

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПОЛИМЕРБЕТОННЫХ БАЛОК

В. П. Ярцев, А. Н. Николюкин, Т. М. Плужникова

*Кафедра «Конструкции зданий и сооружений»;
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; valax1@yandex.ru*

Ключевые слова: балка; деформация; металлическая арматура; несущая способность; полимербетон; разрушение; стеклопластиковая арматура.

Аннотация: Показаны особенности и сравнительные характеристики прочности и жесткости полимербетонных изделий, армированных металлической и композитной (стеклопластиковой) арматурами. Приведены экспериментальные результаты воздействия циклов замораживания-оттаивания на прочностные характеристики армированных полимербетонных изделий. Проведен анализ полученных результатов. Выявлены особенности при эксплуатации полимербетонных изделий, армированных композитной арматурой.

Полимерные материалы широко распространены в разных сферах производства, но наибольшее применение они получили в строительстве, так как имеют высокую химическую стойкость, технологичность и просты в изготовлении. Одним из таких материалов является полимербетон.

Полимербетоны представляют собой композиционные строительные материалы, получаемые совмещением синтетических полимерных связующих, наполнителей и заполнителей различной природы и дисперсности. Степень наполнения минеральными наполнителями и заполнителями составляет 80 – 95 % от общей массы.

Расход полимерного связующего в полимербетоне всего 5 – 20 % от общей массы, поэтому стоимость данного материала относительно невысока. При этом полимербетоны обладают высокой плотностью, прочностью, химической стойкостью, что очень важно для строительных материалов.

Области применения полимербетонов весьма разнообразны. Устойчивость материала к агрессивным средам позволяет использовать его при производстве различных емкостей, травильных и электролизных ванн, коллекторов, при строительстве подводных сооружений. Высокая прочность позволяет использовать полимербетоны для различных несущих конструкций.

Для улучшения прочностных и жесткостных характеристик полимербетоны армируют. Основным материалом для армирования является металлическая арматура. При этом в последние годы широкое распространение получает стеклопластиковая арматура (СПА), так как обладает более высокими механическими характеристиками наряду с более низкой стоимостью, чем металлическая, способствующими ее активному внедрению в производство.

Стеклопластиковая арматура имеет множество достоинств: малый вес, высокий предел прочности на растяжение, стабильность при воздействии агрессивных сред и низких температур, а также магнитных и электрических полей и радио-

волн, легко транспортируется и технологична в обработке при резке, вязке и возможности формировании криволинейных участков.

Целью данных экспериментальных исследований является изучение механизма работы полимербетонных изделий, работающих на изгиб, усиленных СПА, и сравнение полученных результатов с аналогичными характеристиками конструкций, армированных металлической арматурой.

При исследовании полимербетонных конструкций рассмотрены три варианта армирования. В первом варианте применялась стальная рабочая арматура диаметром $d = 4$ мм класса А240; во втором – использована СПА диаметром $d = 4$ мм; в третьем – образцы без армирования.

Для оценки работы полимербетонных конструкций, работающих на изгиб, изготовлены балочки квадратного сечения 20×20 мм и длиной 120 мм (рис. 1). Вдоль оси образца вводилась стеклопластиковая арматура диаметром 4 мм на расстоянии 5 мм от нижней грани. Образцы заливались одной полимербетонной смесью на основе смолы ПН-1: смола 25 %; щебень фракции 5...15 мм 35 %; песок 48 %; ускоритель и отвердитель по 1 %. При этом использовалась арматура длиной 115 мм [1].

Полимербетонные изделия выдерживались в формах до распалубки и последующей термообработки при температуре окружающей среды (17 ± 2) °С – 12 ч; (22 ± 2) °С – 8 ч; более 25 °С – 4 ч.

Для ускорения процесса твердения полимербетонных изделий применяли термообработку, которая осуществлялась в камерах сухого прогрева. Сухой прогрев обеспечивался за счет электронагревателей. Для полимербетонов ПН использовался следующий режим термообработки: подъем температуры до (80 ± 2) °С – 2 ч, выдержка при температуре (80 ± 2) °С – 16 ч, снижение температуры до 20 °С – 4 ч.

При проведении испытаний (см. рис. 1) полимербетонные балки устанавливали на опоры. Усилия на образец передавались через рычаг под действием гидравлического домкрата. Для измерения прогиба образца использовался датчик часового типа. Примеры полученных экспериментальных результатов представлены на рис. 2.

