

ОГНЕСТОЙКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ФИБРОБЕТОНА

Проанализирован один из способов повышения огнестойкости и прочности железобетонных конструкций с полипропиленовой фиброй, использующихся в строительстве автодорожных туннелей и метрополитена.

Ключевые слова: огнестойкость, железобетонные конструкции, фибробетон, полипропиленовая фибра.

N.S. Novikov

FIRE RESISTANCE AND STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES MADE OF FIBER-REINFORCED CONCRETE

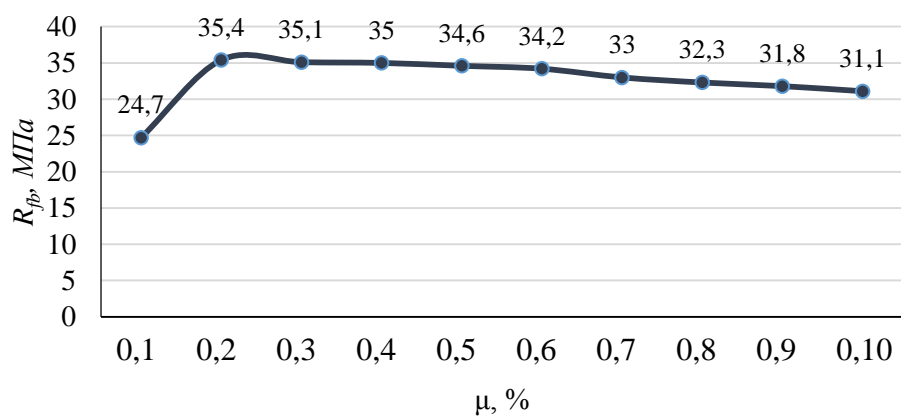
One of the ways to improve the fire resistance of reinforced concrete structures with polypropylene fiber used in the construction of road tunnels and underground is analyzed.

Key words: fire resistance, concrete structures, fibrous concrete, polypropylene fiber.

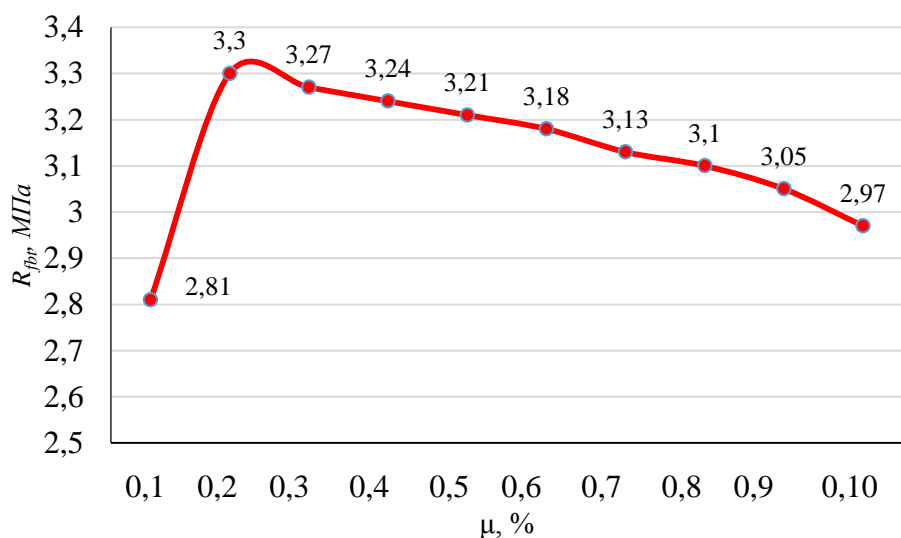
Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 19 марта 2016 г.

Существуют различные способы повышения огнестойкости железобетонных конструкций [1, 2]. Одним из известных эффективных способов повышения качественных свойств бетона является его дисперсное армирование различными волокнистыми материалами. Дисперсное армирование формирует в бетоне трёхмерную силовую структуру, которая противодействует растягивающим усилиям, возникающим в бетоне при механическом воздействии и при его усадке в процессе твердения [3]. Данный вид бетона называется фибробетоном, поскольку в его структуру входит фибра – микроарматура или микроволокно, равномерно армирующая бетон во всех плоскостях, повышающая марку бетона, прочность, ударостойкость и снижающая образование усадочных трещин.

