

CITATION FOR AN ARTICLE

Stepanova L.A., Lazarev O.E., Bobrova N.M. Division of unclaimed land shares from common shared property land // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 25–37.

УДК 624.131.5

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

В.И. Трофимов

Тверской государственной технической университет (г. Тверь)

© Трофимов В.И., 2022

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, которые доказывают эффективность предложенного метода повышения эксплуатационной надежности работы дорожных и аэродромных плит.

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

DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-37-44

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. Этот метод может быть использован в производстве дорожных и аэродромных плит с повышенной эксплуатационной надежностью. Такие дорожные и аэродромные плиты особенно востребованы в транспортном строительстве на Севере, отличающемся суровыми природно-климатическими условиями. Здесь 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 показали, 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 комплексное применение различной сетчатой арматуры, будь то стальные арматурные каркасы, полимеркомпозитные сетки в виде лент и полотен или микроволокна и микросетки.

Полученные на данный момент положительные результаты исследований использования 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 (полипропилен, полистирол и др.); полимеркомпозитных (стеклопластик, углепластик и др.); минеральных (стеклянные, базальтовые, асбестовые 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 также широко используется в монолитном строительстве (например, при использовании объемного каркаса, дисперсного армирования бетонной матрицы во всем объеме изделия и др.).

Непрерывный и дисперсный виды армирования бетонной матрицы обеспечивают двух- или трехмерное ее упрочнение, позволяют принципиально изменять свойства цементного камня, обеспечивая 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 широко применяются при ремонте и усилении строительных конструкций, в частности при укреплении 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 при решении конкретных практических задач улучшения эксплуатационных свойств бетонных изделий и конструкций [7].

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

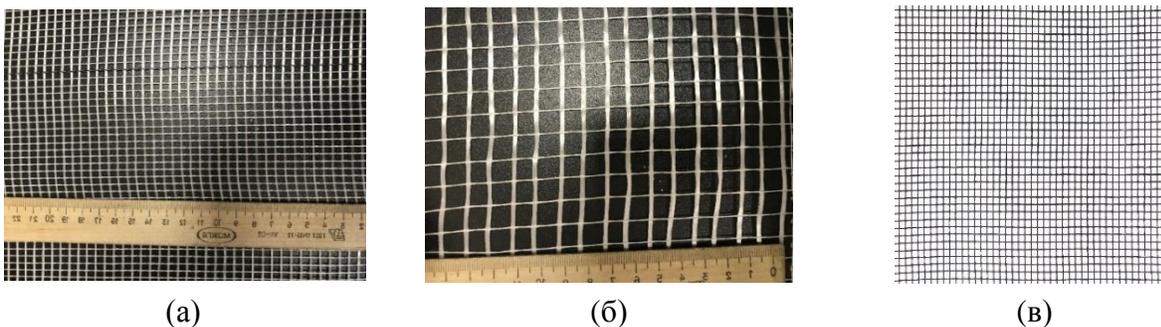


Рис. 2. Полимеркомпозитные стеклопластиковые сетки с размером ячеек: 5 мм (а); 10 мм (б); 1,5 мм (в)

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 по оценке 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 1,5×1,5; 4×4; 5×5 мм соответственно.

В процессе формования образцов-балочек каждая непрерывная сетка закладывалась на 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 1,5×1,5 мм для непрерывного армирования наблюдалось снижение прочности по сравнению с контрольными образцами без армирования. Это можно объяснить тем, что сетка имела очень маленькие размеры отверстий (1,5×1,5 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 полотно с недостаточной адгезией, на что также оказывало влияние реологическое состояние бетонной смеси. Таким образом, можно сделать вывод, что использовать мелкие сетки для непрерывного армирования бетонной матрицы необходимо в зависимости от размера (крупности) зерен мелкого заполнителя. В то же время на основе результатов испытаний было выявлено, что использование непрерывных сеток с большими размерами отверстий позволило сохранить целостность структуры бетонной матрицы, а также повысило ее прочностные характеристики. В связи с этим для дальнейших исследований была выбрана непрерывная сетка с размером отверстий 5×5 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, в комплексе с полимеркомпозитной сеткой в случае использования ее как элемента непрерывного армирования с ранее выявленным оптимальным размером ячейки.

Сначала определялась зависимость прочности балочек на изгиб $R_{изг}$. Для дисперсного полиармирования использовались полимеркомпозитные микросетки с ячейками 1,5×1,5 мм двух разных размеров: $l_1 = 10$ мм и $l_2 = 5$ мм. Соотношение содержания микросеток с заданными размерами задавалось следующее: $l_1 : l_2 = 70 : 30$.

В качестве элемента непрерывного армирования применялась полимеркомпозитная сетка с размером отверстий 5×5 мм, шириной 40 мм и длиной 160 мм, выбранная на основе предыдущих исследований. 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 четыре опыта. Для каждого были заформованы по три образца-балочки размером 40×40×160 мм с процентным содержанием A , равным 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 $A = 4$ %. Рост прочности на изгиб наблюдается при внедрении микросеток вплоть до 4 %, после чего начинает происходить снижение прочности бетонных образцов.

