



А к ц и о н е р н о е    О б щ е с т в о  
**«Институт Гипростроймост – Санкт-Петербург»**

ул. Яблочкова, д. 7, кор. 2, лит. А, Санкт-Петербург, Россия, 197198  
тел.: (812) 233 41 60; факс: (812) 233 96 66; e-mail: office@gpsm.ru; www.gpsm.ru

**УТВЕРЖДАЮ**

**Директор по проектированию**

**АО « Институт**

**Гипростроймост-Санкт-Петербург»**

**Скорик Олег Георгиевич**



**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**по применению синтетического микроволокна Fibrofor High Grade  
для дисперсного армирования тяжелого бетона**



А к ц и о н е р н о е    О б щ е с т в о  
«Институт Гипростроймост – Санкт-Петербург»

ул. Яблочкова, д. 7, кор. 2, лит. А, Санкт-Петербург, Россия, 197198  
тел.: (812) 233 41 60; факс: (812) 233 96 66; e-mail: office@gpsm.ru; www.gpsm.ru

Санкт-Петербург 2016

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

### Руководитель работы

Главный инженер проекта АО « Институт

Гипростроймост-Санкт-Петербург»

Тихонов Вячеслав Петрович

### Ответственные исполнители

К.т.н., доцент ФГБОУ ВО ПГУПС

Смирнова Ольга Михайловна

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **по использованию синтетического микроволокна Fibrofor High Grade для дисперсного армирования тяжелого бетона**

#### **1 Цель работы**

Изучение влияния синтетического микроволокна Fibrofor High Grade на свойства тяжелого бетона.

#### **2 Общие сведения**

Дисперсное армирование бетона позволяет частично компенсировать недостатки бетона как хрупкого материала: низкие значения предела прочности при растяжении, хрупкость разрушения [1 – 3].

Свойства дисперсно-армированного бетона значительно зависят от свойств армирующих волокон. Для повышения прочностных характеристик дисперсно-армированного бетона следует определить, как влияют характеристики волокон (длина, диаметр и их расход) на свойства бетона. В области разработок дисперсно-армированных бетонов проведено много исследований, но эта тема требует дальнейшего изучения при использовании синтетических микроволокон.

На эффективность дисперсного армирования оказывает влияние отношение модулей упругости материалов волокон и матрицы, количество волокон, химическая стойкость материала фибр по отношению к материалу матрицы, геометрические характеристики фибр (длина, диаметр, рельеф поверхности), соотношение размеров армирующих волокон с размерами неоднородностей структуры матрицы. Это делает важным вопрос выбора материала волокон и фибр.

Например, полипропиленовые волокна характеризуются более низким модулем упругости и повышенной деформативностью по сравнению со стальной фиброй. Стальная фибра имеет модуль упругости в 6 раз превышающий модуль упругости бетона. Однако она подвержена коррозии. Синтетические волокна имеют ряд преимуществ по сравнению со стальной фиброй и могут успешно использоваться для ряда задач.

Можно выделить следующие виды композитов, где сегодня исследуется применение полипропиленового волокна: конструкционный легкий бетон [4], теплоизоляционные растворы [5], композиты для тонких армированных оболочек объемных бетонных блоков в объемно-блочном домостроении [6], тампонажные растворы [7]. В этих работах установлено положительное влияние полипропиленового волокна на прочностные характеристики легких бетонов, тампонажных растворов, сухих строительных смесей. Необходимо установить количественное влияние синтетического волокна на прочностные характеристики тяжелых бетонов транспортного строительства. В литературе, посвященной дисперсному армированию, этим вопросам уделено недостаточно внимания. Это определило направление исследований.

Фибрилляция волокна заключается в отделении от волокон фибрилл, что приводит к увеличению общей наружной поверхности волокна, прочность самих волокон при этом не снижается (рисунок 1-2).