Из рисунка 2, а, видно, что неармированные образцы имеют показатели прочности в 2,5 раза меньше, что указывает на необходимость их армирования. Рисунки 2, б, в, показывают, что при начальных циклах F0 – F25 показатели СПА выше, чем металлической. При этом прогиб образцов, армированных СПА, больше, чем прогиб образцов, армированных стальной арматурой. Это объясняется тем, что модуль упругости стеклопластиковой арматуры меньше модуля упругости металлической. Однако при достижении нагрузки, которая составляет 10 % от разрушающей, показатели деформации СПА ниже, чем металлической [2]. Это происхо-

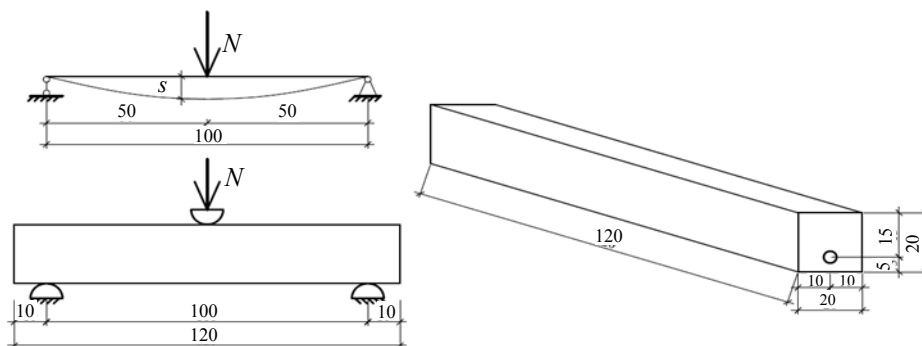
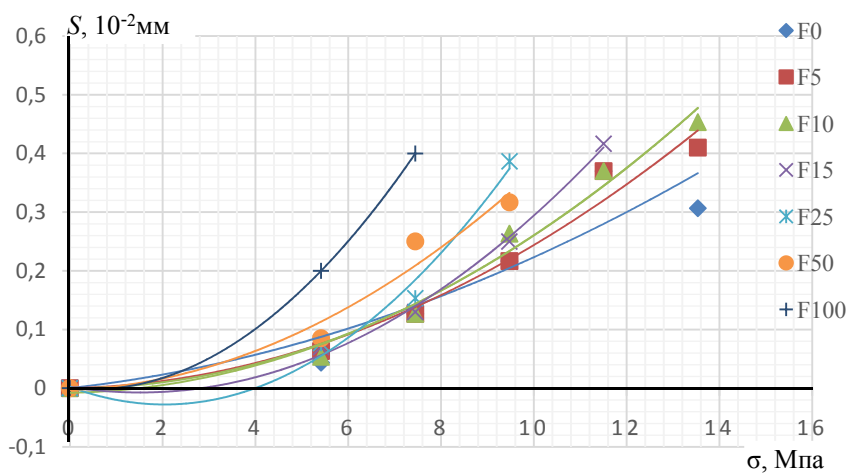
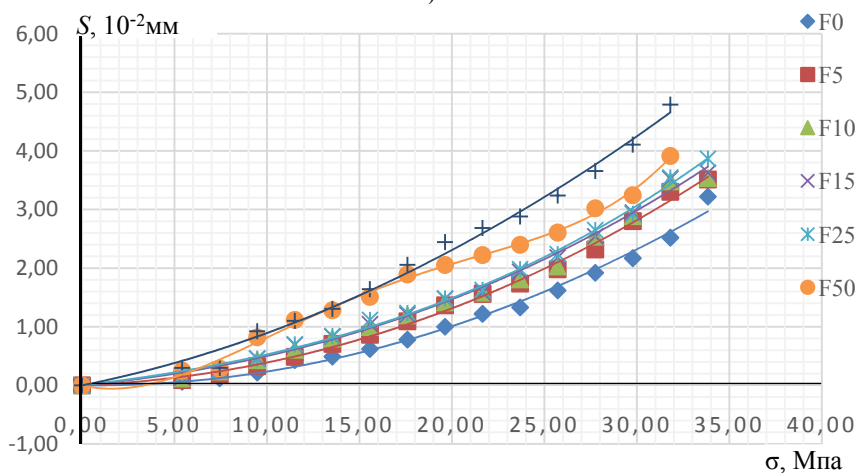


