



УДК 624.016 + 620.174.25

Борисова Татьяна Андреевна

инженер-проектировщик

E-mail: tanidzzze@mail.ru

ООО «Проектное бюро ИНЖЕНЕР»

Адрес организации: 142207, Россия, г. Серпухов, ул. Центральная, д. 146, оф. 5

Зиннуров Тагир Альмирович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: leongar@mail.ru

Куклин Антон Николаевич

инженер, начальник лаборатории

E-mail: antonio_1987@list.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Исследование влияния температурного воздействия на работу стеклопластиковой арматуры в бетонных конструкциях

Аннотация

Поставленные задачи. Изучение влияния температурного воздействия на арматурный стержень из стекловолокна, а также на несущую способность балок, армированных композитной стеклопластиковой арматурой (СПА). Подготовка рекомендаций по защите СПА в конструкции от температурного воздействия.

Результаты. Получены экспериментальные данные прочностных и деформативных характеристик СПА, результаты испытаний балок, армированных СПА, по схеме 3-х точечного изгиба, с учетом и без учета температурного воздействия, а также определен процент снижения прочности балок, армированных СПА, вследствие температурного воздействия.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности расширения области применения бетонных конструкций, армированных СПА. По итогам экспериментальных исследований проведен анализ полученных результатов и даны рекомендации по защите СПА в бетонных конструкциях от воздействия высоких температур.

Ключевые слова: стеклопластиковая композитная арматура, разрушение, модуль упругости, деформативные характеристики, предел прочности, температура.

Введение

Композитная арматура представляет собой композиционный материал, состоящий из матрицы (смолы) и армирующего волокна (ровинга). Основой данной арматуры служит множество высокопрочных непрерывных волокон. В стержень волокна объединяют полимерным связующим (матрицей), которое обеспечивает совместную работу волокон и определяет конечные физико-механические свойства получаемой арматуры. Также матрица защищает волокна от агрессивного воздействия окружающей среды.

Известные теоретические модели прогнозирования механических свойств композитных материалов основаны на сопоставлении показателей соответствующих свойств их компонентов. Как уже было сказано, композитная арматура состоит из продольно ориентированного ровинга и связующего полимера в определенном объемном соотношении [1].

Как показывают многочисленные исследования в области изучения свойств композитной арматуры [1, 2, 3], ее механические свойства зависят от ряда факторов: типа волокна; ориентации волокон относительно стержня; формы образцов; объемного соотношения компонентов, входящих в состав арматуры; адгезии волокон с матрицей; применяемой технологии процесса производства.

Согласно ГОСТ 31938-2012 по типу непрерывного армирующего наполнителя неметаллическую композитную арматуру (АКП) подразделяют на следующие виды: стеклопластиковая (АСК); базальтопластиковая (АБК); углепластиковая (АУК); арамидопластиковая (ААК); комбинированная (АКК).

В табл. 1 [4] приведены основные физико-механические свойства различных видов арматуры.

Таблица 1

Физико-механические свойства арматуры [4]

Параметр	Стальная арматура	АСК	АБК	АУК	ААК
Номинальный предел текучести, МПа	276-517	-	-	-	-
Прочность на разрыв, МПа	483-690	500-1600	700-1800	600-3690	1720-2540
Модуль упругости, ГПа	200	35-51	55-71	120-580	41-125
Удлинение при текучести, %	0,14-0,25	-	-	-	-
Удлинение при разрушении, %	6,0-20,0	1,2-3,1	1,2-2,9	0,5-1,7	1,9-4,4

Наибольшее распространение получила стеклопластиковая арматура (АСК или СПА) из-за ряда преимуществ, таких как:

- малый вес (в 4 раза легче металлической);
- высокая прочность;
- коррозионная стойкость (механические свойства при взаимодействии с солями, кислотами и другими агрессивными веществами изменяются совсем в незначительной степени);
- относительно низкая стоимость (в сравнении с другими видами композитной арматуры);
- диэлектрические свойства (полностью сохраняет свои прочностные показатели под воздействием магнитного и электрического поля и радиоволн);
- высокие показатели упругости при малом коэффициенте относительного удлинения.

Попытки замены стали на полимеркомпозитные стержни в армировании целого ряда конструкций, эксплуатация которых связана с рисками коррозии арматуры, представляются вполне обоснованными, так как технико-экономические преимущества в этом случае очевидны [6].