Рисунок 1 – Фибриллированные микроволокна Fibrofor High Grade собранные в пучки

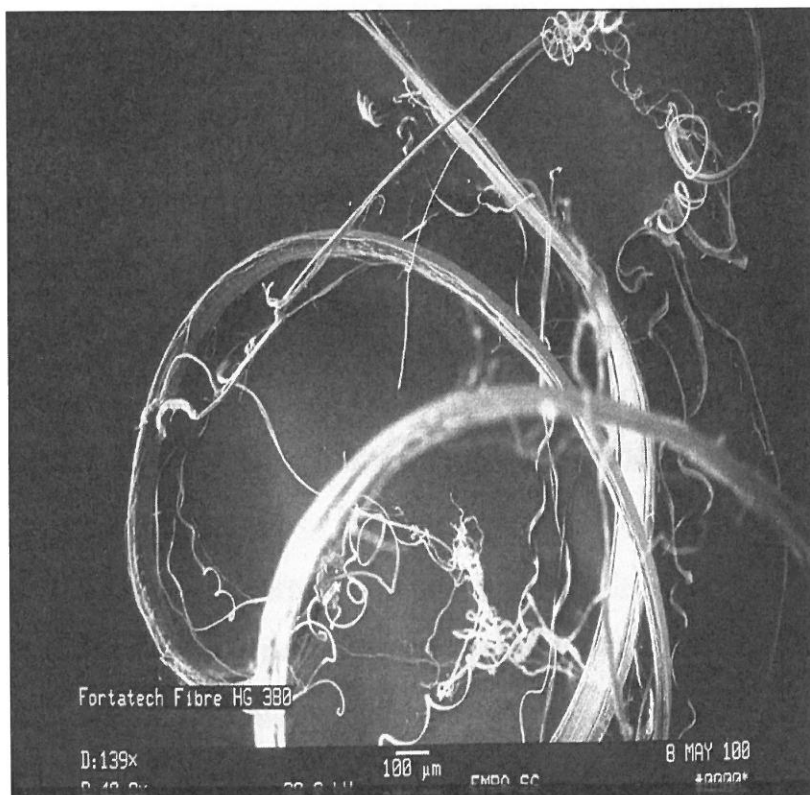
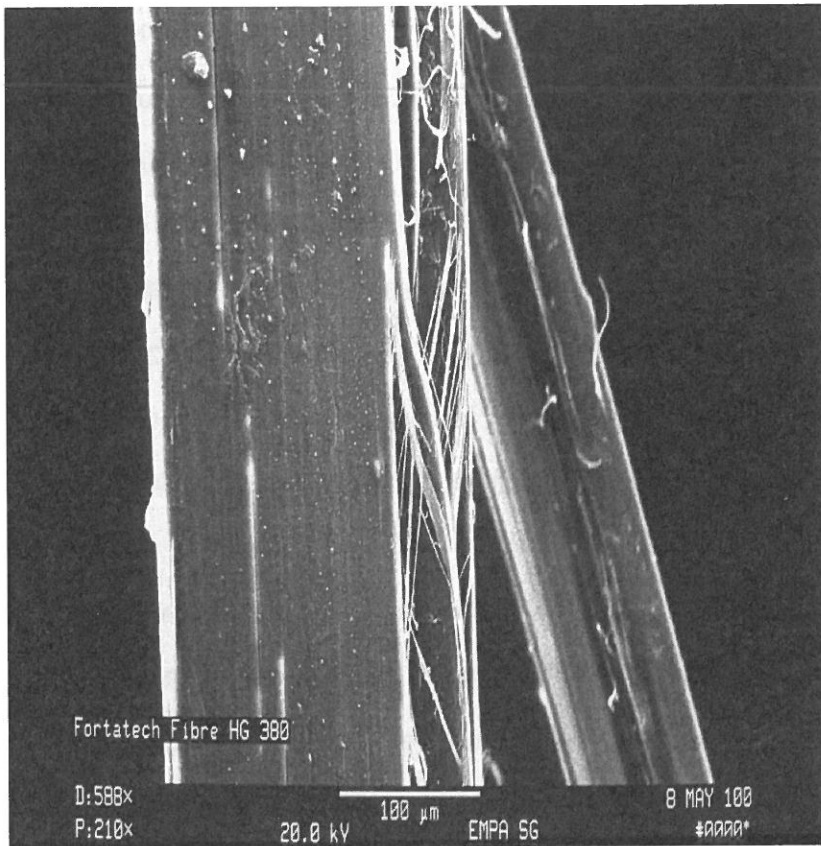


Рисунок 2 – Фибрилляция волокон



При увеличении удельной поверхности микроволокон повышается их адгезия с цементным камнем. Шероховатость поверхности микроволокон и их фибрилляция могут также способствовать повышению адгезии волокна с цементным камнем.

Исследования по модифицированию синтетических волокон с целью их эффективного использования в составах цементных композитов проводятся многими учеными. Например, вопросы повышения модуля упругости, теплостойкости и гидрофильности полипропиленового волокна представлены в работе [12].