Существуют малоизученные свойства фибробетона, которые могут повлиять на его прочностные и деформативные характеристики, несущую способность и долговечность конструкций. Одной из характеристик фибробетона является равномерность распределения фибры в объёме смеси. В Томском государственном архитектурно-строительном институте в 2014 г. проводились исследования расхода фибрового волокна в объёме смеси. За основу взяты образцы кубической формы с углеродородной фиброй. В результате исследований (рис. 1) определён прирост прочности на осевое сжатие – 43 % и на осевое растяжение – 18 %, также определён диапазон изменений коэффициента дисперсного армирования бетона углеродным волокном – 0,2...0,3 % от массы цементного вяжущего [4].



а)



б)

Рис. 1. Зависимость пределов прочности углеродофибробетона при осевом сжатии (а) и растяжении (б) от процента армирования фиброй

Такие же исследования проводились в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова в 2012 г. со сталефибробетоном [5]. Основной задачей данной работы была разработка составов сталефибробетона с различными фибрами для повышения прочностных и деформативных характеристик.

Исходя из данных, полученных при испытании сталефибробетона, можно сделать вывод, что фибра увеличивает прочностные характеристики примерно на 20 %, по сравнению с бетоном без использования фибры.

При рассмотрении вопроса о повышении огнестойкости фибробетона и конструкций на его основе характеристика оптимального расхода волокна при дисперсном армировании достаточно актуальна. При высоком расходе фибры фибробетон и конструкции на его основе предрасположены к **взрывообразному разрушению**, а при низком расходе применение фибры становится бесполезным, так как прочность снижается и, в свою очередь, **снижается**

и огнестойкость фибробетона, а для конструкций – *снижается их предел огнестойкости*. Стоит отметить, что в России нет нормативных документов, которые бы предъявляли требования к изготовлению фибробетона с различными фибрами.

Конструкции из фибробетона нашли широкое применение в ЮАР, Германии, Японии, США и др.

В Национальном университете гражданской защиты Украины было проведено исследование несущей способности и огнестойкости изгибаемых железобетонных конструкций с добавками фибры. Для изготовления конструкции использовался бетон класса В25. В качестве объекта исследования использовалась стальная и базальтовая фибра с расходом в пределах 0,5...2,0 %. В результате установлено, что несущая способность конструкции (рис. 2) с использованием стальной или базальтовой фибры в пределах от 0,5 % до 2,0 % выше, чем у конструкции без дисперсного армирования.

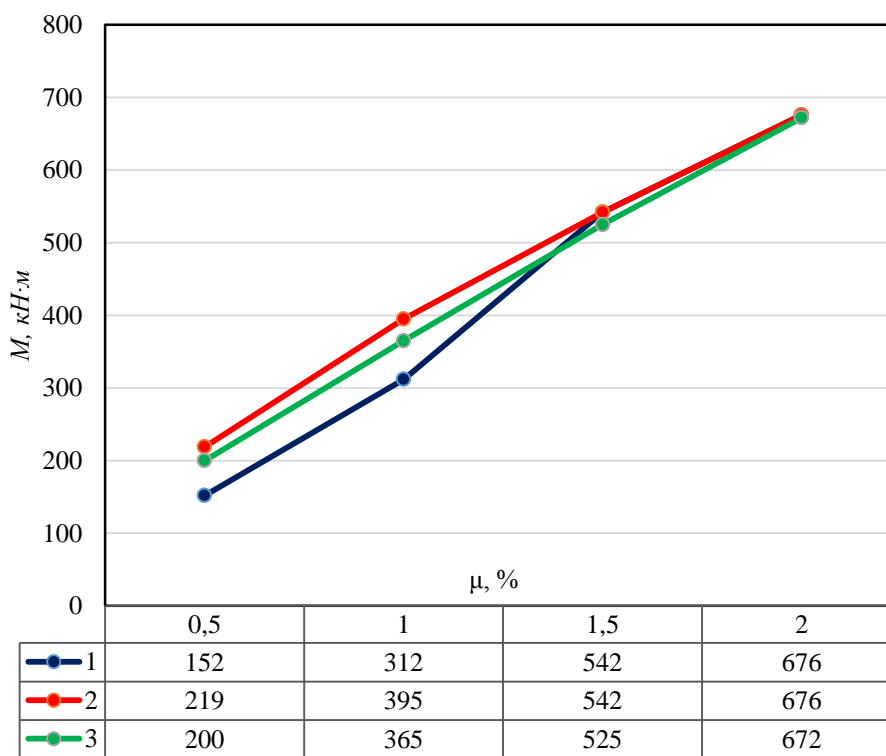


Рис. 2. Зависимость несущей способности изгибаемых железобетонных конструкций от процента армирования фиброй:

1 – без фиброармирования; 2 – стальная фибра; 3 – базальтовая фибра

Предел огнестойкости конструкций (рис. 3) с армированием в интервале от 0,5 до 1,5 % примерно одинаковый, по сравнению с конструкциями без армирования, но при армировании 2,0 % предел огнестойкости повышается. То есть, с повышением процента армирования и рабочей нагрузки железобетонной конструкции предел огнестойкости конструкции начинает увеличиваться [6]. Это также является актуальным вопросом в области современного строительства и имеет смысл для дальнейшего исследования.

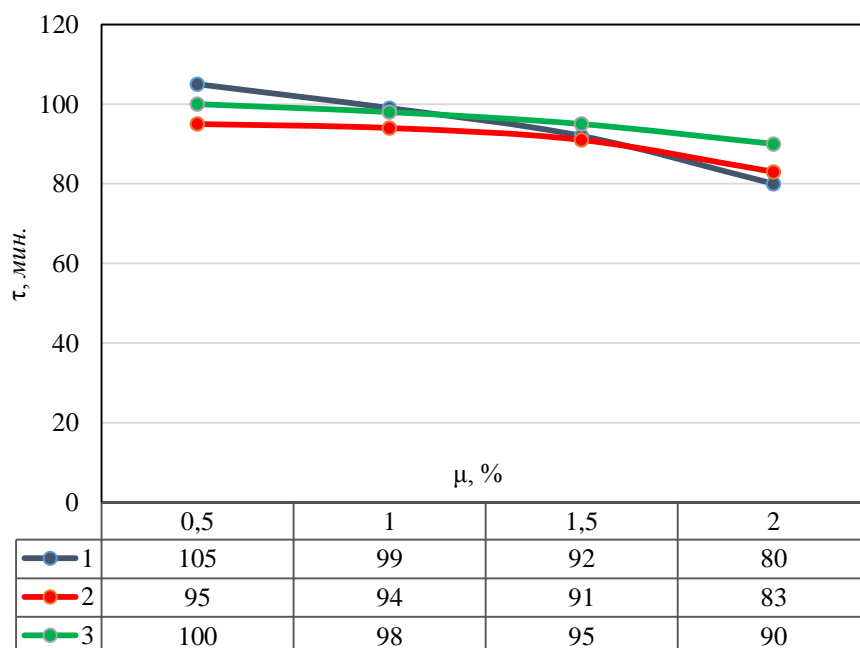


Рис. 3. Зависимость предела огнестойкости изгибаемых железобетонных конструкций от процента армирования фиброй:
1 – без фиброармирования; 2 – стальная фибра; 3 – базальтовая фибра

Известно, что фибробетон, по сравнению с традиционным бетоном, обладает более высокой трещиностойкостью, ударостойкостью, износостойкостью, способствует стойкости бетона к воздействию агрессивной среды; позволяет сократить рабочие сечения конструкций и в ряде случаев отказаться от использования стержневой арматуры или уменьшить её расход [7]. Данные показатели являются характерными при использовании фибробетона в подземных конструкциях, таких как туннели, использующиеся в строительстве подземных тоннелей или коллекторов. Например, в Великобритании строительство тоннелей с использованием сталефибробетона началось с 1994 г. в аэропорту для багажной линии. При строительстве данного тоннеля арматура не использовалась, что позволило уменьшить толщину облицовочных элементов до 150 мм и сократить расход бетона. Также этот материал использовался для строительства тоннелей East London Line's Brunel Tunnel, аэропорта Хитроу и т.д. Пожары в тоннелях сопровождаются взрывообразным (хрупким) разрушением бетона и для предотвращения последствий применяется фибробетон со стальным волокном в сочетании с полипропиленовым монофиламентным микроволокном, что позволяет минимизировать эффект хрупкого разрушения бетона.

