

Тверской государственный технический университет, Тверь. E-mail: vitrofa@mail.ru

About the authors:

PECHERITSYN Ilya Andreevich – Master's Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: 342.3uaer@mail.ru

SMIRNOV Matvey Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

УДК 624.131.5

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДОРОЖНЫХ И АЭРОДРОМНЫХ ПЛИТ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

**В.И. Трофимов**

© Трофимов В.И., 2024

*Аннотация.* В статье дан анализ применяемых способов армирования бетона для повышения эффективности работы дорожных и аэродромных плит в случае их использования в сложных природно-климатических условиях строительства. Предложено для усиления дорожной бетонной плиты выполнять комбинированное армирование – непрерывное и дисперсное полимерными композитными сетками различной длины. Приведены результаты испытаний модельных образцов, армированных непрерывными сетками и микросетками. Отмечено, что результаты испытаний доказывают эффективность предложенного метода повышения эксплуатационной надежности работы дорожных и аэродромных плит.

*Ключевые слова:* дорожная плита, прочность, строительство, непрерывное и дисперсное армирование.

В настоящее время актуальным направлением получения высококачественных бетонов, отличающихся более широким спектром функциональных возможностей, является применение метода армирования с использованием непрерывных армирующих элементов и дисперсных волокон, что может быть использовано в производстве дорожных и аэродромных плит с повышенной эксплуатационной надежностью. Такие дорожные и аэродромные плиты особенно востребованы в транспортном строительстве на Севере, характеризующемся суровыми природно-климатическими условиями строительства, в тех местах, где ведется интенсивное обустройство стратегически важных для нашей страны нефтегазовых месторождений [1, 2].

Вопросами повышения несущей способности бетонных конструкций, улучшения физико-механических свойств бетонной матрицы с применением метода армирования занимались многие отечественные ученые: Г.И. Бердичевский, И.В. Волков, Ф.А. Гофштейн, К.М. Королев, О.В. Коротышевский, Л.Г. Курбатов, И.А. Лобанов, Ф.Н. Рабинович, В.П. Романов, К.В. Талантовой, Г.К. Хайдуков, Г.А. Шикунев, В.В. Шугаев, Ф.Ц. Янкелович и др. Выполненные ими исследования доказали, в частности, что дисперсное армирование повышает сопротивляемость нагрузкам (особенно в слабых местах – растянутых и изгибаемых элементах конструкций). При этом повышаются трещиностойкость, износостойкость, ударная вязкость и другие важные физико-механические показатели бетона. Особенно важно использовать преимущества метода дисперсного армирования бетонной матрицы при строительстве дорог и аэродромов в Арктической зоне [3].

Одним из перспективных, но малоизученных вопросов является проблема комплексного применения различной сетчатой арматуры, будь то стальные арматурные каркасы, полимеркомпозитные сетки в виде лент и полотен или микроволокны и микросетки.

Полученные на данный момент положительные результаты исследований применения полимеркомпозитных материалов и изделий свидетельствуют о наличии ряда преимуществ перед обычным бетоном и железобетоном.

Различают следующие виды армирования бетона в зависимости от назначения изделия, его работы и конструкции: непрерывное, дисперсное, слоистое и объемное, а также напряженное и в виде полиармирования.

Для непрерывного армирования используют такие материалы, как стальные стержни, проволочные пакеты, пряди и канаты; полимеркомпозитные и полимерные сетки; текстильные полотна. При этом непрерывное армирование может быть реализовано в виде напряженной арматуры или с учетом полиармирования (например, при совместном использовании сетки и стержней).

Для дисперсного армирования применяют материалы в виде волокон: металлических; полимерных (это полипропилен, полистирол и др.); полимеркомпозитных (стеклопластик, углепластик и др.); минеральных (стеклянных, базальтовых, асбестовых и др.); органических (опилки, костра и др.). Кроме этого, дисперсное армирование может быть реализовано в виде полиармирования с использованием фибры двух видов или различных размеров [4].