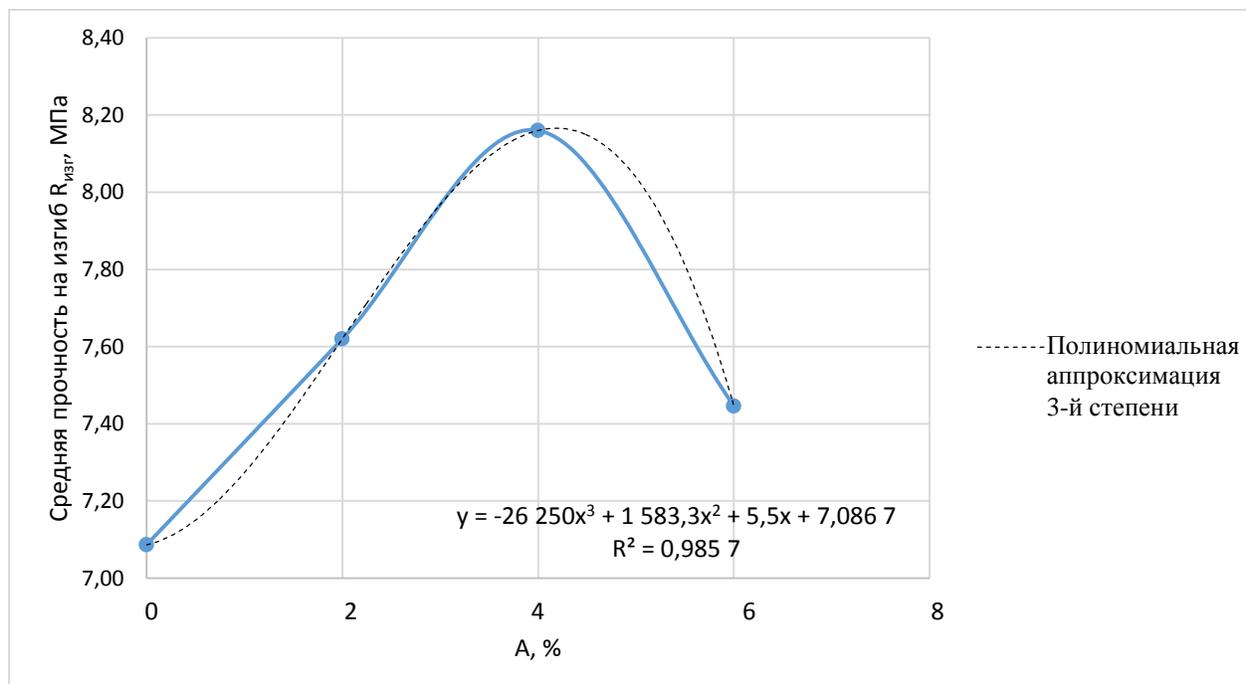


Рис. 3. Результаты испытаний образцов-балочек на изгиб с учетом комбинированного армирования

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 0,9857.

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

Все постоянные факторы оставались без изменений. Для дисперсного полиармирования использовались полимеркомпозитные микроотверстия с размером отверстий $1,5 \times 1,5$ мм двух разных размеров: $l_1 = 10$ мм и $l_2 = 5$ мм. Соотношение содержания микроотверстий с заданными размерами в бетоне осталось прежним: $l_1 : l_2 = 70 : 30$. В качестве элемента непрерывного армирования применялась полимеркомпозитная сетка с размером отверстий 5×5 мм.

Было проведено по четыре опыта, и для каждого были заформованы по три образца-кубика размером $70 \times 70 \times 70$ мм при процентном содержании A двух видов микроотверстий, равном 0; 2; 4; 6 %.

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

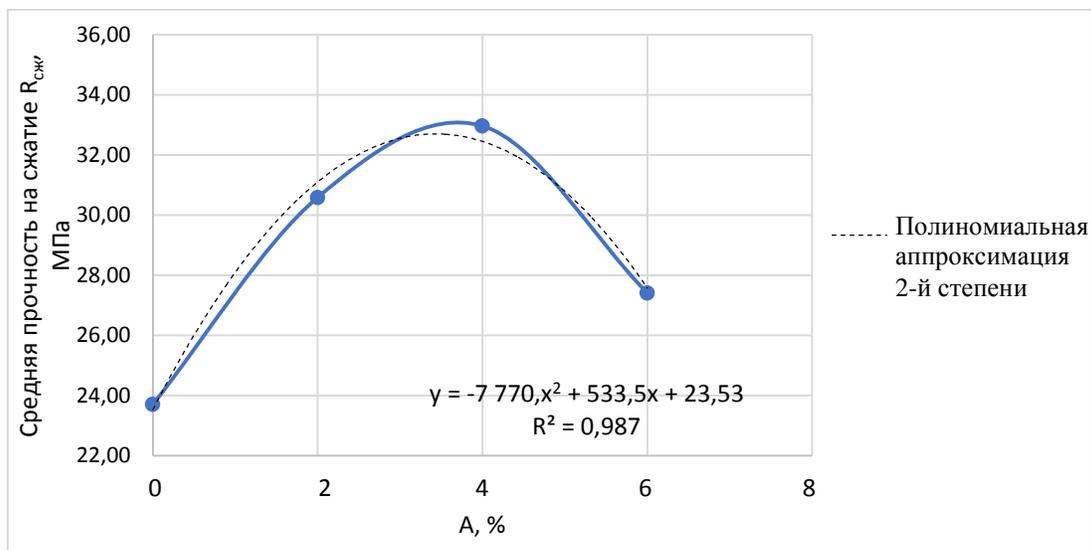


Рис. 4. Результаты испытаний образцов-кубиков на сжатие с учетом комбинированного армирования