Однако есть ряд существенных недостатков, ограничивающих применение данной арматуры в определенных случаях. Одним из главных недостатков СПА является недостаточная термостойкость вследствие пониженных деформативных характеристик композитной арматуры.

Несмотря на то, что стеклоткань, лежащая в основе арматуры, весьма жаропрочна, связующий пластиковый компонент высокую температуру не выдерживает. Это не делает данный материал огнеопасным – по горючести эта арматура соответствует группе Г1 – samozatухающие материалы, но при температуре, превышающей 200°C, она начинает терять свои прочностные качества. Стеклопластиковая арматура обладает относительно малой устойчивостью к пожарам: если температура достигает 600°C, арматура полностью теряет свои физико-механические свойства и выключается из работы конструкции [7].

В работе [5] были проведены теоретические и экспериментальные исследования для определения механических и упругих характеристик композитной арматуры в условиях высоких температур. В результате работы определены температурные коэффициенты влияния, учитывающие снижение прочностных и деформативных характеристик бетонных плит, армированных композитной арматурой, под воздействием различных температур. Эти данные наиболее приближены к работе конструкции в реальных условиях.

Аналогичные исследования были проведены в работе [8]. Авторы отмечают, что полученные данные могут быть использованы для теплотехнического и прочностного расчета бетонных плит, армированных композитной арматуры.

Однако, композитная стеклопластиковая арматура широко используется не только в плитных конструкциях. Композитная арматура уже нашла свое применение в конструкциях ЛЭП, мостов, дорожном строительстве, а также, с учетом высоких антикоррозионных свойств, – в конструкциях, эксплуатируемых в условиях агрессивных сред [9]. Однако, все еще остро стоит проблема при применении СПА в подобного рода конструкциях, к которым предъявляются повышенные требования огнестойкости. В этих

случаях, использование для данных конструкций стеклопластиковой арматуры требует тщательного обоснования, а также дополнительной защиты от высоких температур.

Испытания арматурных стержней на разрыв

Испытания СПА на разрыв проводились в лаборатории кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели» Казанского Государственного Архитектурно-строительного университета (КГАСУ). Испытания проводились в установке, разработанной сотрудниками кафедры, моделирующей наихудшие условия эксплуатации стеклопластиковой арматуры: при непосредственном воздействии на арматуру высоких температур в сочетании с водной средой.

В качестве образцов для испытаний была выбрана СПА диаметром 6 мм. Для крепления арматуры в разрывной установке применялись специально изготовленные крепежные элементы. Для испытаний использовались образцы в виде отрезков арматуры, длиной 700 мм, закрепленных в установке, разработанной кафедрой (рис. 1).



Рис. 1. Испытания арматуры в установке

Испытания проводились при температурном воздействии для двух случаев: при постоянной температуре с постепенным увеличением нагрузки и при постоянной нагрузке с постепенным увеличением температуры.

Случай 1: Образцы испытывали под нагрузкой 500-2500 кгс на разрыв до разрушения на испытательной установке при постоянной температуре 0°C и 50°C. В качестве источника тепла была использована горячая вода в установке. Для постепенного контроля температуры в установке использовался нагревательный элемент с термодатчиком. Значение приложенных усилий измеряли по шкале динамометра, а результаты испытаний снимали по показаниям индикатора часового типа, установленного на арматуре. Временной интервал снятия показаний составлял от 10 минут до 1 часа.

По результатам эксперимента, для адекватного математического описания поведения композитной арматуры необходимо построить модель материала (график), которая базируется на экспериментально полученных механических характеристиках [10].

Экспериментальные данные на разрыв арматуры представлены на графике изменения величины перемещений при изменении нагрузки при постоянной температуре 0°C и 50°C (рис. 2).