Слоистое армирование широко применяется в строительстве (дорожное полотно, защитные слои покрытия гидротехнических сооружений, многослойные стеновые изделия и др.) [5].

Объемное армирование широко используется, в частности, в монолитном строительстве. Применяют, например, объемный каркас, дисперсное армирование бетонной матрицы во всем объеме изделия и др.

Непрерывное или дисперсное армирование бетонной матрицы обеспечивает двух- или трехмерное ее упрочнение, позволяет принципиально изменять свойства цементного камня, создавая улучшенные физико-механические свойства: повышать трещиностойкость, особенно при действии ударных и динамических нагрузок, снижать абразивный износ, повышать водонепроницаемость, морозостойкость и т.д. [6].

В последнее время нашли широкое применение для ремонта и усиления строительных конструкций (в частности, для укрепления фасадных штукатурных слоев) полимеркомпозитные сетки (например, на основе углепластика) (рис. 1) [7].

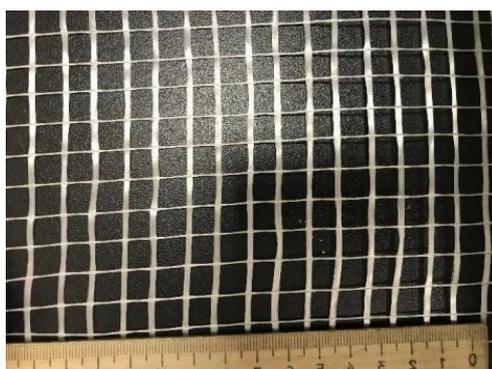


Рис. 1. Усиление наружного защитного слоя кирпичной кладки полимеркомпозитной сеткой

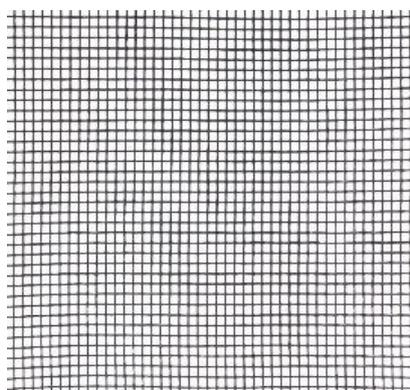
В качестве примера на рис. 2 показаны полимеркомпозитные, в частности стеклопластиковые, сетки для армирования бетона. Каждая из них имеет определенные преимущества в плане технических характеристик и может быть использована под конкретные практические задачи улучшения эксплуатационных свойств бетонных изделий и конструкций [7].



а



б



в

Рис. 2. Полимеркомпозитные (стеклопластиковые) сетки с размером ячеек: 5 мм (а); 10 мм (б); 1,5 мм (в)

Основной характеристикой стеклопластиковых сеток является разрывная нагрузка, которая (в зависимости от размера ячеек представленных сеток) составляет 750–2 000 Н/см.

Цель работы заключалась в том, чтобы доказать возможность улучшения структурно-механических свойств бетона для производства дорожных плит повышенной эксплуатационной надежности на основе комплексного использования методов непрерывного и дисперсного полиармирования бетонной матрицы полимеркомпозитными сетчатыми элементами.

На первом этапе исследований была решена задача оценки влияния работы под нагрузкой непрерывной полимеркомпозитной сетки, установленной в бетоне, с учетом размера ее отверстий [8].

Были выбраны четыре типа полимеркомпозитных, в частности стеклопластиковых, сеток, которые использовались для непрерывного армирования бетонной матрицы, с размером отверстий  $1,5 \times 1,5$ ,  $4 \times 4$  и  $5 \times 5$  мм соответственно.

В процессе формирования образцов-балочек каждая непрерывная сетка закладывалась на  $\frac{1}{4}$  их высоты с целью повышения эффективности работы бетона на изгиб.

