

УДК 691.328,502.174.1

**ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТНЫХ СЕТОК  
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫХ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ****В.И. Трофимов***Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Трофимов В.И., 2024

**Аннотация.** В статье рассмотрены способы армирования бетона на основе отходов промышленного производства композитных сеток и многоанкерной фибры различной длины с целью повышения эффективности работы дорожных бетонных изделий. Приведены результаты испытаний модельных образцов, армированных фиброй. Испытания показали возможность эффективного использования отходов в производстве дорожных бетонных плит повышенной прочности.

**Ключевые слова:** отходы производства, дорожная плита, прочность, дисперсное армирование.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2024-1-27-31**

В настоящее время повышение эффективности экономического развития страны невозможно без ресурсо- и энергосбережения. Одним из решений указанной проблемы является широкое использование вторичных ресурсов и отходов промышленного производства для получения высококачественных строительных материалов и изделий с внедрением безотходных технологий, позволяющих снизить сырьевые и энергетические затраты с учетом требований экологической безопасности.

При этом получение высокоэффективных строительных материалов и изделий на основе различных промышленных отходов и побочных продуктов обусловлено как наличием широкой сырьевой базы, так и их востребованностью строительной отраслью.

В настоящее время используют различные методы армирования бетона. Большинство исследователей изучают сетчатую арматуру, включая композитную, и анализируют ее влияние на физико-механические свойства бетона. Полученные на данный момент результаты испытаний свидетельствуют о наличии ряда преимуществ подобных композитных материалов перед обычным бетоном (рис. 1) [1].

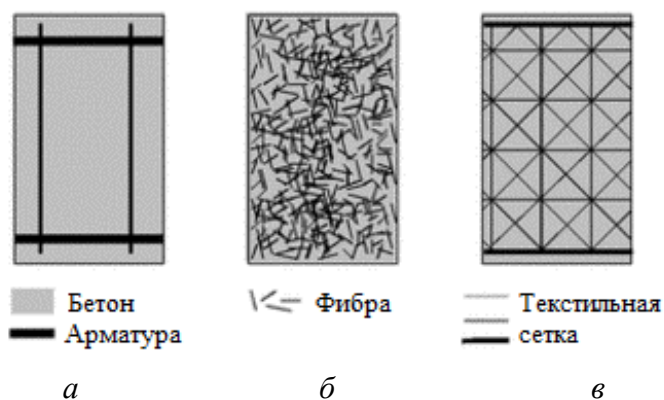


Рис. 1. Виды армирования бетонов: железобетон (а); фибробетон (б); текстиль-бетон (в)

В настоящее время полимерные и полимеркомпозитные сетки широко применяются во многих отраслях народного хозяйства: химической, пищевой, строительной и др. Так, в строительстве полимеркомпозитные сетки используются, в частности, при возведении дорожных насыпей, укреплении стеновых штукатурных слоев, усилении строительных конструкций (главным образом как непрерывный армирующий элемент).

Современные сетки для армирования бетона изображены на рис. 2. Каждая из них имеет определенные технические характеристики и может быть использована под конкретные практические задачи [2]. В то же время в практике производства строительных изделий и конструкций все большую популярность набирает дисперсное армирование на основе отрезков нитей – фибры [3].

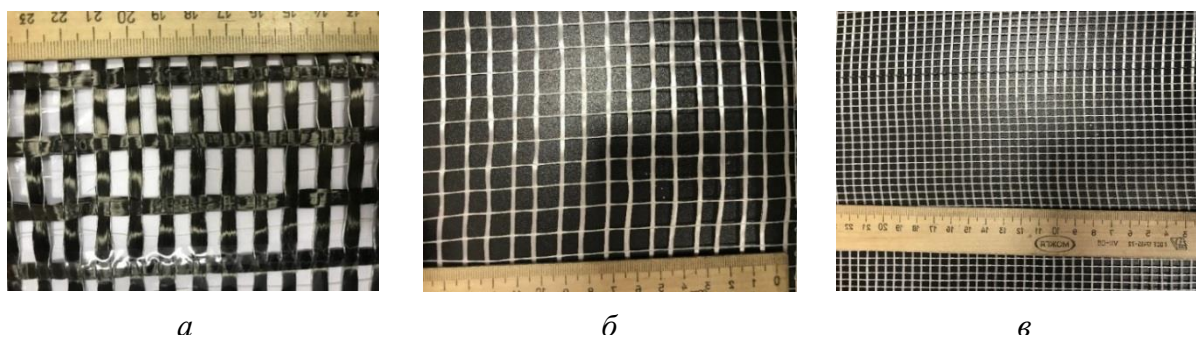


Рис. 2. Виды полимерных и полимеркомпозитных сеток:  
углеродная с ячейками 10 x 20 мм (а); стеклопластиковая  
с ячейками 10 мм (б); стеклопластиковая с ячейками 5 мм (в)

Установлено, что фибра с анкерами, как и рифленая фибра, показывает лучшие результаты испытаний по повышению физико-механических свойств бетона по сравнению с гладкой фиброй [4, 5]. Влияние, т.е. активное деформационное взаимодействие работы многоанкерной фибры, значительно больше влияния гладкой фибры. При этом размер деформированной области с учетом развития упругих и пластических деформаций составляет примерно  $3,5-5,5d$  [6].