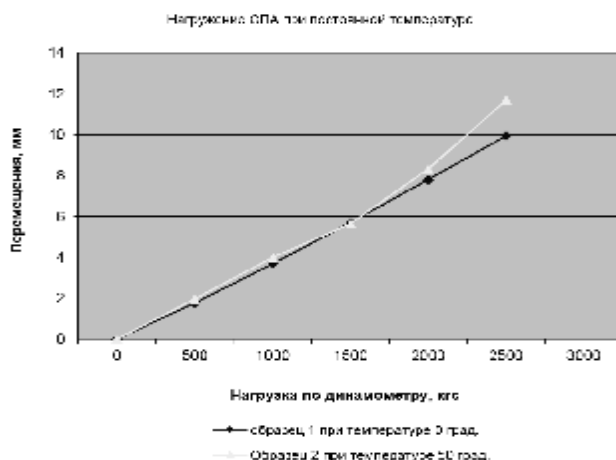


Рис. 2. График изменения величины деформации при изменении нагрузки при постоянной температуре 0°C и 50°C

Случай 2: Образцы испытывали под постоянной нагрузкой 500 кгс и 1000 кгс на разрыв до разрушения на испытательной установке, при этом производилось постепенное увеличение температуры в интервале от 20°C до 80°C. В качестве источника тепла была использована горячая вода в установке. Для постепенного повышения температуры в установке использовался нагревательный элемент с термодатчиком. Значение приложенных усилий измеряли по шкале динамометра, а результаты испытаний снимали по показаниям индикатора часового типа, установленного на арматуре. Временной интервал снятия показаний составлял от 10 минут до 1 часа.

Экспериментальные данные на разрыв арматуры представлены на графике изменения величины деформаций при изменении температуры при постоянной нагрузке 500 кгс и 1000 кгс (рис. 3).

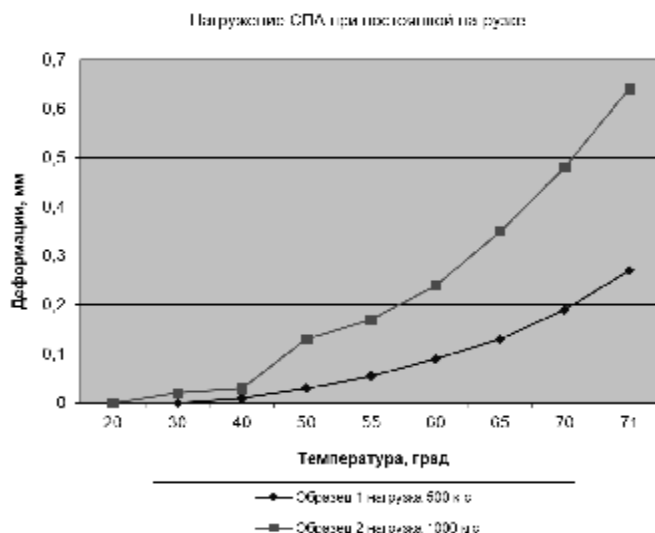


Рис. 3. График изменения величины деформаций при изменении температуры при постоянной нагрузке 500 кгс и 1000 кгс

Испытания бетонных балок, армированных стеклопластиковой арматурой

В качестве образцов для испытаний использовались балки сечением 60×80 (h) мм из бетона В30, армированных СПА с диаметром стержней рабочей арматуры 6 мм и защитным слоем 20 мм. Расчетный пролет балок 700 мм.

Испытания проводились по схеме 3-х точечного изгиба для двух случаев: без предварительного нагрева балок, и с предварительным нагревом температурой 80°C. Схема приложения нагрузки для 3-х точечного изгиба показана на рис. 4.

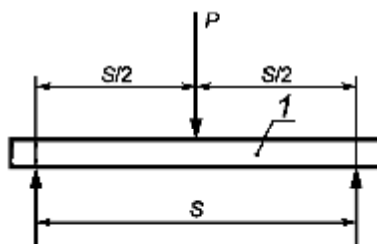


Рис. 4. Схема приложения нагрузки при 3-х точечном изгибе:
1 – образец; P – нагрузка; S – длина пролета

Метод испытания основан на анализе термомеханической диаграммы, полученной при испытании образца на поперечный трехточечный изгиб до заданного значения прогиба. На рис. 5-6 представлены графики изменения величины прогиба от величины нагрузки без учета и с учетом предварительного воздействия температуры.