Анализ результатов предварительных испытаний показал, что при использовании полимеркомпозитной сетки с размером отверстий  $1,5 \times 1,5$  мм для непрерывного армирования наблюдалось снижение прочности по сравнению с контрольными образцами без армирования. Данный факт можно объяснить тем, что сетка имела очень маленькие размеры отверстий ( $1,5 \times 1,5$  мм), поэтому она практически не работала совместно с бетонной матрицей по длине балочки. Она усиливала только цементную компоненту, прочность которой ниже прочности композита – бетонной матрицы. При этом в месте ее заложения происходило частичное расслоение, т.е. сетка работала как гладкое полотнище с недостаточной адгезией, на что также оказывало влияние реологическое состояние бетонной смеси. Отсюда можно сделать вывод, что использование мелких сеток для непрерывного армирования бетонной матрицы зависит от размера (крупности) зерен мелкого заполнителя. В то же время на основе результатов испытаний было выявлено, что применение непрерывных сеток с большими размерами отверстий позволило сохранить целостность структуры бетонной матрицы, а также повысило ее прочностные характеристики. Таким образом, для дальнейших исследований была выбрана непрерывная сетка с размером отверстий  $5 \times 5$  мм.

Следующий этап исследований заключался в определении оптимальной прочности на изгиб и сжатие в зависимости от процентного содержания фибры, используемой для дисперсного полиармирования в бетоне совместно с полимеркомпозитной сеткой.

Сначала определялась зависимость прочности балочек на изгиб  $R_{изг}$ .

Для дисперсного полиармирования использовались полимер-композитные микросетки с ячейками  $1,5 \times 1,5$  мм двух разных размеров:  $l_1 = 10$  мм и  $l_2 = 5$  мм. Соотношение содержания микросеток, имеющих заданные размеры, с их общим количеством в бетоне задавалось следующее:  $l_1 : l_2 = 70 : 30$ .

Для непрерывного армирования применялась выбранная на основе предыдущих исследований полимеркомпозитная сетка с размером отверстий  $5 \times 5$  мм, шириной 40 мм и длиной 160 мм. Данный фактор являлся постоянным для каждого из последующих опытов. Это позволило оценить эффективность совместного применения полимеркомпозитных сеток для непрерывного армирования и полимеркомпозитных микросеток для дисперсного полиармирования.

Было проведено по 4 опыта, для каждого были заформованы по три образца-балочки размерами  $40 \times 40 \times 160$  мм и с процентным содержанием А: 0, 2, 4, 6 %.

Из графика зависимости  $R_{изг} = f(A)$  (рис. 3) видно, что наибольшая прочность при изгибе  $R_{изг}$  соответствует 8,16 МПа для образцов с  $A = 4$  %. Она превышает  $R_{изг}$  контрольных образцов ( $A = 0$ ) на 10,1 % ( $R_{изг} = 7,41$  МПа). Рост прочности на изгиб наблюдается при внедрении микросеток вплоть до 4 %, а после начинает происходить снижение прочности бетонных образцов.