Полипропиленовая фибра защищает бетон от взрывообразного (или так называемого хрупкого) разрушения, вследствие прогрева конструкций до высоких температур. Этот факт подтверждается зарубежными исследованиями [8-10]. Взрывообразное разрушение бетона обычно происходит при его высокой влажности *во время пожара*. Химически и физически связанная вода, входящая в состав бетона, при достижении температуры 100 °С начинает переходить в парообразное состояние, вследствие чего в порах бетона начинает создаваться избыточное давление. Данное явление сопровождается взрывом бетона и отколом достаточно больших кусков бетона на начальной стадии прогрева примерно на 15-20 мин. В случае с железобетонными конструкциями при откалывании бетона обнажается несущая арматура. При добавлении полипропиленовой фибры этого явления можно избежать за счет низкой температуры плавления полипропилена, которая равна примерно 105 °С. В процессе перехода воды от одного агрегатно состояния в другое происходит плавление полипропиленовой фибры, что способствует образованию микроканалов в структуре бетона и снижению избыточного давления пара, а также высвобождению пара из структуры бетона [8].

Данные исследования с полипропиленовой фиброй в России до настоящего времени не проводились. По данным зарубежных источников, в 2010 г. в Австралии проведены исследования фибробетона с комбинированной фиброй: нейлоновой и полипропиленовой [9]. В результате установлено, что полипропиленовая фибра в сочетании с другими фибрами, например, с нейлоновой, даёт положительные результаты. В комбинации нейлоновая фибра повышает прочностные и деформативные характеристики бетона, а полипропиленовая фибра защищает бетон от хрупкого разрушения.

Такие же испытания проведены и с железобетонными колоннами в Португалии. Были изготовлены колонны из фибробетона со стальной и полипропиленовой фибрами [10]. Испытаниями установлено, что использование полипропиленовых волокон также способствует предотвращению взрывообразного разрушения бетона, в то время как стальные волокна, увеличивают прочность бетона на растяжение, что обеспечивают высокую пластичность конструкции при образовании трещин.

Крупномасштабных испытаний конструкций на основе фибробетона в условиях стандартного пожара в России очень мало, поэтому недостаточно исследованы характеристики огнестойкости конструкций на основе фибробетона с различными видами фибры. Не исследованы область влияния расхода фибры на взрывообразное разрушение железобетонной конструкции в условиях стандартного пожара, а также влияние различных видов фибры на теплотехнические характеристики конструкций.

Заключение

Показана актуальность исследований фибробетона и конструкций на его основе. В настоящее время в России ведется интенсивное строительство автодорожных тоннелей большой протяжённости (более 2 км) и тоннелей для метрополитена. Применение полипропилена становится актуальным в строительстве подземных сооружений, так как снижает вероятность обрушения отделки тоннеля в результате хрупкого разрушения бетона при пожаре.

Литература

1. **Голованов В.И., Кузнецова Е.В.** Эффективные средства огнезащиты для стальных и железобетонных конструкций. // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 9. С. 82-90.
2. **Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотиков А. В.** Экспериментальные и аналитические исследования огнестойкости сплошной бетонной плиты со стальной и композитной арматурой // Пожарная безопасность. 2013. № 2. С. 44-51.
3. **Кудяков А.И., Дубосаров Д.И., Кудяков К.Л. и др.** Управление процессами получения бетона, повышенного качества // Матер. всеросс. науч.-техн. конф. Братск: БРГУ, 2013. С. 58-61.
4. **Кудяков К.Л., Невский А.В., Ушакова А.С.** Влияние дисперсного армирования углеводородными волокнами на прочностные свойства бетона // Перспективы развития фундаментальных наук: труды XI Международной конференции студентов и молодых учёных. Томск: НИ ТПУ, 2014. С. 799-802.
5. **Лесовик Р.В., Клюев С.В.** Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках Курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 3.
6. **Васильченко А.В.** Оценка огнестойкости изгибаемых железобетонных элементов, усиленных фиброматериалами // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: труды V междунар. науч.-практ. конф. Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2014. С. 91-93.
7. **Пухаренко Ю.В.** Эффективные фиброармированные материалы и изделия для строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 10.
8. **Khoury, G.A.** Polypropylene fibres in heated concrete. Part 2: Pressure relieve // Structural Concrete. 2007.
9. **Young-Sun Heo, Jay G. Sanjayan, Cheon-Goo Han, Min-Cheol Han.** Synergistic effect of combined fibers for spalling protection of concrete in fire // Cement and Concrete Research. 2010. № 40. С. 1547-1554.
10. **João Paulo C. Rodrigues, Luys Laím, António Moura Correia.** Behaviour of fiber reinforced concrete columns in fire // Composite Structures. 2010. № 92. С. 1263-1268.