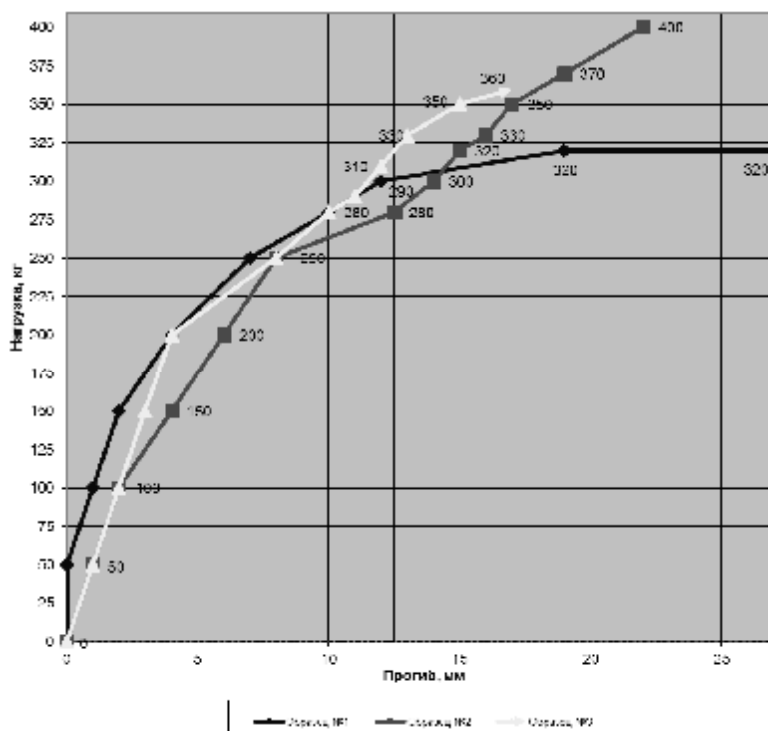


Рис. 5. График изменения величины прогиба от величины нагрузки без предварительного воздействия температуры

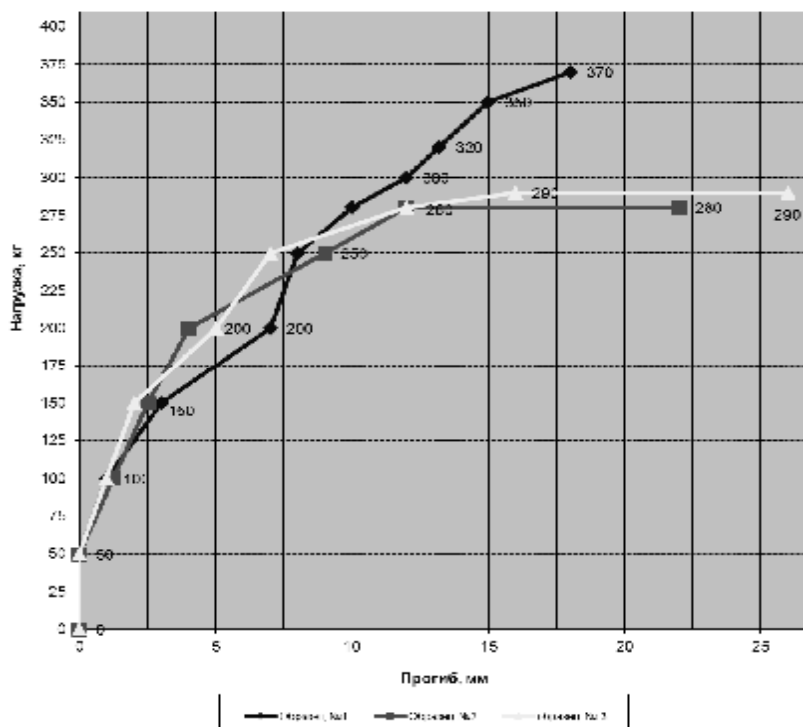


Рис. 6. График изменения величины прогиба от величины нагрузки с учетом предварительного воздействия температуры

Для определения снижения прочности (в %) образца, подверженного воздействию температуры, необходимо найти среднее значение предела прочности в обоих случаях:

$$s_0 = \frac{F_{\max}^{cp}}{A_6} = \frac{(360 + 400 + 320) / 3}{0,2827 \times 2} = 2546,87 \text{ кгс/см}^2 = 250 \text{ МПа,}$$

$$s_{80} = \frac{F_{\max}^{\text{сп}}}{A_6} = \frac{(370 + 280 + 290)/3}{0,2827 \times 2} = 2216,72 \text{ кгс/см}^2 = 217,4 \text{ МПа},$$