Из графика зависимости прочности на сжатие $R_{сж}$ от процентного содержания A дисперсного полиармирования полимеркомпозитной фиброй в виде микросеток видно, что наибольшая прочность ($R_{сж} = 32,96$ МПа) наблюдается у образцов с $A = 4$ %. Она 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.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных испытаний была доказана эффективность использования полимеркомпозитных микросеток разных размеров для дисперсного полиармирования бетонной матрицы совместно с непрерывной полимеркомпозитной сеткой с целью повышения показателей прочности на изгиб $R_{изг}$ и сжатие $R_{сж}$.

Выявлено оптимальное процентное содержание полимеркомпозитных микросеток ($A = 4$ %) в мелкозернистом бетоне. Для исследованных образцов-балочек была получена прочность на изгиб $R_{изг} = 8,16$ МПа, которая превышает $R_{изг}$ контрольных образцов ($A = 0$) на 10,1 % ($R_{изг} = 7,41$ МПа). Для образцов-кубиков была получена прочность на сжатие $R_{сж} = 32,96$ МПа, которая также превышает $R_{сж}$ контрольных образцов ($A = 0$) на 39,0 % ($R_{изг} = 23,71$ МПа). При этом во всех случаях использовалась непрерывная полимеркомпозитная сетка с выявленным оптимальным размером отверстий 5×5 мм.

Согласно данным, полученным по результатам экспериментов, методика регулирования структурно-механических свойств мелкозернистого фибробетона на основе применения 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луцкий С.Я., Шепитько Т.В., Токарев П.М., Дудников А.Н. Строительство путей сообщения на Севере. 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. 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. Лесовик Р.В., Агеева М.С., Клюев 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: Материалы научно-технической конференции*. Белгород: БГТУ им. В.В. Шухова. 2015. С. 227–241.
7. Смирнова О.М., Шибанов М.Д., Черенко 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. Сиявский 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.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vitrofa@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Трофимов В.И. Повышение эффективности работы дорожных и аэродромных плит в Арктической зоне // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 4 (16). С. 37–44.

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

V.I. Trofimov

Tver State Technical University (Tver)

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. The results of the testing of model samples reinforced with continuous grids and microdots are given, which prove the effectiveness of the proposed method of increasing the operational reliability of road and airfields.

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

REFERENCES

1. Lutsky S.Ya., Shepitko T.V., Tokarev P.M., Dudnikov A.N. *Stroitel'stvo putej soobshcheniya na Severe* [Construction of communication routes in the North]. M.: LATMES. 2009. 286 p.
2. Remnev V.V. Arctic zone of Russia: prospects for the use of new materials and technologies for the construction of airfields and highways. *Transportnaya strategiya – XXI vek*. 2013. No. 23 (4), pp. 40–42. (In Russian).
3. Perepechko S.A. Fibroconcrete and its use in the northern regions of Russia. *Molodoj uchenyj*. 2017. No. 2 (136), pp. 185–187. (In Russian).
4. Rabinovich F.N. *Kompozity na osnove dispersno armirovannyh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstrukcii* [Composites based on dispersed reinforced concrete. Theory and design issues, technology, constructions]. M.: ACB. 2004. 560 p.
5. Trofimov V.I., Egorov A.R., Khitrich G.A. Prefabricated road slabs for Arctic zones. *Nauchnyj vestnik Arktiki*. 2022. No. 12, pp. 51–56. (In Russian).
6. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Klyuev S.V., Lesovik G.A., Sopin D.M. Development of a methodology for designing fine-grained fiber-textile concrete on technogenic sands of the Belgorod region. *Regional scientific and technical conference on the results of the competition of oriented fundamental research on interdisciplinary topics: Materials of scientific and technical Conference*. Belgorod: BSTU named after V.V. Shukhov. 2015, pp. 227–241. (In Russian).
7. Smirnova O.M., Shibanov M.D., Chernenko A.V. The influence of the water-cement ratio of cement stone on the properties of textile-reinforced concrete. *Innovations in construction-2017: Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Bryansk: BSETU. 2017. Vol. 1, pp. 132–136. (In Russian).
8. Sinyavsky A.S., Trofimov V.I. On the issue of increasing the durability of cement concrete roads in the Arctic zones. *Construction and Land Management: problems and prospects of development: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Tver: TvSTU. 2019, pp. 126–131. (In Russian).

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. Increasing the efficiency of road and airfields in the Arctic zone // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2022. No. 4 (16), pp. 37–44.