



## Выбор конструктивно-подобного образца для испытания на ползучесть клеевых соединений элементов усиления конструкций

А. Р. Шакиров<sup>1</sup>, А. М. Сулейманов<sup>12</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Казань, Российская Федерация

<sup>2</sup>Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация:** *Постановка задачи.* Главной проблемой при исследовании адгезионных соединений между бетоном и углепластиком на эпоксидных адгезивах на прочность является то, что разрушение практически всегда происходит отрывом бетона. Таким образом исследуется не прочность самого адгезионного слоя, а прочность бетона на отрыв. Для изучения долговечности таких соединений целесообразно исследование их ползучести. Целью данной работы является определение наиболее подходящего типа образца для исследования адгезионного соединения на ползучесть. Задачами исследования являются: разработка типов образцов с различными конфигурациями адгезионных соединений, определение прочности образцов, исследование поведения образцов под действием постоянной нагрузки на ползучесть.

*Результаты.* Результаты исследования показали, что адгезионные соединения на образцах с сравнительно маленькими адгезионными площадями имеют довольно большую жесткость по отношению к самому бетонному субстрату. Прочность бетонной части значительно отстает от прочности самого адгезива и углепластика. Скорость развития ползучести на таких образцах предельно мала.

*Выводы.* Деформативность образцов с сравнительно маленькой адгезионной площадью не позволяет их применение для прогнозирования ползучести, так как на данных образцах скорость развития деформаций крайне низкая, а влияние температурного воздействия не значительная. Для исследования ползучести наиболее подходящим типом образцов является конструктивно подобный образец – железобетонная балка, усиленная системой внешнего армирования из углепластика.

**Ключевые слова:** внешнее армирование, усиление, углепластик, эпоксидный адгезив, ползучесть

**Для цитирования:** Шакиров А. Р., Сулейманов А. М. Выбор конструктивно-подобного образца для испытания на ползучесть клеевых соединений элементов усиления конструкций // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с.8-16, DOI: 10.52409/20731523\_2023\_4\_8, EDN: AIRICV

## Selection of a structurally similar sample for creep testing of adhesive joints of structural reinforcement elements

A. R. Shakirov<sup>1</sup>, A.M. Suleymanov<sup>12</sup>

<sup>1</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering,  
Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

**Abstract:** *Problem statement.* The main problem in the strength study of adhesive joints between concrete and carbon fiber on epoxy adhesives is that in most cases the destruction occurs by the separation of concrete. Thus, it is not the strength of the adhesive layer itself that

is being investigated, but the strength of concrete for separation. To study the durability of such joints, it is advisable to study their creep. The purpose of this work is to determine the most suitable type of sample for the creep test of an adhesive joint. The objectives of the study are: the development of types of samples with different configurations of adhesive joints, the determination of the samples strength, the study of the samples behavior under the influence of a constant creep load.

*Results.* The results of the study showed that adhesive joints on samples with relatively small adhesive areas have a rather high rigidity in relation to the concrete substrate itself. The strength of the concrete part lags far behind the strength of the adhesive and carbon fiber itself. The rate of creep development on such samples is extremely low.

*Conclusions.* The deformability of samples with a relatively small adhesive area does not allow their use to predict creep, since the rate of deformation development on these samples is extremely low, and the effect of temperature exposure is not significant. To study creep, the most suitable type of samples is a structurally similar sample – a reinforced concrete beam reinforced with an external reinforcement system made of carbon fiber.

**Keywords:** external reinforcement, reinforcement, carbon fiber, epoxy adhesive, creep

**For citation:** Shakirov A. R., Suleymanov A. M. Research of adhesive joints between concrete and carbon fiber on epoxy adhesives of various configurations // News KSUAE, 2023, № 4(66), p.8-16, DOI: 10.52409/20731523\_2023\_4\_8, EDN: AIRICV

## 1. Введение

Системы внешнего армирования железобетонных элементов из углеродных композитов успешно применяются при усилении конструкций зданий [1-3] и конструкций мостовых сооружений [4-6].

Как известно по многочисленным исследованиям в области систем внешнего армирования (СВА) [7-9], при определении прочности адгезионного соединения между бетоном и углепластиком разрушение практически всегда происходит отрывом бетона [10, 11]. Очевидно, что при таком виде разрушения определяется не прочность самого адгезионного слоя, а прочность бетона на отрыв. Согласно существующим исследованиям, адгезионное соединение между бетоном и эпоксидным адгезивом имеет сложную природу. В особенности образуются новые химические связи [12]. Учитывая вышесказанное, при изучении долговечности адгезионного слоя между бетоном и эпоксидным адгезивом необходимо учитывать природу адгезионного соединения. Для исследования долговечности СВА разработана методика прогнозирования ползучести методом температурно-временной аналогии, позволяющая учитывать совместную работу адгезионного соединения «бетон-эпоксидный адгезив-углепластик» [14].

Для разработки методики прогнозирования ползучести методом аналогий необходимо определить тип образца, применяемого для испытаний. Образец выбирается исходя из условия соответствия следующим требованиям:

1. Образцы должны обеспечить совместную работу системы, состоящей из бетонного основания, эпоксидного адгезива и углепластика.
2. Образцы должны моделировать реальную работу адгезионного слоя в конструкции при напряженно-деформированном состоянии.
3. Деформативность образца должна обеспечить достаточное предельное значение во всех заданных температурах испытания для возможности отработки всех температурных циклов и построения изотермических кривых.

В изгибаемых элементах конструкций адгезионный слой воспринимает усилия растяжения. Для экспериментальных исследований изготовлены три вида образцов, моделирующих данное НДС адгезива:

1. Железобетонная балка, усиленная СВА в растянутой зоне [15].
2. Образец-кубик с приклеенной углекомпозитной ламелью внахлест.
3. Шарнирная балочка из двух бетонных призм, соединенных шарнирно при помощи углекомпозитной ламели.

Целью данной работы является выбор конструктивно-подобного образца для испытания на ползучесть клеевых соединений элементов усиления конструкций.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изготовление образцов для экспериментального исследования.
2. Определение кратковременной прочности каждого образца.
3. Анализ характера разрушения и деформативности образцов.
4. Проведение испытаний на ползучесть со ступенчатым повышением температурного воздействия.

## 2. Материалы и методы

Для определения кратковременной прочности и выявления масштабного фактора изготовлены образцы системы «бетон – эпоксидный адгезив – углепластик». Для испытаний необходимо 3 серии образцов с шириной склеивания 40, 60, 80 мм, длина склеивания на всех образцах одинакова – 40 мм (рис. 1а). Изготавливаются кубики из бетона В45 размерами сторон 100 мм. Для изготовления образцов применялись углекань FibArm Tape 230/300 и эпоксидный адгезив FibArm Resin 230+.

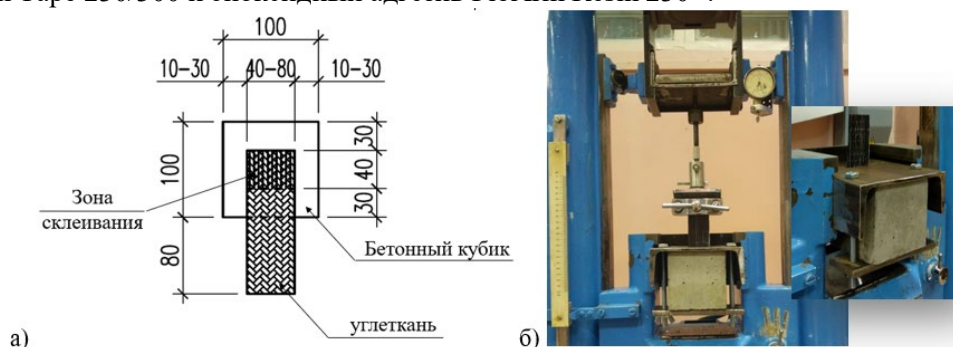


Рис. 1. Размеры образцов (а) и их испытание (б) (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Sample sizes (a) and their testing (b) (illustration by the authors)

Бетонные кубики шлифуются алмазной коронкой, из поверхности удаляется лишняя пыль. Далее поверхность кубика обезжиривается ацетоном и пропитывается клеем. Для предотвращения скалывания при отрыве вокруг склеиваемой зоны необходимо оставлять не проклеенные участки, которые при пропитки клеем заклеиваются клейкой лентой (скотчем).

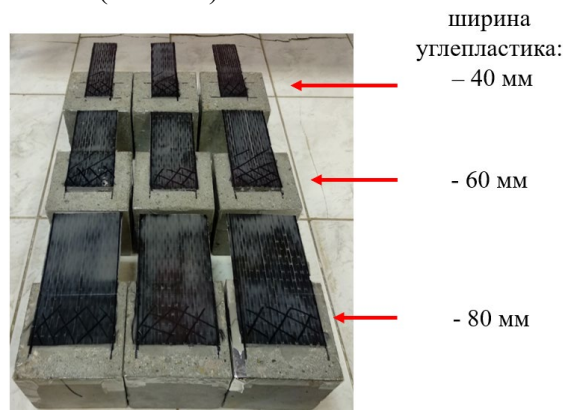


Рис. 2. Готовая партия образцов (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Finished batch of samples (illustration by the authors)

Для изготовления образцов берется подложка из полиэфталатовой пленки, где делается разметка под нужные размеры. На подложке клеем пропитываются листы углекань. По заранее размеченным линиям сверху устанавливаются пропитанные клеем кубики. Готовые образцы приведены на рисунке 2.

После достижения клеем полной полимеризации, образцы испытываются на сдвиг при растяжении на разрывной машине при скорости нагружения 10 мм/мин (рис. 1б).

По результатам кратковременных испытаний определяется образец с наиболее оптимальными размерами шва. Далее изготавливается дополнительная партия образцов с выбранными параметрами. Образцы устанавливаются на испытательный стенд под постоянной нагрузкой 70% от средней разрушающей при температуре 20°C. Через каждые 30 минут температуру испытаний ступенчато повышают на 5°C. Испытание продолжается до разрушения образца либо до остановки ползучести.

Для определения прочности адгезионного соединения на растяжение при изгибе изготавливались образцы из двух стандартных бетонных призм 1 (рис. 3а) сечением 40x40 мм и длиной 160 мм. Класс бетона В40. Две призмы соединялись между собой шарнирно при помощи углепластика FibArm Tape 230/300 2 и эпоксидного адгезива FibArm Resin 230+ 3 (рис. 3а). Для образования шарнира в сжатой зоне между двумя призмами предусмотрен металлический цилиндр 5 (рис. 3а) диаметром 5 мм. Цилиндр установлен привязкой 75 мм от сжатой грани образца. Для предотвращения смятия в зоне установки шарнира установлены металлические пластины 7 толщиной 1 мм. Пространство между двумя призмами заполнено вспененным материалом 6. Чтобы предотвратить скалывание угла бетонной призмы по краям рабочей зоны предусмотрены непроклеенные зоны. Для этого эти зоны проклеивали скотчем 4. Образцы изготавливались сериями длиной адгезионного соединения 76,5, 40, 30, 15, 10 мм. В каждой серии изготовлено по 3 образца.

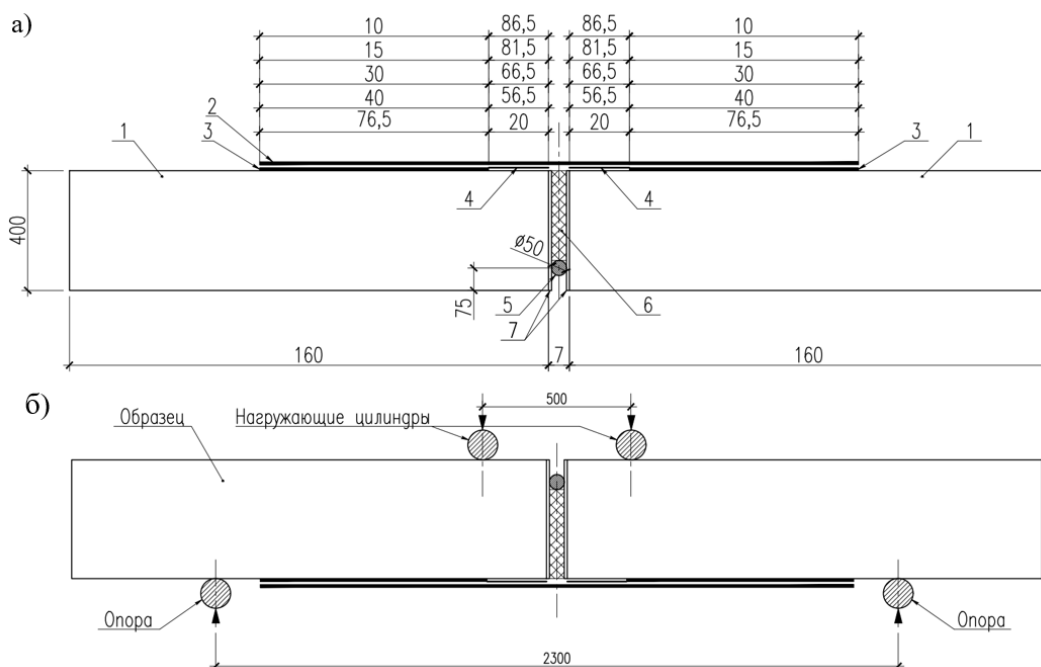


Рис. 3. Схема шарнирного образца из двух призм (а) и схема нагружения (б)  
(иллюстрация авторов)

Fig. 3. A diagram of a hinged sample of two prisms (a) and a loading diagram (b)  
(illustration by the authors)

Образцы испытывались на изгиб по схеме, указанной на рисунке 3б. Определялись кратковременная прочность образцов и фиксируется характер разрушения адгезионного шва.

По результатам кратковременных испытаний определяется образец с наиболее оптимальными размерами шва. Далее изготавливается дополнительная партия образцов с выбранными параметрами. Образцы устанавливаются на испытательный стенд под постоянной нагрузкой 70% от средней разрушающей при температуре 20°C. Через каждые 30 минут температуру испытаний ступенчато повышают на 5°C. Испытание продолжается до разрушения образца либо до остановки ползучести.

### 3. Результаты и обсуждение

По результатам испытаний на образцах с шириной склеивания 40 мм разрушение преимущественно происходит по поверхности. На образцах с большей шириной

склеивания – это 60 и 80 мм – преимущественно происходит смешанное разрушение, то есть разрушение происходит и по бетону, и по поверхности (рисунок 4).

Таблица 1

## Несущая способность образцов на растяжение

Ширина склеивания, мм	№	Разрушающая нагрузка Р, кг	Площадь, см <sup>2</sup>	Касательные напряжения $\tau$ , кг/см <sup>2</sup>	Среднее значение касательных напряжений $\tau$ , кг/см <sup>2</sup>
40	1	440	13,6	32,35	29,91
	2	425	14,78	28,76	
	3	438	15,31	28,61	
60	1	721	21	34,33	34,43
	2	719	19,49	36,89	
	3	720	22,46	32,06	
80	1	1137	32,1	35,42	34,9
	2	1080	31,4	34,39	
	3	1105	31,68	34,88	

При значительно больших нагрузках площадь разрушения не велика, так как углеволокно отклеивается не полностью, а частично (например, отклеивание 2/3 ширины углеткани). Это можно объяснить тем, что система сопротивляется растяжению изначально всей площадью склеивания, но разрушение происходит для того условного участка, где наименьшее сопротивление отрыву. Что в свою очередь может возникнуть из-за ряда причин:

- различная прочность сцепления по площади склеивания (может возникнуть из-за неоднородности структуры бетона, влияющей на проникновение клея в бетон);
- неравномерное проскальзывание углеткани из захваток, приводящее к исключению отдельных участков из работы либо их ослабление.

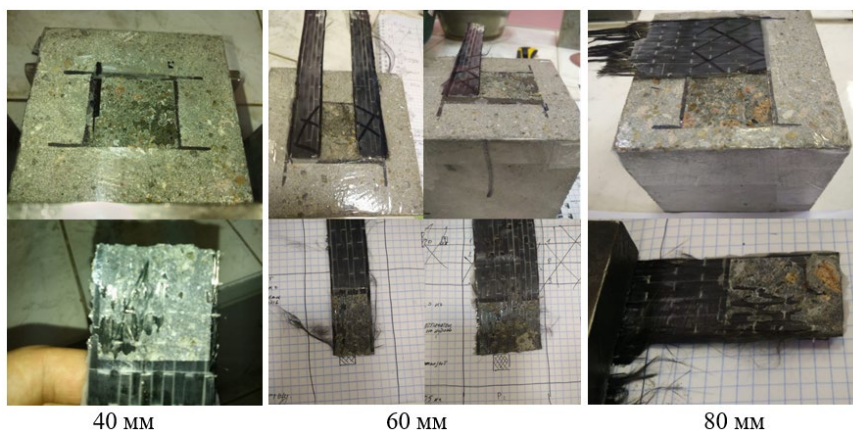


Рис. 4. Результаты испытаний образцов на растяжение (иллюстрация авторов)  
Fig. 4. Results of tensile testing of samples (illustration by the authors)

Для испытаний на ползучесть был выбран образец с шириной шва 40 мм. На образец была приложена постоянная нагрузка 305 кг, что равно 70% от средней разрушающей нагрузки в 435 кг. Начальная температура эксперимента составила 20°C. В результате эксперимента в течении 60 минут воздействия постоянной нагрузки при начальной температуре 20 °C не было зафиксировано изменения значений деформации. Таким образом данный тип образца нельзя применять для прогнозирования методом температурно-временной аналогии.

Результаты испытаний шарнирных образцов балочек на растяжение при изгибе показали, что при длине адгезионного шва 30 мм и больше разрушение происходит изломом бетонной балочки вне зоны усиления. Разрушение образцов с длиной

адгезионного шва 10 мм имеет различный характер (рисунок 5). У первого образца разрушение произошло отрывом бетона по всей ширине балочки на глубину до 1 мм, на втором образце разрушение шва имеет смешанный характер, т. е. наблюдается отрыв бетона и отклеивание по поверхности. Такое отличие характера разрушения отражается и в показаниях прочности – большой разброс значений. У образцов длиной шва 15 и 20 мм разрушение имеет в основном смешанный характер. Относительно стабильное разрушение адгезионного шва помогло добиться меньшего разброса значений прочности.

Таблица 2

## Несущая способность образцов на растяжение при изгибе

Длина склеивания, мм	№	Разрушающая нагрузка Р, кг	Площадь, см <sup>2</sup>	Касательные напряжения $\tau_1$ , кг/см <sup>2</sup>	Среднее значение касательных напряжений $\tau$ , кг/см <sup>2</sup>
30	1	463	12	38,58	38,04
	2	450		37,50	
20	1	413	8	51,63	50,13
	2	389		48,63	
15	1	326	6	54,33	58,42
	2	375		62,50	
10	1	170	4	42,50	58,13

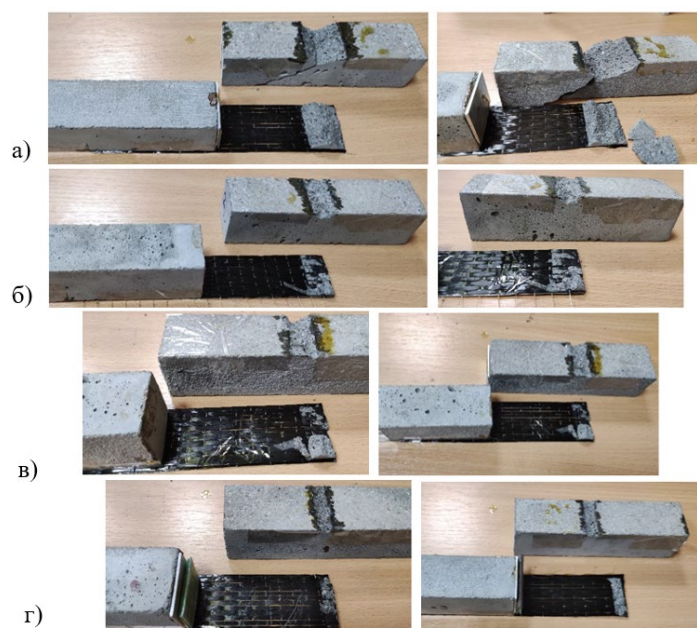


Рис. 5. Результаты испытаний шарнирных образцов на растяжение при изгибе: а) длина шва 30 мм, б) длина шва 20 мм, в) длина шва 15 мм, г) длина шва 10 мм (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Test results of hinge samples for tensile bending: a) seam length 30 mm, b) seam length 20 mm, c) seam length 15 mm, d) seam length 10 mm (illustration by the authors)

Для испытаний на ползучесть был выбран образец с шириной шва 20 мм. На образец была приложена постоянная нагрузка 280 кг, что равно 70% от средней разрушающей нагрузки в 400 кг. Начальная температура эксперимента составила 25°C. Температуру испытаний повышали ступенчато на 5°C каждые 30 минут. Эксперимент проводился до остановки развития ползучести образца.

Из графика ступенчатой ползучести (рисунок 6) видно, что основной рост деформаций наблюдается в момент нагревания образца за короткий промежуток времени около 5-ти минут. Далее же развитие ползучести останавливается. Вероятно, наблюдаемые деформации вызваны не ползучестью адгезионного шва, а распрямлением пропитанной эпоксидным адгезивом углеткани в середине пролета образца (между

швами) при нагревании. Таким образом данное поведение образца затрудняет ее применением для прогнозирования методом температурно-временной аналогии.

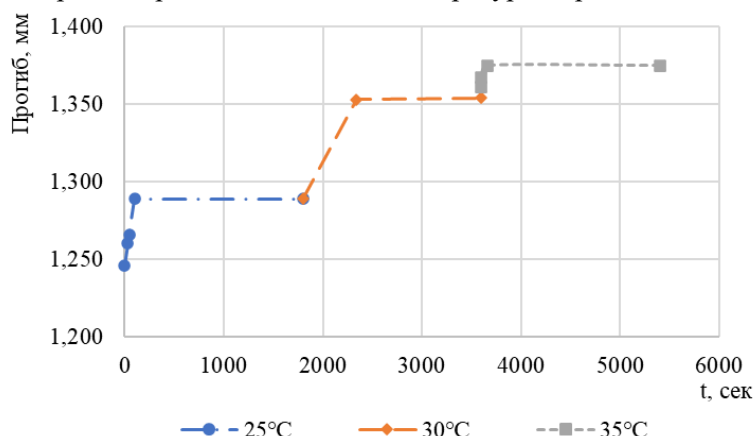


Рис. 6. График ступенчатой ползучести шарнирного образца (иллюстрация авторов)

Fig. 6. Graph of the step creep of the hinge sample (illustration by the authors)

Результаты исследования НДС железобетонной балки (рисунок 7), усиленной углепластиком подробно представлены в статье [15]. По результатам экспериментального исследования с применением тензометрии выявлено поведение железобетонной балки, усиленной СВА, под действием постоянной нагрузки. По сравнению с рассмотренными в данной статье образцами с уменьшенными габаритами, под воздействием длительной нагрузки образец-балка имеет существенную ползучесть. Под воздействием температуры ползучесть образца ускоряется. При этом, при ступенчатом повышении температуры наблюдается ступенчатое развитие ползучести.



Рис. 7. Образец-балка усиленная СВА (иллюстрация авторов)

Fig. 7. Sample - beam reinforced with carbon fiber (illustration by the authors)

Очевидно, что выявленные отличия в поведении деформативности, в особенности ползучести, адгезионного слоя для различных типов образцов обусловлено именно характером его работы. Под воздействием нагрузки на растяжение для образца-кубика и нагрузки на растяжение при изгибе для шарнирного образца под адгезионным слоем не образуются микротрещины в бетоне. В случае с образцом-кубиком бетон работает преимущественно на отрыв. На шарнирном образце изгибающие усилия воспринимаются исключительно углеволокном за счет шарнира. А сам бетон работает на скалывание. При этом, вероятно, разрушение адгезионного соединения по бетону происходит на много меньшим усилием, чем способно воспринимать само адгезионное соединение. Таким образом, нагрузка, подобранная, опираясь на полученные данные по результатам определения прочности соединения не оказывает существенного влияния на ползучесть адгезионного соединения.

Работа железобетонной балки имеет более сложный характер. Под воздействием нагрузки балка прогибается, образуются растягивающие усилия, в растянутой зоне бетона образуются микротрещины. Через адгезионный слой усилия растяжения передаются на углепластик. В связи со значительной длиной растянутой зоны и кривизны изгиба по всей длине адгезионный слой воспринимает усилия различной величины и направленности. Таким образом сопротивление растяжению оказывает и сама железобетонная балка, и углепластик. С учетом большего сопротивления растяжению углеволокном, чем бетоном в адгезионном слое образуются пластические деформации [15], развитие которых и способствует ползучести самой железобетонной балки, усиленной СВА.

#### 4. Заключение

Как показывают результаты экспериментальных исследований, деформативность описанных в данной статье образцов не позволяет их применение для прогнозирования ползучести, так как на данных образцах скорость развития деформаций крайне низкая, а влияние температурного воздействия незначительная.

Наиболее подходящим типом образца для применения при испытаниях методом температурно-временной аналогии является железобетонная балка, усиленная СВА. Характер НДС данных образцов позволяет использовать широкий диапазон внешних воздействий при моделировании ускоренных испытаний. Что в свою очередь дает возможность максимально точно учитывать эксплуатационный режим конструкции для прогнозирования долговечности в режиме ползучести.

#### Список литературы/ References

1. Seo, Soo-Yeon. (2013). Structural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Carbon Fiber Reinforcement Polymer Plate. *Applied Mechanics and Materials*. 302. 338-342. 10.4028/www.scientific.net/AMM.302.338.
2. Mitsui, Y. & Nurakami, K. & Takeda, K. & Sakai, H.. (1998). Shear reinforcement of RC beams using carbon fiber sheets. 924-925.
3. В.И. Римшин, Л.А. Сулейманова, П.А. Амелин, А.А. Крючков. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, имеющих повреждения арматуры вследствие контакта с хлоридной агрессивной средой // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 138-146. [V.I. Rimshin, L.A. Suleymanova, P.A. Amelin, A.A. Kryuchkov. Experimental studies of bent reinforced concrete elements with reinforcement damage due to contact with chloride aggressive medium // Expert: theory and practice. 2023. No. 3 (22). P. 138-146.] doi:10.51608/26867818\_2023\_3\_138.
4. А.А. Евдокимов, Э.Ш. Имаметдинов, С.С. Малаховский. Усиление строительных конструкций из бетона системой внешнего армирования из углепластика // ТРУДЫ ВИАМ №10 (92) 2020. [A.A. Evdokimov, E.Sh. Imametdinov, S.S. Malakhovskiy. Strengthening concrete building structures via external reinforcement system from carbon plastic// PROCEEDINGS OF VIAM No. 10 (92) 2020.] DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-73-80.
5. Кугаевский Н.М., Овчинников И.И. Оценка эффективности усиления железобетонных балок пролетных строений автодорожных мостовых сооружений полимерными композиционными материалами // Вестник Евразийской науки, 2021 №2, <https://esj.today/PDF/09SAVN221.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. [Kugaevskiy N.M., Ovchinnikov I.I. (2021). Assessment of the effectiveness of strengthening of reinforced concrete beams of superstructures of road bridges with polymer composite materials. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(13). Available at: <https://esj.today/PDF/09SAVN221.pdf> (in Russian)]
6. Regalado, Arturo & Carpenter, Brice & Jáuregui, David & Weldon, Brad. (2017). Performance Evaluation of a Reinforced Concrete Slab Bridge Retrofitted with Carbon Fiber Reinforcement Polymer Laminate System. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2642. 68-76. 10.3141/2642-09.
7. Фролов К.Е. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных композитными материалами // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 3. С. 237–242. [Frolov K.E. Experimental studies of reinforced concrete structures of hydraulic facilities reinforced with composite materials // Construction mechanics of engineering structures and structures. 2019. Vol. 15. No. 3. P. 237-242.] <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-3-237-242>
8. Гапонов В.В. Экспериментальные исследования усиления плит перекрытия коллекторных тоннелей сетками из углеродных волокон в матрице на минеральной основе // Промышленное и гражданское строительство. - 2011. - №11. – С. 69-71. [Gaponov V.V. Experimental studies of reinforcement the floor slabs



- of collector tunnels with carbon fiber meshes in a mineral-based matrix // *Industrial and Civil Construction*. - 2011. - №11. – P. 69-71.]
9. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 1. Отечественные эксперименты при статическом нагружении // Интернет-журнал "Науковедение". - 2016 г. - №3 : Т. 8. [Ovchinnikov I.I. Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Mikhalkin E.S. Analysis of experimental studies on strengthening reinforced concrete structures with polymer composite materials. Part 1. Domestic experiments with static loading // *Online journal "Science Studies"*. - 2016.. - No. 3 : Vol. 8.]
  10. Смоляго Г. А., Обернихина Я. Л. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных углепластиком // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2022, №4 [Smolyago G. A., Obernikhina Ya. L. Strength and deformability of bent reinforced concrete elements reinforced with carbon fiber // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2022, №4]
  11. Маилян Д.Р., Польской П.П. Прочность и деформативность вновь усиленных композитными материалами балок, при различных варьируемых факторах // *Электронный научный журнал Инженерный вестник Дона*, №2, 2013 – Режим доступа: [ivdon@ivdon.ru](mailto:ivdon@ivdon.ru). [Mailyan D.R., Polskoy P.P. Strength and deformability of beams newly reinforced with composite materials, under various variable factors // *Electronic scientific journal Engineering Bulletin of the Don*, No. 2, 2013 – Access mode: [ivdon@ivdon.ru](mailto:ivdon@ivdon.ru)]
  12. Djouani, Fatma & Connan, Carole & Delamar, Michel & Chehimi, Mohamed & Benzarti, Karim. (2011). Cement paste–epoxy adhesive interactions. *Construction and Building Materials*. 25. 411-423. 10.1016/j.conbuildmat.2010.02.035.
  13. Шилин А.А., Зайцев М.В., Картузов Д.В. Пособие по усилению железобетонных конструкций с использованием композитных материалов. – Москва, 2017 [Shilin A.A., Zaitsev M.V., Kartuzov D.V. Manual on strengthening reinforced concrete structures using composite materials. – Moscow, 2017]
  14. Shakirov, Almaz & Suleymanov, Alfred. (2021). Prediction of Creep for a Reinforced Concrete Beam Strengthened with an External Reinforcement System Using the Stepped Isothermal Method. 10.1007/978-3-030-80103-8\_12.
  15. Сулейманов А.М., Шакиров А.Р. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных балок, усиленных углепластиком // *Строительные материалы*. 2023. № 4. С. 10–17. [Suleymanov A.M., Shakirov A.R. Experimental study of the stress-strain state of reinforced concrete beams reinforced with carbon fiber. 2023. No. 4. P. 10-17.] DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-10-17>

#### Информация об авторах

**Шакиров Алмаз Райнурович**, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: [alma-94@mail.ru](mailto:alma-94@mail.ru)

**Сулейманов Альфред Мидхатович**, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, член-корр. Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: [alfred-sulejmanov@yandex.ru](mailto:alfred-sulejmanov@yandex.ru)

#### Information about the authors

**Almaz R. Shakirov**, graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: [alma-94@mail.ru](mailto:alma-94@mail.ru)

**Alfred M. Suleymanov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, corr.-m. Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

E-mail: [alfred-sulejmanov@yandex.ru](mailto:alfred-sulejmanov@yandex.ru)