$$D = \frac{s_0 - s_{80}}{s_0} = \frac{250 - 217,4}{250} \times 100 \% = 13 \%$$

Анализ результатов

В ходе проведенных исследований влияния температуры на стержни СПА было выявлено, что при температуре от 0°C до 50°C прочностные и деформативные характеристики изменяются в малых диапазонах: перемещения не более 2 мм при нагрузке 2500 кгс. Это объясняется тем, что модуль упругости композитной арматуры определяется модулем упругости стекловолокна и практически не изменяется до температуры, соответствующей температуре размягчения стекла [5]. При этом, при достижении арматуры 70°C и увеличении нагрузки в 2 раза, значения деформаций так же отличаются в 2 раза. В работе [11] отмечается, что коэффициенты температурного расширения бетона и полимерного композитного материала, из которого изготовлена СПА, различаются, в отличие от железобетонных конструкций, где коэффициенты температурного расширения бетона и арматуры близки. Это дает основание полагать, что при дальнейшем увеличении температуры будет происходить увеличение деформаций в некоторой прогрессии.

В работах [12, 13] проведены исследования долговечности композиционных материалов с учетом перепадов температуры. Авторы выявили, что при увеличении предварительной деформации, вызванной воздействием нагрузки на конструкцию, влияние перепада температуры усиливается. Например, если предварительная деформация равна 1 %, то долговечность падает на 22 %, если она составляет 5 %, то долговечность падает до 33 %, если предварительная деформация составит 7 %, долговечность падает на 49 %.

Следовательно, снижение и ограничение постоянной и временной нагрузки, приводящих к увеличению предварительных деформаций в конструкциях, армированных СПА и подверженных воздействию высоких температур и влажности, имеет высокую целесообразность, так как это может дать дополнительный запас до достижения конструкцией предельных деформаций, а также увеличение долговечности конструкции.

При испытаниях балок по схеме 3-х точечного изгиба, армированных СПА, было выявлено, что предел прочности для балки с защитным слоем 20 мм без предварительного воздействия температуры (в нормальных условиях) и балки, подверженной предварительному воздействию температуры 80°C, отличается на 13 процентов. При увеличении значения температуры, сопротивление образца изгибу снижается. Такой результат появляется вследствие того, что снижается сопротивление полимерной матрицы композита сдвиговым напряжениям, возникающим в коротком изогнутом образце. Данный результат вполне ожидаемый, так как температура начала размягчения матрицы из ПЭТФ стеклопластиковой арматуры составляет 160-180°C [5]. Следовательно, образец, не подверженный предварительному воздействию температуры, выдерживает большее значение нагрузки, чем предварительно нагретый образец, при одинаковом значении прогиба.

Для временного снижения воздействия температуры на СПА в балке, а также увеличения времени сопротивления балки разрушению, возможным решением будет увеличение толщины защитного слоя бетона. Согласно рекомендациям СТО 36554501-006-2006, для обеспечения температуры нагрева металлической арматуры не более 450°C при средней длительности пожара 90 минут, защитный слой должен составлять не менее 35 мм. Интерполируя, получаем, что для обеспечения температуры нагрева СПА не более 150°C при средней длительности пожара 90 минут, защитный слой должен составлять не менее 105 мм. Таким образом, с одной стороны, данным способом удалось обеспечить огнестойкость конструкции с армированием СПА при длительном воздействии высоких температур. С другой стороны, как отмечалось ранее, негативным фактором оказалось значительное увеличение постоянной нагрузки. К тому же, такая толщина защитного слоя бетона не рациональна по расходу материала.

В данном случае, наиболее рациональным будет использование огнезащитных красок и штукатурных составов при средней толщине защитного слоя бетона - 60 мм.

Принцип работы данных составов основан на свойстве защитного покрытия увеличиваться в объеме при нагревании в 10-40 раз. Также, в момент расширения, огнезащитный состав по бетону выделяет определенное количество инертного газа и воды. Таким образом, при средней толщине огнезащитного покрытия 5 мм будет обеспечен нагрев СПА в конструкции не более 150°C.

Заключение

В результате проведенных испытаний композитных стержней СПА на разрыв при температурном воздействии для двух случаев: при постоянной температуре с постепенным увеличением нагрузки и при постоянной нагрузке с постепенным увеличением температуры по полученным данным были построены и проанализированы графики поведения композитной арматуры под нагрузкой, учитывающие температурное влияние на ее механические и упругие характеристики. Выявлено, что при температуре от 0°C до 50°C прочностные и деформативные характеристики изменяются в малых диапазонах: перемещения не более 2 мм при нагрузке 2500 кгс, а при увеличении температуры свыше 70°C величина приложенной нагрузки значительно влияет на деформативность арматуры вследствие различных коэффициентов температурного расширения бетона и полимерного композитного материала, в связи с чем рекомендуется снижение и ограничение постоянной и временной нагрузки в конструкциях, подверженных воздействию высоких температур и влажности.