Таким образом, сегодня предлагаются технические решения по получению синтетических волокон, направленные на повышение теплостойкости, прочности, снижения деформативности, повышения адгезии к цементной матрице. В настоящее время разработаны принципиально новые синтетические микроволокна, применение которых в составах тяжелого бетона требует дополнительных исследований.

Известной технологической проблемой сталефибробетонов является трудность равномерного распределения волокон в объеме бетонной смеси, что приводит к образованию «ежей» [1]. Синтетические волокна образуют агрегаты или комки, состоящие из хаотически переплетенных волокон и частиц цемента. В связи с этим были изучены различные способы введения синтетического микроволокна в состав бетона. Наилучшим способом с точки зрения влияния на прочность затвердевшего бетона оказался способ введения микроволокна в сухую смесь.

### **3 Характеристика исходных материалов**

В работе использовано фибриллированное микроволокно Fibrofor High Grade на основе полиолефинов со следующими характеристиками: предел прочности при растяжении  $400 \text{ N/мм}^2$ , модуль упругости  $4900 \text{ N/мм}^2$ , длина волокон 19мм, отношение длины волокна к его диаметру более 100, содержание волокон в 1кг – более 12 млн шт., температура плавления  $150^\circ\text{C}$ . Использован портландцемент ПЦ500-Д0-Н, суперводоредуцирующая

добавка на поликарбонатной основе. Расход добавки выбран с учетом рекомендаций для получения сборного бетона [8-11].

#### **4 Методика проведения исследований**

Изучено влияние расхода фибриллированного микроволокна на удобоукладываемость и сохраняемость смеси. Для оценки удобоукладываемости пробы бетонной смеси для испытаний отбирались на месте ее приготовления согласно ГОСТ 10181-2014 из средней части замеса. Испытание начиналось не позднее чем через 10 минут после отбора пробы. При контроле определялась удобоукладываемость и плотность смеси. Для определения влияния расхода микроволокна на удобоукладываемость и «живучесть» бетонной смеси были проведены эксперименты, результаты которых представлены на рисунке 4. Расход цемента составил  $395 \text{ кг/м}^3$ , В/Ц=0,38, суперводоредуцирующая добавка в количестве 0,4%; расход синтетического микроволокна – 900, 1000, 1100 г/м<sup>3</sup>.

Из анализа литературных источников установлено, что расход, например, полипропиленового волокна может составлять до  $2 \text{ кг/м}^3$  [13]. Для нашего случая применение в составе бетона микроволокна с расходом больше, чем  $1,1 \text{ кг/м}^3$  приводило к заметному увеличению водопотребности смеси, а это ведет к снижению прочности бетона. Очевидно, что на расход волокна будет влиять длина волокон. Из проведенных экспериментов было установлено, что одним из обязательных условий выбора расхода волокна должно быть условие сохранения водопотребности смеси, сопоставимой с контрольным составом. В противном случае увеличение водопотребности смеси сводит на нет возможности улучшения свойств бетона за счет использования фибриллированного микроволокна Fibrofor High Grade.

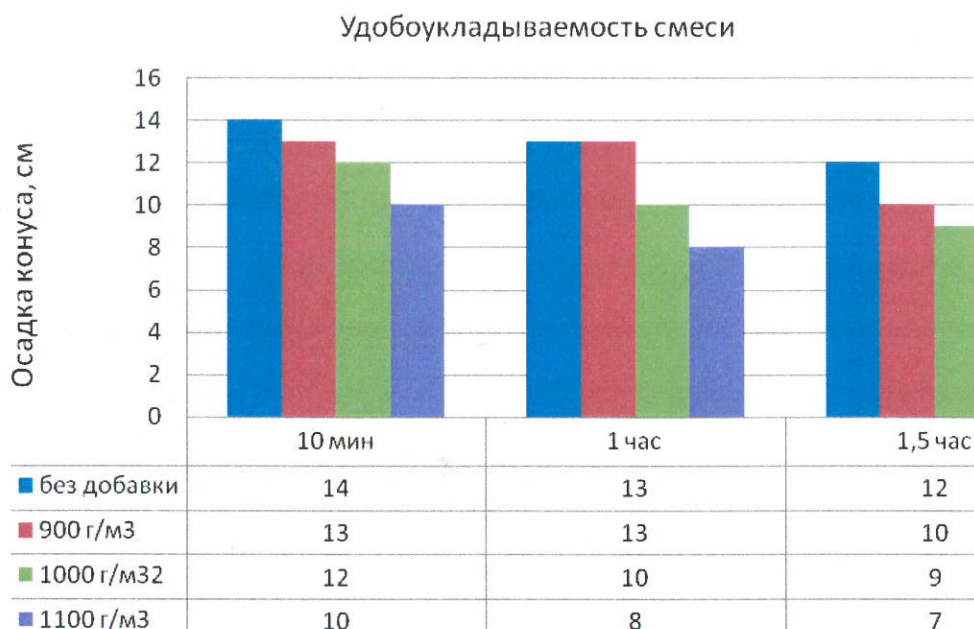


Рисунок 4 – Влияние расхода микроволокна на удобоукладываемость и сохраняемость бетонной смеси

