведены начала диаграмм деформирования образцов. В верхних частях представленных диаграмм видны два условных пика: первый пик, приблизительно, соответствует прогибу образцов 0,03–0,04 мм, второй пик – 2,7–3,0 мм.

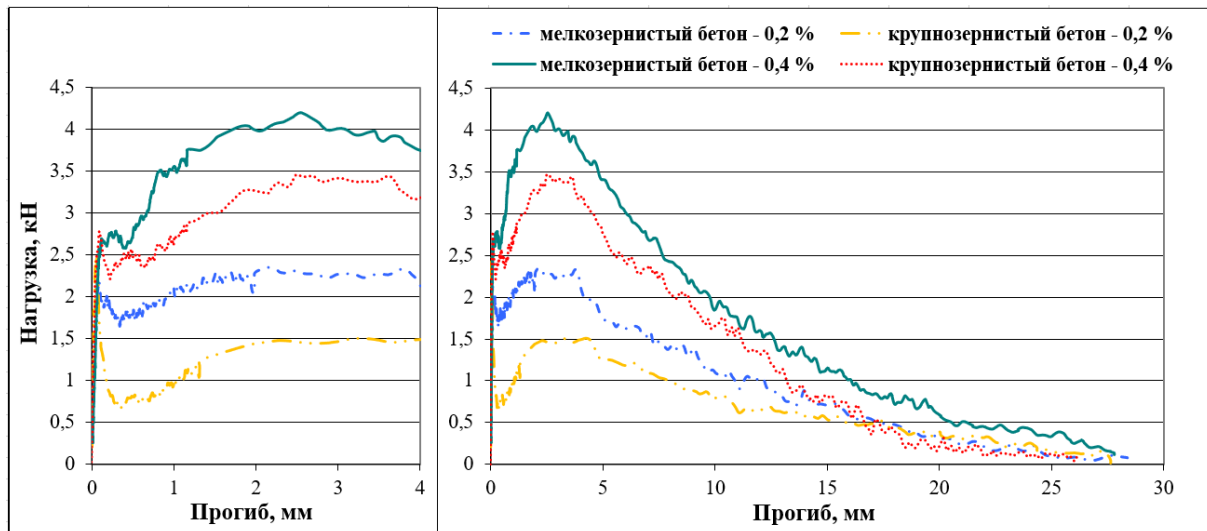


Рисунок 6 – Диаграммы деформирования сталефибробетонных образцов

Образование двух пиков происходит только при сравнительно небольших содержаниях волокон, в рамках проведенного исследования – 0,4 % по объему и меньше. Это объясняется тем, что стальные анкерные волокна распределены по объему фибробетона и располагаются под разными углами. В том числе, под разными углами к поверхностям образующихся трещин. Совершенно очевидно, что лишь малая часть волокон располагается под прямым углом к этим поверхностям. Как было сказано выше, использованные волокна не разрываются при разрушении фибробетона, а вытягиваются из матрицы. При этом, сила, вытягивающая волокно из матрицы, направлена по нормали к поверхности трещины. Таким образом, направление расположения большей части волокон не совпадает с направлением вытягивающей силы. Указанное несовпадение приводит к изгибанию фибры в местах потери ее контакта с матрицей. В этих местах происходит выкрашивание матрицы, чем и объясняется временное снижение нагрузки между двумя условными пиками диаграмм разрушения. Выкрашивание матрицы происходит и при большем расходе волокон, однако на диаграммах деформирования это, так очевидно, не прослеживается.

Выводы

Исследован процесс деформирования и механизм разрушения бетона, армированного стальной анкерной фиброй, доказана связь состава бетонной матрицы на сцепление стальной

анкерной фибры. Так значение условных удельных эффективных энергозатрат на статическое разрушение (G^*_f) и прочность на растяжение при изгибе ($R_{изг}$) 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.

Благодарности

Статья публикуется по результатам проведения научно-исследовательской работы, проводимой в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ научно-педагогическими работниками СПбГАСУ (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет») в 2022 году.

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 sfc 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 pokoleniya [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 energy dependences of concrete deformation diagrams] // Nauchnyj vestnik gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya 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' kriteriya 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 opredeleniya 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 opredeleniya harakteristik treschinostojkosti fibrobetona [Methods for determining the characteristics of crack resistance of fiber-reinforced concrete] // Fundamental'nye, poiskovyie i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniju razvitiyu 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 opredeleniya `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., Shakarov 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] // Molodoj 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: teoriya 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:

Pukharensko Yuri 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