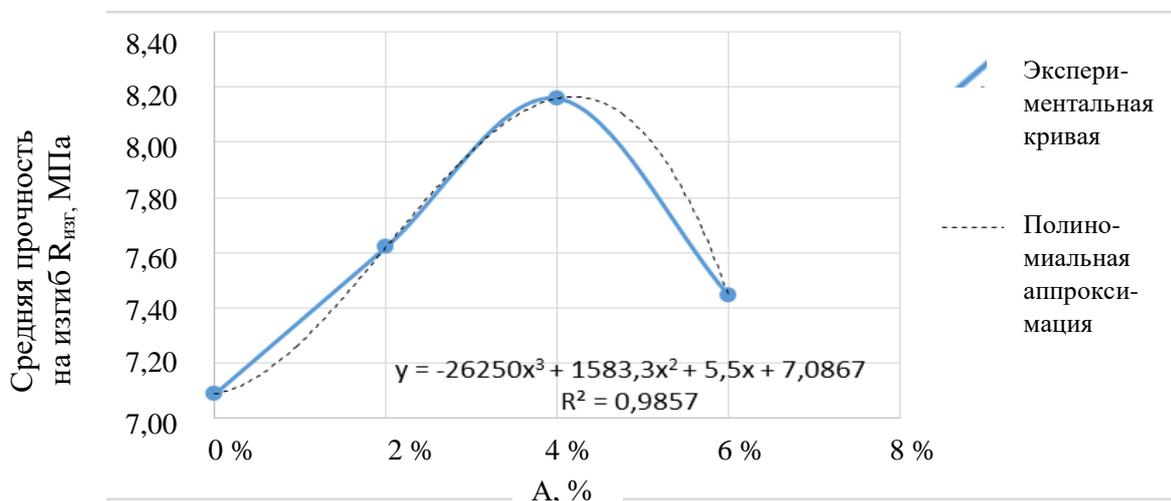


Рис. 3. Результаты испытаний образцов-балочек на изгиб с учетом комбинированного армирования

В результате аппроксимации экспериментальной зависимости  $R_{изг} = f(A)$  была получена математическая модель в виде уравнения регрессии. Для нахождения уравнения применена полиномиальная аппроксимация 3-й степени с уровнем достоверности 0,985 7.

Далее была выявлена зависимость прочности на сжатие  $R_{сж}$  бетонных кубиков от процентного содержания микросеток с учетом полиармирования и совместного непрерывного армирования полимер-композитной сеткой.

Все постоянные факторы оставались без изменений: для дисперсного полиармирования использовались полимеркомпозитные микросетки с размером отверстий  $1,5 \times 1,5$  мм двух разных размеров:  $l_1 = 10$  мм и  $l_2 = 5$  мм. Соотношение содержания размеров микросеток и их общего количества в бетоне осталось прежним:  $l_1 : l_2 = 70 : 30$ .

В качестве элемента непрерывного армирования применялась полимеркомпозитная сетка с размером отверстий  $5 \times 5$  мм.

Было проведено по 4 опыта, и для каждого были заформованы по 3 образца-кубика размером  $70 \times 70 \times 70$  мм при процентном содержании двух видов микросеток  $A$ : 0, 2, 4, 6.

Были получены результаты испытаний образцов-кубиков, которые представлены в виде графической зависимости на рис. 4.

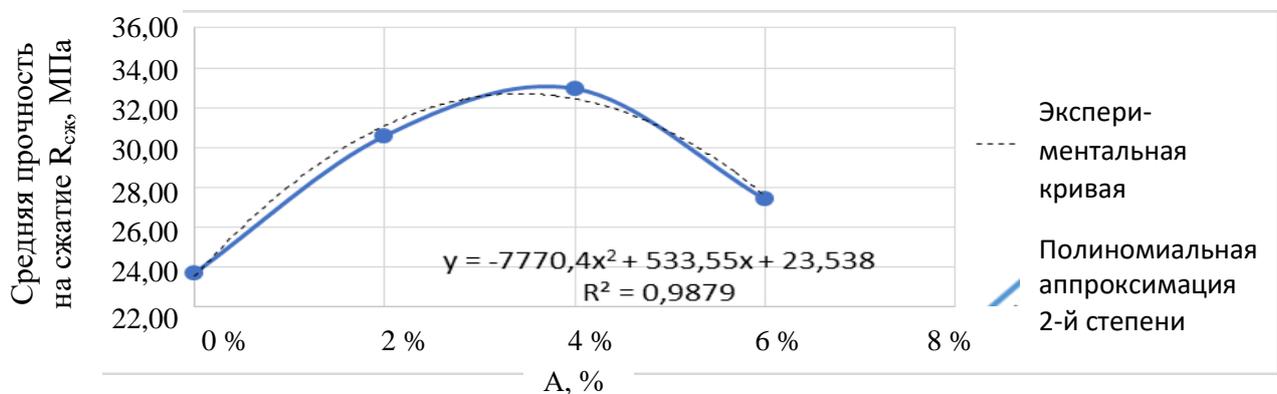


Рис. 4. Результаты испытаний образцов-кубиков на сжатие с учетом комбинированного армирования