При введении синтетического микроволокна с расходом 900 и 1000 г/м<sup>3</sup> осадка конуса несколько уменьшилась, марка по удобоукладываемости смеси осталась прежней ПЗ. Таким образом, из условия сохранения водопотребности смеси, целесообразно назначать расход волокна 900–1000г/м<sup>3</sup>.

На рисунке 5 представлены результаты экспериментов, где использованы равноподвижные смеси, В/Ц отношение изменялось в зависимости от расхода водоредуцирующей добавки, микроволокно – 900 г/м<sup>3</sup>.



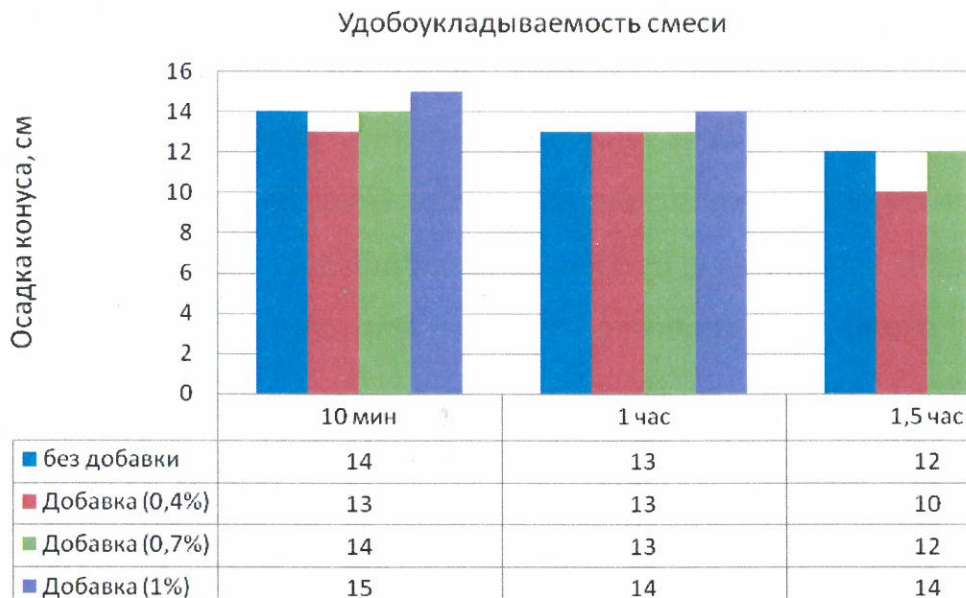


Рисунок 5 – Влияние расхода водоредуцирующей добавки на удобоукладываемость и живучесть бетонной смеси

При правильном выборе расхода микроволокна не требуется добавление воды затворения для увеличения осадки конуса. Установлено, что с увеличением расхода водоредуцирующей добавки до 1% (от массы цемента) в бетонной смеси, содержащей микроволокно, продолжительность сохраняемости смеси повышается. Это согласуется с данными об увеличении сроков схватывания смесей с высокими расходами водоредуцирующей добавки [8-11].

Для получения качественного бетона одним из необходимых условий является предотвращение образования усадочных микротрещин при твердении бетона. Для решения этой проблемы может подойти фибриллированное микроволокно. В одном кубометре бетона при расходе волокна  $0,9 \text{ кг/м}^3$  содержится более 10 миллионов волокон, которые, армируя твердеющий бетон во всех направлениях, могут предотвратить усадку.

В связи с этим было изучено влияние микроволокна на усадочные деформации бетона. Цементно-песчаная матрица имела следующий состав на 1 куб.м: портландцемент 500 кг, песок 1550 кг, вода 175 кг,

суперводоредуцирующая добавка – 2 кг, синтетическое фибриллированное волокно Fibrofor High Grade – 0,9 кг. Деформации усадки измерялись по ГОСТ 24544–81. Испытания проводились в лабораторных условиях при температуре воздуха 20°C и влажности 70%. Деформации усадки цементно-песчаной матрицы со временем увеличивались по экспоненте (рис. 6) и в

возрасте 120 сут. достигли  $30,2 \cdot 10^{-5}$ . Для матрицы с полипропиленовым

волокном деформация усадки в возрасте 120 суток составила  $25,1 \cdot 10^{-5}$ .