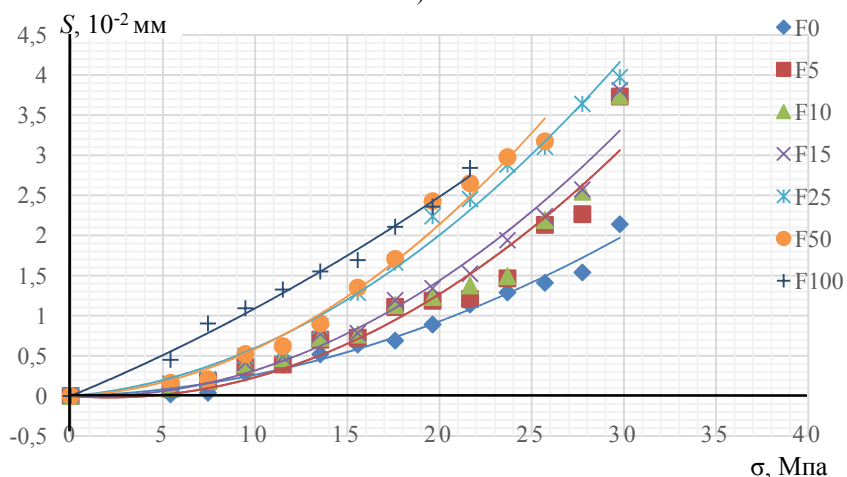
Рис. 1. Габаритные размеры образца и схема приложения усилий



a)



б)



в)

Рис. 2. Зависимость деформации от напряжения при различных циклах замораживания-оттаивания F0, F5, F10, F15, F25, F50, F100 образцов:
a – неармированных; *б* – армированных СПА;
в – армированных металлической арматурой

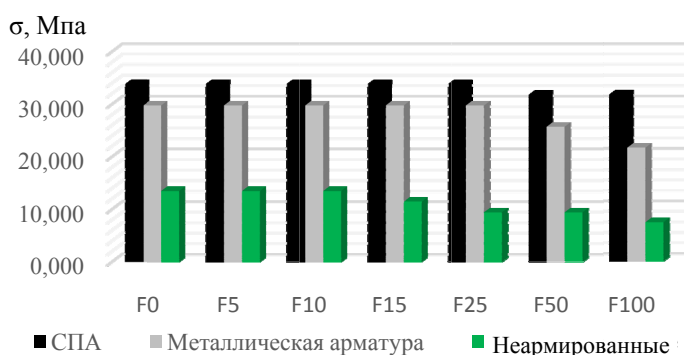


Рис. 3. Прочность образцов под влиянием циклов замораживания-оттаивания при F0, F5, F10, F15, F25, F50, F100



a)

б)

Рис. 4. Образцы после разрушения:
a – при F0 – F25; *б* – при F50, F100

дит за счет того, что прочностные характеристики СПА выше, чем металлической, а высокая величина распорных усилий в образцах достигается в результате лучшего сцепления стеклопластиковой арматуры с полимербетоном.

Итоговые результаты влияния циклов замораживания-оттаивания на прочность испытанных образцов представлены на рис. 3.

По результатам проведенных испытаний следует отметить, что разрушение армированных и неармированных образцов происходит по одному механизму при первых циклах F0 – F25 [3]. До образования первой трещины все образцы имеют близкие по значению показатели деформации. Образование трещин в образцах, армированных СПА и металлической арматурой, происходит при достижении нагрузки, составляющей 25 – 30 % от разрушающей, практически одновременно. Можно предположить, что на рассматриваемом этапе вся нагрузка воспринимается только полимербетоном. Следовательно, арматура начинает работать после образования трещин.

В момент образования первых трещин в армированных образцах происходит разрушение полимербетона, что указывает на его низкую способность сопротивляться процессу трещинообразования. Разрушение структуры происходит за счет деструкции пленки, склеивающей мастики вяжущего, что приводит к увеличению пространства между зёрнами наполнителя.

На основе полученных результатов сделан вывод (см. рис. 4), что характер разрушения балок, армированных стеклопластиковой арматурой, отличается от характера разрушения балок, армированных металлической арматурой. В бал-

ках, армированных СПА, первая трещина появилась в середине образца и стала развиваться вдоль его оси [4]. При дальнейшем нагружении происходит разрушение полимербетона на опорных участках из-за образования кольцевых трещин внутри материала. Образование кольцевых трещин связано с тем, что показатели относительного удлинения СПА относительно полимербетона незначительны.