Дополнительно проведены испытания бетонных балок, армированных СПА. Испытания проводились по схеме 3-х точечного изгиба для двух случаев: без предварительного нагрева балок, и с предварительным нагревом температурой 80°C. В результате испытаний процент снижения прочности конструкции, подверженной температурному воздействию, по сравнению с конструкцией, испытываемой в нормальных условиях, составил 13 процентов. Полученные результаты показывают, что конструкции, армированные СПА и подверженные воздействию высоких температур, требуют дополнительных мероприятий по их защите.

Предложены следующие возможные мероприятия для защиты СПА в конструкции от воздействия высоких температур, при которых будет обеспечен нагрев стеклопластиковой арматуры не более 150°C при средней длительности пожара 90 минут:

1. снижение постоянных и временных нагрузок на конструкцию;
2. увеличение защитного слоя бетона до 60 мм;
3. использование огнезащитных красок и составов при средней толщине огнезащитного покрытия 5 мм.

Список библиографических ссылок

1. Willam K. J., Warnke E. D. Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete // International Association for Bridge and Structural Engineering. 1974. № 19. P. 174–204.
2. Kravchenko O. G., Qian X., Kravchenko S. G., Misiego R., Pipes R. P., Manas-Zloczower I. Role of hierarchical morphology of helical carbon nanotube bundles on thermal expansion of polymer nanocomposites // Journal of Materials Research. 2017. № 32 (14). P. 2738–2746.
3. Patel A., Kravchenko O. G., Manas-Zloczower I. Effect of Curing Rate on the Microstructure and Macroscopic Properties of Epoxy Fiberglass Composites // Polymers. 2018. № 10 (2). P. 125–136.
4. Уманский А. М. Совершенствование методов расчета конструкций морских гидротехнических сооружений из композитбетона с использованием базальтопластиковой арматуры: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. ФГАОУ ВПО ДВФУ, Владивосток, 2017. 173 с.
5. Ширко А. В., Камлюк А. Н., Спиглазов А. В., Дробыш А. С. Определение механических свойств композитной арматуры с учетом температурного воздействия // Механика машин, механизмов и материалов. 2015. № 2 (31). С. 59–65.
6. Хозин В. Г., Гиздатуллин А. Р., Куклин А. Н. Полимеркомпозитная арматура в сборных дорожных плитах: сборник докладов научно-технической конференции

- «Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве» / ИжГТУ. Ижевск, 2015. С. 14–24.
7. Будко А. А., Потехин А. А., Акопян А. А. Композитная арматура, достоинства и недостатки, сравнение с традиционной стальной арматурой : сб. ст. III Международной научно-практической конференции «Технические науки: тенденции, перспективы и технологии развития» / ЮРГПУ(НПИ). Волгоград, 2016. С. 148–152.
 8. Камлюк А. Н., Ширко А. В., Спиглазов А. В., Дробыш А. С. Влияние теплового воздействия пожара на механические свойства композитной арматуры // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2015. № 2 (22). С. 4–11.
 9. Уманский А. М., Беккер А. Т. Перспективы применения композитной арматуры // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2012. № 2 (11). С. 7–14.
 10. Кудряшов В. А., Дробыш А. С., Соловьяничик А. М. Результаты экспериментальных исследований огнестойкости полимерных композитных материалов, армированных стекловолокном // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2015. № 1 (21). С. 17–24.
 11. Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Чесноков Г. В., Михалдыкин Е. С. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 2. Влияние температуры // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2016. Том 8, № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/01TVN416.pdf> (дата обращения: 05.04.2018).
 12. Мухамедова И. З., Каюмов Р. А. Оценка долговечности пленочно-тканевых композитных материалов с учетом перепадов температуры // Вестник Казанского технологического университета. 2017. № 15. С. 101–104.
 13. Muhamedova I. Z., Kayumov R. A., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and- fabric composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // Materials Science and Engineering. 2016. № 11. P. 158–166.

Borisova Tatiana Andreevna

project engineer

E-mail: tanidzzze@mail.ru

LTD «Project office ENGINEER»

The organization address: 142207, Russia, Serpukhov, Tsentralnaya st., 146, of. 5

Zinnurov Tagir Almirovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: leongar@mail.ru

Kuklin Anton Nikolaevich

engineer, head of laboratory

E-mail: antonio_1987@list.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Investigation of the influence of temperature impact
on the work of fiberglass reinforcement in concrete structures**

Abstract

Problem statement. To study the effect of temperature on the reinforcement rod made of fiberglass, as well as on the bearing capacity of beams reinforced with fiberglass composite rebar (FCR). Preparation of recommendations for the protection of the FCR in the structure from thermal effects.

Results. The experimental data of strength and deformation characteristics of FCR, the results of tests of beams reinforced with FCR, according to the scheme of 3-point bending, taking into account and without taking into account the thermal effects, as well as the percentage of decrease in the strength of beams reinforced with FCR, due to heat treatment.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is the possibility of expanding the scope of application of concrete structures reinforced with FCR. Based on the results of experimental studies, the analysis of the results obtained and recommendations for the protection of FCR in concrete structures from high temperatures were given

Keywords: fiberglass composite rebar, fracture, elastic modulus, deformation characteristics, tensile strength, temperature.

References

1. Willam K. J., Warnke E. D. Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete // International Association for Bridge and Structural Engineering. 1974. № 19. P. 174–204.
2. Kravchenko O. G., Qian X., Kravchenko S. G., Misiego R., Pipes R. P., Manas-Zloczower I. Role of hierarchical morphology of helical carbon nanotube bundles on thermal expansion of polymer nanocomposites // Journal of Materials Research. 2017. № 32 (14). P. 2738–2746.
3. Patel A., Kravchenko O. G., Manas-Zloczower I. Effect of Curing Rate on the Microstructure and Macroscopic Properties of Epoxy Fiberglass Composites // Polymers. 2018. № 10 (2). P. 125–136.
4. Uman, A. M. Improvement of methods of calculation of structures of marine hydraulic structures of composition using basalt rebar: dissertation for the degree of candidate of technical sciences. FEFU, Vladivostok, 2017. 173 p.
5. Shirko A. V., Kamluk A. N., Spiglazov A. V., Drobysh S. A. Determination of mechanical properties of composite reinforcement taking into account temperature effects // Mechanics of machines, mechanisms and materials. 2015. № 2 (31). P. 59–65.
6. Khozin V. G., Gizatullin, A. R., Kuklin A. N. Polymer composite rebar in prefabricated road slabs: proceedings of scientific and technical conference: «Topical issues of theory and practice of composite reinforcement in construction» / Kalashnikov ISTU. Izhevsk, 2015. P. 14–24.
7. Budko A. A., Potekhin A. A., Hakobyan A. A. Composite reinforcement, advantages and disadvantages, comparison with traditional steel reinforcement : dig. of art. III International scientific-practical conference «Engineering science: trends, prospects and technology development» / SRSPU (NPI). Volgograd, 2016. P. 148–152.
8. Kamluk A. N., Shirko A. V., Spiglazov A. V., Drobysh S. A. Influence of fire thermal influence on mechanical properties of composite rebar // Vestnik of the University of Civil Protection of the MES of Belarus. 2015. № 2 (22). P. 4–11.
9. Uman, A. M., Becker A. T. Prospects of application of composite reinforcement // FEFU: School of Engineering Bulletin. 2012. № 2 (11). P. 7–14.
10. Kudryashov V. A., Drobysh A. S., Solovyanchik A. M. Results of experimental studies of fire resistance of polymer composite materials reinforced with glass fiber // Vestnik of the University of Civil Protection of the MES of Belarus. 2015. № 1 (21). P. 17–24.
11. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin Ye. S. The analysis of experimental researches on strengthening of reinforced concrete designs polymeric composite materials. Part 2. Temperature influence // Internet-journal «Sociology of Science». 2016. Vol. 8, № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/01TVN416.pdf> (reference date: 05.04.2018).
12. Muhamedova I. Z., Kayumov R. A. Estimation of durability of film and fabric composite materials taking into account temperature differences // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2017. № 15. P. 101–104.
13. Muhamedova I. Z., Kayumov R. A., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and- fabric composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // Materials Science and Engineering. 2016. № 11. P. 158–166.