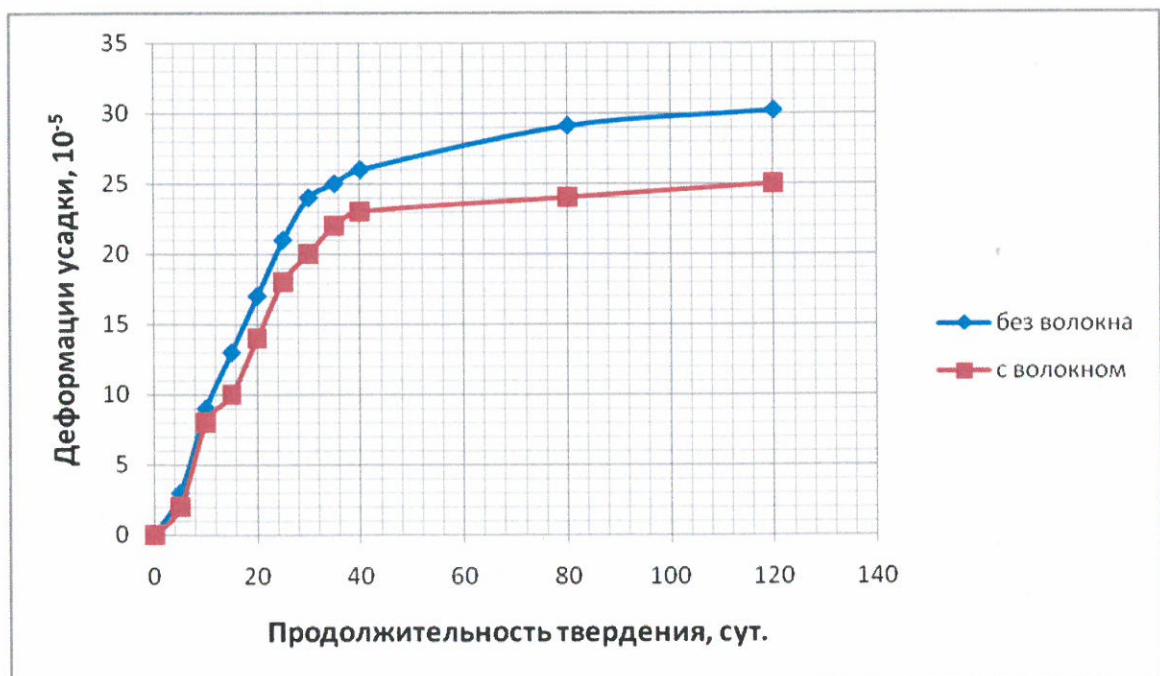


Рисунок 6 – Деформации усадки цементно-песчаной матрицы с микроволокном и без

Рост во времени деформаций усадки цементно-песчаной матрицы и дисперсноармированного бетона носит экспоненциальный характер. При

этом деформации усадки дисперсноармированного бетона меньше, что позволяет предотвратить появление усадочных трещин. Исходя из этого, для дисперсноармированного микроволокном бетона можно предположить повышение таких характеристик как водонепроницаемость и морозостойкость.

Высокопрочные бетоны имеют опасность хрупкого разрушения конструкций, т.к. со снижением величины водоцементного отношения увеличивается отношение предела прочности при сжатии к пределу прочности при изгибе [9].

Исследование влияния микроволокна на прочностные характеристики бетона было проведено на бетонной смеси состава БСТ В40, П2. Расход цемента составил  $385 \text{ кг/м}^3$ , Щ-1230  $\text{кг/м}^3$ , П-640  $\text{кг/м}^3$ , В-150  $\text{кг/м}^3$ , водоредуцирующей добавки – 0,4%; волокна  $900 \text{ г/м}^3$ . Образцы бетона имели гладкую поверхность, только с верхней стороны образца можно было определить наличие микроволокна (рис.7).



Рисунок 7 – Образец дисперсноармированного микроволокном бетона

Результаты определения предела прочности при сжатии в возрасте 1, 3, 7 и 28 суток образцов бетона фибриллированного микроволокном и без представлены на рисунке 8.