На основе выявленного положительного эффекта от использования фибры повышенного сцепления нами была предложена полимеркомпозитная фибра с улучшенными «анкерующими» свойствами: фибросетка, многоанкерная фибра и объемная фибра (рис. 3) [7–9].

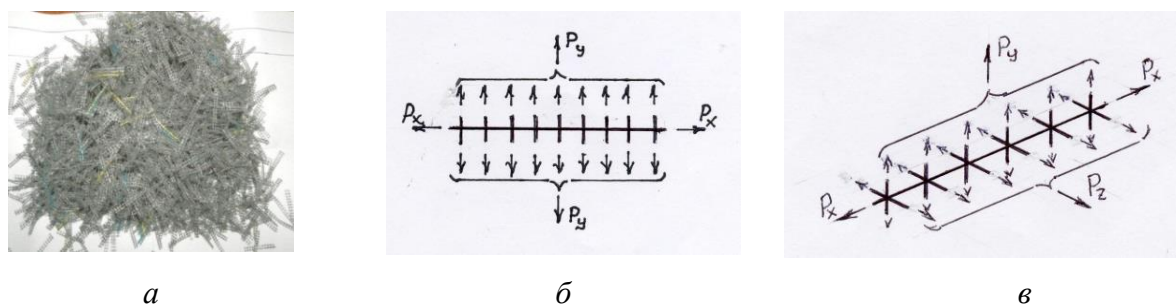


Рис. 3. Виды фибры с повышенной «анкерующей» способностью:  
фибросетка (а); многоанкерная (б) и объемная фибра (в)

Применение полимеркомпозитной фибросетки в производстве дорожных бетонных плит и бетонных водопропускных сооружений для строительства в арктических зонах было исследовано на моделях. Фибросетки нарезались из отходов производства москитных полимеркомпозитных сеток, используемых для изготовления оконных блоков.

Для моделей дорожных плит применялись фибросетки длиной 5 и 10 мм в качестве комбинированного армирования (полиармирования). Их содержание в мелкозернистой бетонной смеси варьировалось в диапазоне 0–6 %.

В качестве дисперсного полиармирования использовались полимеркомпозитные микросетки с размером отверстий 1,5 x 1,5 мм двух видов:  $l_1 = 10$  мм и  $l_2 = 5$  мм. Соотношение содержания таких микросеток от их общего количества в бетоне  $l_1 : l_2 = 70 : 30$ . Для испытаний на изгиб формовались балочки из цементно-песчаного раствора, армированные фиброй.

Основные результаты испытаний представлены на рис. 4.

Из графика зависимости прочности при изгибе  $R_{изг}$  от процентного содержания фибры  $A$  видно, что наибольшая прочность  $R_{изг} = 8,16$  МПа достигается при  $A = 4$  %. Рост прочности на изгиб наблюдается при внедрении микросеток вплоть до 4 %, после чего происходит ее снижение.