В балках, армированных металлической арматурой, трещина также образовалась в середине образца и разрушение произошло в месте образования трещины [5]. Данный факт объясняется тем, что относительные удлинения полимербетона и металлической арматуры имеют близкие по значению показатели.

При первых циклах F0 – F5 у армированных балок увеличивается показатель деформации вследствие вымывания жидкой среды из полимербетона (см. рис. 2, а, б).

После проведения циклов замораживания-оттаивания при F5 – F25 снижение прочностных характеристик полимербетонных образцов не наблюдалось, однако происходили незначительные изменения показателей деформации [6]. Это обусловлено накоплением микродефектов в материале.

При последующих циклах выявлено, что при F50 у образцов, армированных металлической арматурой, произошло снижение прочности на 15 %, а при F100 – на 30 % (см. рис. 3). Главной причиной потери несущей способности образцов являлось разрушение сцепления полимербетона с арматурой и деградация поверхности арматуры, что привело к ослаблению в полимербетоне распорных усилий, создаваемых арматурой. При этом механизм разрушения остался прежним [7].

При данных циклах в образцах, армированных СПА, наблюдалось незначительное падение прочности до 5 % и увеличение деформации. Это происходило из-за более высоких показателей сцепления стеклопластиковой арматуры, чем металлической с полимербетоном, а также высокой стойкости стеклопластиковой арматуры к воздействиям агрессивных сред. В результате чего образцы, армированные металлической арматурой, имеют морозостойкость ниже, чем армированные СПА. Падение прочности происходило из-за накопления дефектов в материале и ослабления силы трения между полимербетоном и стеклопластиковой арматурой [2].

В зоне контакта стеклопластиковой арматуры и матрицы появляются внутренние напряжения, которые способствуют образованию начальных (микроскопических) повреждений, приводящих к неустойчивому распространению трещин в композите. Как видно (см. рис. 4, б) неравномерное развитие трещин в образцах происходило вдоль располагаемой арматуры, что привело к выдавливанию крупных кусков полимербетона из-за высокой жесткости СПА.

У неармированных образцов наблюдалось резкое падение прочности из-за более интенсивного накопления дефектов. Так, например, при F100 прочностные характеристики снизились на 50 % относительно первоначальных значений (см. рис. 3). При этом следует отметить, что разрушение образцов произошло по матрице, а не по наполнителю.

Из вышеизложенного следуют выводы:

1. Разрушение полимербетонных конструкций, армированных стеклопластиковой арматурой, происходит по другому механизму, чем армированных металлической арматурой.

2. Результаты проведенных испытаний показали, что предел прочности при изгибе образцов с СПА выше, чем образцов с металлической арматурой.

3. Балки со стеклопластиковой арматурой имеют большие показатели морозостойкости и более устойчивы к воздействию агрессивных сред. Однако балки со СПА уступают балкам с металлической арматурой по деформационным показателям на начальных циклах замораживания-оттаивания.

Список литературы

1. Ярцев, В. П. Современные представления о структурообразовании полимербетонных / В. П. Ярцев, А. Н. Николоюкин, Т. М. Плужникова // Аллея науки. – Томск. – 2018. – Т. 4, № 1 (17). – С. 70 – 75.
2. Бондарев, Б. А. Сопротивляемость полимербетонных строительных элементов, армированных стеклопластиковой арматурой, циклическим нагрузкам : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Б. А. Бондарев. – Воронеж, 1990. – 25 с.
3. Ерофеев, А. В. Влияние циклов замораживания-оттаивания на коэффициент линейного термического расширения декоративных плит / А. В. Ерофеев, В. П. Ярцев // Актуальные инновационные исследования: наука и практика. – Тамбов. – 2012. – № 2. – С. 22 – 28.
4. Комаров, П. В. Сопротивляемость полимербетонных и стеклопласт полимербетонных элементов конструкций длительным и циклическим нагрузкам / П. В. Комаров, А. Б. Бондарев, О. И. Лифинцев // Науч. вестн. Воронежского гос. архит.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2009. – № 1. – С. 92 – 97.
5. Ерофеев, А. В. Влияние атмосферных воздействий на эксплуатационные свойства декоративной плиты / А. В. Ерофеев, В. П. Ярцев // Вестн. Тамб. гос. ун-та. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 181 – 185.
6. Мамонтов, А. А. Повышение эксплуатационной надежности пенополистирольных теплоизоляционных плит посредством их армирования стеклотканевыми материалами / А. А. Мамонтов, В. П. Ярцев // Academia. Архитектура и строительство. – 2016. – № 2. – С. 124 – 129.
7. Мамонтов, А. А. Влияние плотности экструзионного пенополистирола ПЕНОПЛЭКС® на его физико-механические свойства / А. А. Мамонтов, В. П. Ярцев, А. А. Максимова // Вестн. Тамб. гос. ун-та. – 2014. – Т. 20, № 2. – С. 342 – 348.

The Impact of Freeze-Thaw Cycles on the Bearing Capacity and Strength Deformation of Polymerbetonic Beams

V. P. Yartsev, A. N. Nikolyukin, T. M. Pluzhnikova

*Department of Construction of Buildings and Structures,
TSTU, Tambov, Russia; valax1@yandex.ru*

Keywords: beam; deformation; destruction; fiberglass reinforcement; load-bearing capacity; metal reinforcement; polymer concrete.

Abstract: Features and comparative characteristics of strength and rigidity of polymer concrete products reinforced with metal and composite (fiberglass) reinforcement are shown. The experimental results of the effect of freeze-thaw cycles on the strength characteristics of reinforced polymer concrete products are presented. The analysis of the obtained results is carried out. The peculiarities in the operation of polymer concrete products reinforced with composite reinforcement are revealed.

References

1. Yartsev V.P., Nikolyukin A.N., Pluzhnikova T.M. [Modern ideas on the structure formation of polymerbetons], *Alleya nauki* [Avenue of Science], Tomsk, 2018, vol. 4, no. 1 (17), pp. 70-75. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Bondarev B.A. *Extended abstract of candidate's of technical thesis*, Voronezh, 1990, 25 p. (In Russ.)

3. Yerofeyev A.V., Yartsev V.P. [Influence of freeze-thaw cycles on the coefficient of linear thermal expansion of decorative plates], *Aktual'nyye innovatsionnyye issledovaniya: nauka i praktika* [Actual innovation research: science and practice], Tambov, 2012, no. 2, pp. 22-28. (In Russ.)

4. Komarov P.V., Bondarev A.B., Lifintsev O.I. [Resistance of polymerconcrete and fiberglass polymonoblock elements to long and cyclic loads], *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Scientific bulletin of the Voronezh State architectural and construction university], 2009, no. 1, pp. 92-97. (In Russ.)

5. Yerofeyev A.V., Yartsev V.P. [Influence of atmospheric influences on the operational properties of a decorative plate], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2013, vol. 19, no. 1, pp. 181-185. (In Russ., abstract in Eng.)

6. Mamontov A.A., Yartsev V.P. [Increase of operational reliability of foam-styrene heat-insulating slabs by means of their reinforcement with glass-fiber materials], *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and construction], 2016, no. 2, pp. 124-129. (In Russ., abstract in Eng.)

7. Mamontov A.A., Yartsev V.P., Maksimova A.A. [Influence of the density of extrusion foam polystyrene PENOPLEX® on its physical and mechanical properties], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2014, vol. 20, no. 2, pp. 342-348. (In Russ., abstract in Eng.)

Auswirkung von Frost-Tau-Zyklen auf die Tragfähigkeit und Verformbarkeit der Polymerbetonbalken

Zusammenfassung: Es sind Besonderheiten und Vergleichseigenschaften der Festigkeit und Steifigkeit von Polymerbetonprodukten vorgestellt, die mit Metall und Verbundstoff (glasfaserverstärktem Kunststoff) armiert sind. Experimentelle Ergebnisse der Wirkung von Frost-Tau-Zyklen auf die Festigkeitseigenschaften der verstärkten Polymerbetonprodukte sind angeführt. Die Analyse der erhaltenen Ergebnisse ist durchgeführt. Es sind die Besonderheiten des Betriebs von Polymerbetonprodukten festgestellt, die mit einer Verbundverstärkung armiert sind.

Influence des cycles de gel-dégel sur la capacité de charge et la déformation des poutres de polybéton

Résumé: Sont montrées les particularités et les caractéristiques comparatives de la résistance et de la rigidité des produits en béton polymère renforcés par des armatures métalliques et composites (en fibre de verre). Sont cités les résultats expérimentaux des cycles de congélation-dégivrage sur les caractéristiques de résistance des produits de polymère renforcé. Les résultats ont été analysés. Sont déduites les particularités de l'utilisation des produits en béton polymère, renforcé par une armature composite.

Авторы: *Ярцев Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; *Николюкин Алексей Николаевич* – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; *Плужникова Татьяна Михайловна* – магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Леденев Виктор Васильевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.