Прочность призм размером  $10 \times 10 \times 40$  см на растяжение при изгибе соответствовала  $V_{tb}=5,2$  для образцов с микроволокном и  $V_{tb}=4,4$  для образцов без волокна.

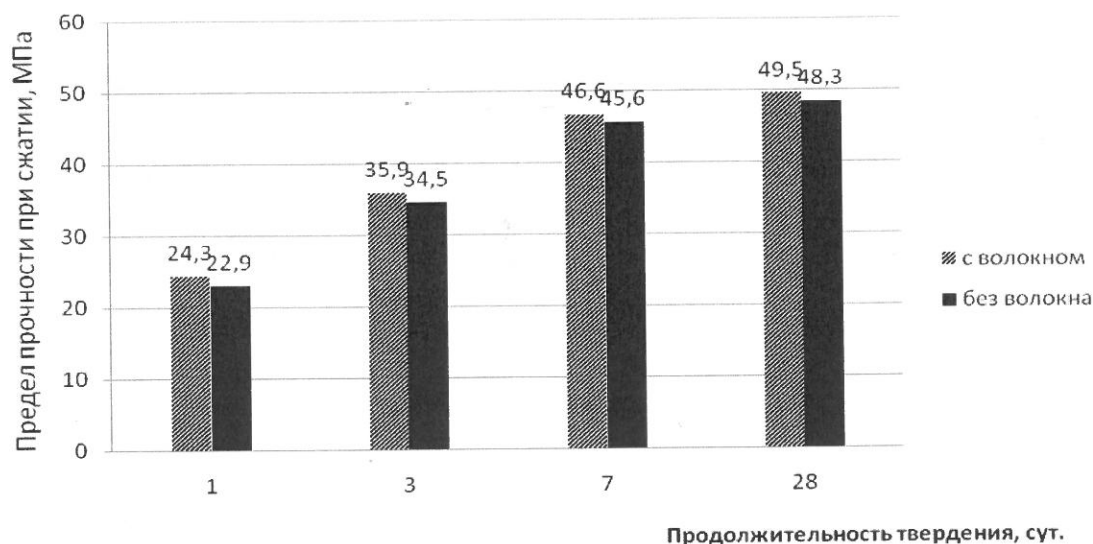


Рисунок 8 – Предел прочности при сжатии образцов бетона с фибриллированным микроволокном и без

## 5 Выводы

Введение синтетического микроволокна Fibrofor High Grade в бетон незначительно повышает предел прочности при сжатии по сравнению с контрольным составом. Значительно увеличивается предел прочности на растяжение при изгибе (до 25%).

Таким образом, дисперсное армирование бетона фибриллированным микроволокном позволяет компенсировать недостатки бетона – образование усадочных трещин, низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения. В результате сравнительных испытаний установлен различающийся характер разрушения образцов. После испытаний на сжатие от контрольных образцов без микроволокна легко отделялись фрагменты бетона. Дисперсноармированный бетон после потери прочности при сжатии не разрушался и сохранил целостность образцов даже при попытке многократного нагружения. Наиболее приемлемым расходом микроволокна для исследованного бетона является  $1 \text{ кг/м}^3$ .



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пухаренко, Ю.В. О вязкости разрушения фибробетона / Ю.В. Пухаренко, В.Ю. Голубев // Вестник гражданских инженеров. – 2008. – №3. – С. 80–83.
2. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Морозов В.И., Магдеев У.Х. Прочность и деформативность полиармированного фибробетона с применением аморфной металлической фибры. *Academia. Архитектура и строительство*. 2016. № 1. С. 107-111.
3. Weber, Wolfgang E., and Viktor Mechtcherine. "Modeling the dynamic properties of fibre-reinforced concrete with different coating technologies of multifilament yarns." *Cement and Concrete Composites* 73 (2016): 257-266.
4. C. Scheffler, S.L. Gao, R. Plonka, E. Mäder, S. Hempel, M. Butler, V. Mechtcherine. Interphase modification of alkali-resistant glass fibres and carbon fibres for textile reinforced concrete II: water adsorption and composite interphases. *Compos. Sci. Technol.*, 69 (7–8) (2009), pp. 905–912
5. W. Weber, B.W. Zastrau. Analytical description of FRC subjected to transient loads. *J. Theor. Appl. Mech.*, 51 (1) (2013), pp. 183–194
6. Лабораторный отчет ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ «ПРОЧНОСТЬ» при ФГБОУ ВО ПГУПС