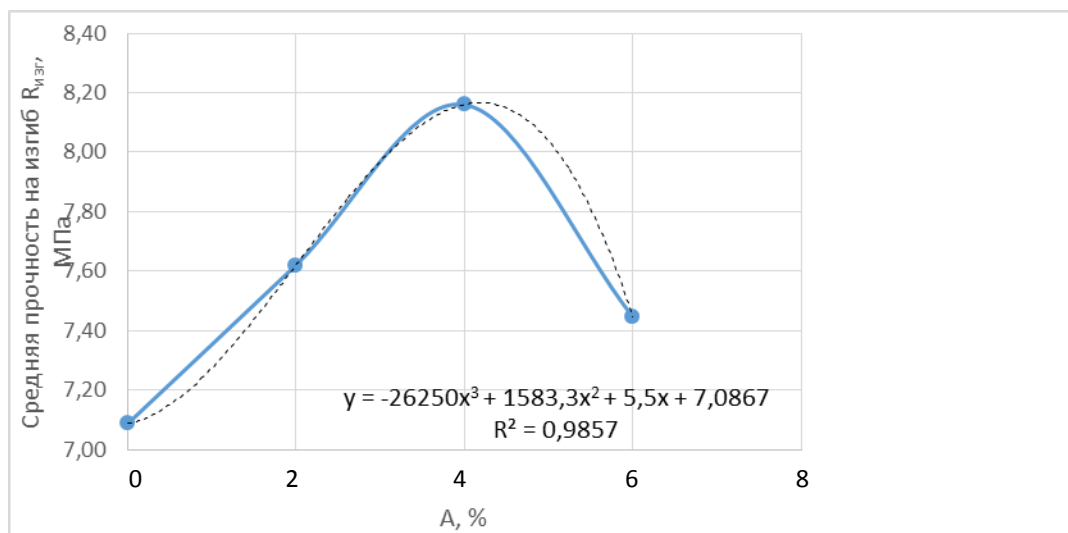


Рис. 4. Результаты испытаний образцов-балочек по зависимости  $R_{изг} = f(A)$

В результате аппроксимации зависимости  $R_{изг} = f(A)$  была получена математическая модель в виде уравнения регрессии. Были выполнены испытания по применимости многоанкерной фибры, нарезанной из отходов производства москитных сеток, для улучшения водно-физических свойств бетона для строительства водопропускных сооружений. Использовалась многоанкерная фибра длиной до 20 мм. Ее содержание в мелкозернистой бетонной смеси составляло 5 %. Часть результатов испытаний на сжатие образцов в сухом и водонасыщенном состоянии представлена в таблице.

Результаты испытаний на сжатие образцов  
в сухом и водонасыщенном состоянии

Характеристики образцов	Длина фибры, мм			
	0	10	15	20
Масса сухого образца, г	2 306,0	2 285,0	2 309,0	2 294,0
Масса образца, насыщенного в течение 72 ч, г	2 323,1	2 288,7	2 326,7	2 307,1
Прочность на сжатие насыщенных образцов, МПа	39,7	40,6	39,0	43,6
Прочность на сжатие сухих образцов, МПа	40,5	42,5	36,7	43,2
Коэффициент размягчения $K_{разм}$	0,98	0,955	1,06	1,01

Таким образом, у образцов, изготовленных с включением волокон жесткой полимеркомпозитной многоанкерной фибры, прочностные свойства в водонасыщенном состоянии не снижаются.

Таким образом, проведенные лабораторные испытания подтверждают целесообразность применения полимеркомпозитной фибры повышенного сцепления, а именно фибросеток и многоанкерной фибры, получаемых из промышленных отходов, для изготовления строительных фибробетонных изделий с улучшенными прочностными и эксплуатационными характеристиками.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Лесовик Р.В., Агеева М.С., Ключев С.В., Лесовик Г.А., Сопин Д.М. Разработка методологии проектирования мелкозернистых фибро-текстиль бетонов на техногенных песках Белгородской области // *Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и правительством Белгородской области*. Белгород: БГТУ им. В.В. Шухова, 2015. С. 227–241.
2. Смирнова О.М., Шибанов М.Д., Черенько А.В. Влияние водоцементного отношения цементного камня на свойства текстиль-армированного // *Инновации в строительстве – 2017: материалы международной научно-практ. конф.* Брянск: Брян. гос. инженер.-технол. ун-т, 2017. Т. 1. С. 132–136.
3. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: АСВ, 2004. 560 с.
4. Демьянова В.С. Дисперсно-армированный сталефибробетон // *Строительные материалы*. 2006. № 9. С. 54–55.
5. Banthia N., Bindiganavile V., Jones J., Novak J. Fiber-reinforced concrete in precast concrete applications: Research leads to innovative products // *PCI Journal. Summer*. 2012. № 57 (3), pp. 33–46.
6. Оатул А.А. Предложения к построению теории сцепления арматуры с бетоном // *Бетон и железобетон*. 1968. № 12. С. 17.

7. Патент РФ 2490406. *Арматурный элемент для дисперсного армирования бетона* / Трофимов В.И., Соколов Э.В., Лопаков Р.И., Данилова О.Г.; Заявл. 10.01.2012. Оpubл. 20.08.2013. Бюл. № 23.
8. Патент РФ 2582254. *Фибра для дисперсного армирования бетона* / Трофимов В.И., Смелянский И.В., Пупенин К.И.; Заявл. 26.11.2014. Оpubл. 20.04.2016. Бюл. № 11.
9. Патент РФ 2601705. *Фибра для дисперсного армирования бетона* / Трофимов В.И., Бучкин А.В., Пупенин К.И.; Заявл. 26.11.2014. Оpubл. 20.04.2016. Бюл. № 11.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

*ТРОФИМОВ Валерий Иванович* – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vitrofa@mail.ru

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Трофимов В.И. Применение отходов производства композитных сеток для изготовления дорожных бетонных изделий // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2024. № 1 (21). С. 27–31.

---

### APPLICATION OF PRODUCTION WASTE COMPOSITE GRIDS FOR THE MANUFACTURE OF CONCRETE PRODUCTS

*V.I. Trofimov*

*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article analyzes the methods used for concrete reinforcement based on the use of waste from industrial production of composite grids to improve the efficiency of road concrete products. It is proposed to strengthen the road concrete slab to perform dispersed reinforcement with composite microgrids and multi-anchor fiber of various lengths obtained from production waste. The results of tests of model samples reinforced with a new fiber are presented. The tests proved the possibility of their effective use in the production of high-strength road concrete slabs.

**Keywords:** production waste, road plate, strength, dispersed reinforcement.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*TROFIMOV Valery Ivanovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vitrofa@mail.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Trofimov V.I. Application of production waste composite grids for the manufacture of concrete products // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2024. No. 1 (21), pp. 27–31.