Из графика зависимости прочности на сжатие  $R_{сж}$  от процентного содержания  $A$  полимеркомпозитной фибры в виде микросеток видно, что наибольшая прочность  $R_{сж} = 32,96$  МПа соответствует образцам с  $A = 4$  %, что превышает  $R_{сж}$  контрольных образцов ( $A = 0$ ) на 39,0 % ( $R_{изг} = 23,71$  МПа). Рост прочности наблюдается при внедрении микросеток вплоть до 4 %, после чего происходит снижение прочности армированных образцов. При этом во всех случаях использовалась непрерывная полимеркомпозитная сетка с выявленным оптимальным размером отверстий  $5 \times 5$  мм.

В результате выполненных испытаний была доказана эффективность комплексного использования полимеркомпозитных микросеток разных размеров для дисперсного полиармирования бетонной матрицы совместно с применением непрерывной полимеркомпозитной сеткой для повышения показателей прочности на изгиб  $R_{изг}$  и на сжатие  $R_{сж}$ . Выявлено оптимальное процентное содержание полимеркомпозитных микросеток ( $A = 4 \%$ ) в мелкозернистом бетоне.

Согласно данным, полученным экспериментальным путем, методика регулирования структурно-механических свойств мелкозернистого фибробетона на основе использования особым образом метода полиармирования бетона полимеркомпозитными микросетками в комплексе с применением непрерывной полимеркомпозитной сетки позволяет повысить эксплуатационную надежность работы дорожных и аэродромных плит на Севере при сложной работе бетона в области сжимающих и растягивающих деформаций, а также частично или полностью отказаться от использования стальной арматуры.

#### **Библиографический список**

1. Строительство путей сообщения на Севере: научно-практич. издание / С.Я. Луцкий [и др.]. М.: ЛАТМЭС, 2009. 286 с.
2. Ремнев В.В. Арктическая зона России: перспективы применения новых материалов и технологий для строительства аэродромов и автомобильных дорог // Транспортная стратегия – XXI век. 2013. № 23 (4). С. 40–42.
3. Перепечко С.А. Фибробетон и его использование в северных регионах России // Молодой ученый. 2017. № 2 (136). С. 185–187.
4. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография. М.: АСВ, 2004. 560 с.
5. Трофимов В.И., Егоров А.Р., Хитрич Г.А. Сборные дорожные плиты для арктических зон // Научный вестник Арктики. 2022. № 12. С. 51–56.
6. Разработка методологии проектирования мелкозернистых фибротекстиль бетонов на техногенных песках Белгородской области / Р.В. Лесовик [и др.] // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.В. Шухова, 2015. С. 227–241.
7. Смирнова О.М., Шибанов М.Д., Черенько А.В. Влияние водоцементного отношения цементного камня на свойства текстиль-армированного бетона // Инновации в строительстве-2017: материалы

Международной научно-практической конференции. Брянск: БГИТУ, 2017. Т. 1. С. 132–136.

8. Синявский А.С., Трофимов В.И. К вопросу повышения долговечности работы цементобетонных дорог в Арктических зонах // Строительство и землеустройство: проблемы и перспективы развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Тверь: ТвГТУ, 2019. С. 126–131.

## **INCREASING THE EFFICIENCY OF ROAD AND AIRFIELDS IN THE ARCTIC ZONE**

**V.I. Trofimov**

***Abstract.** The article has an analysis of the used concrete reinforcement methods to increase the efficiency of road and airfields in case of use in complex natural-climatic construction conditions. It is proposed to perform combined reinforcement to strengthen the road concrete slab - continuous and dispersed polymer composite nets of various lengths. It is noted that the test results prove the effectiveness of the proposed method of increasing the operational reliability of road and aerodrome slabs.*

***Keywords:** road stove, strength, construction, continuous and dispersed reinforcement.*

Об авторе:

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственной технической университет, Тверь. E-mail: vitrofa@mail.ru

About the author:

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru