

УДК 691.175

Сулейманов Альфред Мидхатович

доктор технических наук, профессор

E-mail: sulejmanov@kgasu.ru

Шакиров Алмаз Райнурович

аспирант

E-mail: alma-94@mail.ru

Аглиуллина Аделя Фаритовна

инженер

E-mail: delestream@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Старовойтова Ирина Анатольевна

кандидат технических наук, заместитель директора по науке

E-mail: irina-starovoitova@yandex.ru

ООО «НПФ «Рекон»

Адрес организации: 420095, Россия, г. Казань, ул. Восстания, 100, Технополис «Химград», стр. 7

Исследование кратковременной и длительной прочности адгезионных клеевых соединений для устройства систем внешнего армирования строительных конструкций

Аннотация

Постановка задачи. Одним из эффективных современных методов усиления строительных конструкций является использование систем внешнего армирования с применением углеродных композиционных материалов. Для оценки технико-экономической эффективности применения полимерных композиционных материалов в системах внешнего армирования строительных конструкций необходимо знать их долговечность или прогнозируемый срок службы. Целью данного этапа работы является определение коэффициентов длительной прочности клеевых соединений на основе результатов механических испытаний.

Результаты. Исследована адгезионная прочность клеевых соединений: «металл – эпоксидный клей – металл», «бетон – эпоксидный клей – углеродная ткань», «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань». Определены значения кратковременной и длительной прочности клеевых соединений различных типов, получены температурные коэффициенты условий работы для различных температурных режимов эксплуатации, рассчитаны коэффициенты длительной прочности.

Выводы. Значимость полученных данных для строительной отрасли состоит в разработке методов оценки долговечности клеев для устройства систем внешнего армирования. Полученные на данном этапе результаты будут использованы при проведении экспериментальных работ по оценке долговечности эпоксидных клеев и прогнозированию сроков службы систем внешнего армирования строительных конструкций.

Ключевые слова: система внешнего армирования, усиление строительных конструкций, полимерные композиционные материалы, эпоксидный клей, долговечность, прочность, коэффициент длительной прочности.

Введение

На сегодняшний день существует значительное количество зданий и сооружений (гражданских, промышленных, спортивных), построенных 30-40 и более лет назад и интенсивно эксплуатируемых до сих пор. С учетом развития процессов коррозии, старения и разрушения несущих конструкций зданий и сооружений с течением времени, изменяющихся условий эксплуатации и других факторов, многие элементы и конструкции требуют технического перевооружения и реконструкции. В процессе эксплуатации возникает вопрос об усилении конструктивных элементов.

Для восстановления наряду с применением традиционных способов и материалов для ремонта и усиления (наращивание сечений, изменение расчетных схем, применение стальных обоев и др.) [1, 2], большое внимание уделяется поиску и разработке новых конструктивных решений и материалов, которые по своей эффективности превосходят известные способы усиления и ремонта. Одним из эффективных современных методов усиления строительных конструкций является использование систем внешнего армирования (СВА) строительных конструкций с применением углеродных композиционных материалов [3-6]. СВА включает изделия (ткани, холсты, ленты) из армирующих высокопрочных волокон – как правило, углеродных (существенно реже – стеклянных или базальтовых) и клеевые связующие – обычно на эпоксидной основе, с помощью которых осуществляется пропитка и закрепление армирующих волокон на поверхности усиливаемой конструкции.

С учетом накопленного опыта применения СВА и результатов научных исследований в данной области был разработан и введен в действие Свод правил (СП) 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования». В данном СП расчетное значение сопротивления растяжению R_f для композитного материала существенно снижается по сравнению с нормативным значением $R_{(f,n)}$. Значимым параметром, уменьшающим нормативное значение сопротивления растяжению $R_{(f,n)}$, является коэффициент условий работы, учитывающий сцепление композитного материала с бетоном γ_{f2} . Объясняется это сложной природой адгезионного соединения на эпоксидных связующих между бетоном и композитным материалом. Для дальнейших исследований в этой области, регулирования и оптимизации эксплуатационных характеристик СВА, необходимо иметь надежные методики и экспериментальные инструментари.

На сегодняшний день малоизучен вопрос долговечности адгезионного соединения композитного материала с бетоном. Большинство работ в области систем внешнего усиления строительных конструкций посвящены изучению общих вопросов по усилению композитными материалами. Так, например, проведенный анализ наиболее ценных исследований, по мнению авторов работ [7, 8] показывает недостаточность приведенных результатов исследований. В работах [9, 10] отмечается зависимость долговечности конструкций, усиленных СВА, от множества эксплуатационных условий.

Для оценки долговечности СВА необходимо изучить длительную прочность клеевого соединения в этих системах.

На характер разрушения клеевого соединения существенное влияние оказывают релаксационные свойства полимера. Это проявляется при изменении скорости нагружения. Известно, что при небольших скоростях нагружения происходит когезионное разрушение (в основном и промежуточных слоях), а повышение скорости приводит к адгезионному или адгезионно-смешанному разрушению. Объясняется это тем, что при высокой скорости разрушения клеевой прослойки, исключается релаксация напряжений [11]. Таким образом, механизм разрушения клеевого соединения при кратковременных испытаниях отличается от разрушения при длительном воздействии механической нагрузки.

То есть, клеевым соединениям, как и всем твердым телам, свойственна временная зависимость прочности от напряжения. По этой причине необходимо определять эксплуатационные свойства клеевых соединений под действием длительного напряжения.

Поэтому во многих случаях вместо понятия «прочность» следует использовать более широкое понятие «длительная прочность», т.е. функциональную зависимость между временем до разрушения и приложенной нагрузкой [11].

Другой аспект, результаты экспериментов, посвященные исследованию прочности и долговечности СВА в железобетонных конструкциях, показывают, что разрушение всегда происходит по бетону. Таким образом, в системе «бетон-эпоксидный клей-углеродная ткань» определяется прочность и долговечность бетона, а не адгезионного соединения бетон-клей, что, в свою очередь, не дает возможность получать достоверные данные при исследованиях по модификации адгезионного соединения в этом звене СВА.

В данной работе, в целях оперативного определения параметров расчётного аппарата СВА разработана методика оценки длительной прочности клеевого соединения данной системы.

Материалы и методы адгезионных испытаний клеевых связующих

Для определения исходных характеристик были изготовлены и испытаны образцы на кратковременную прочность. При этом исследованы следующие типы клеевых соединений:

- 1) «металл – эпоксидный клей – металл»;
- 2) «бетон – эпоксидный клей – углеродная ткань»;
- 3) «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань».

Испытания на определение кратковременной прочности проводятся на образцах клеевого соединения типа «металл – эпоксидный клей – металл» и «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань».

Тип соединения «металл – эпоксидный клей – металл» представляет собой два металлических «грибка», соединенных между собой при помощи эпоксидного клея (рис. 1а), тип соединения «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань» представляет собой металлическую пластину с приклеенной к ней углеродной тканью с одной (рис. 1 б) либо с двух сторон (рис. 1в). При типе соединения «бетон – эпоксидный клей – углеродная ткань» углеродная ткань приклеивается на бетонную балочку.

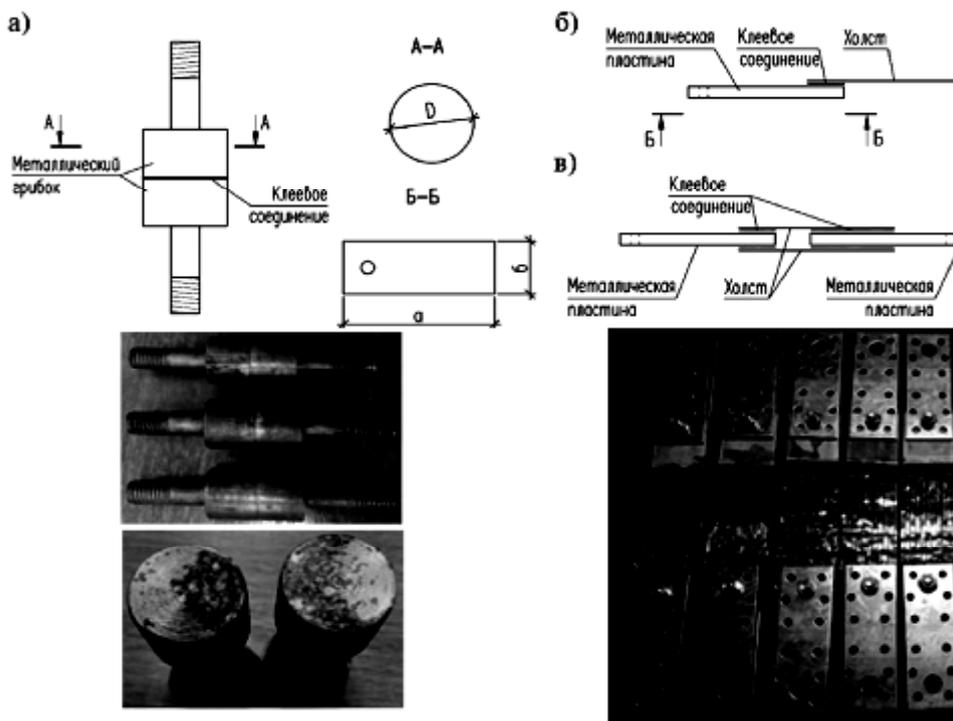


Рис. 1. Схемы клеевых соединений: а) тип соединения «металл – эпоксидный клей – металл»; б), в) типы соединения «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань» (иллюстрация авторов)

Образцы типа соединения «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань» изготавливали с применением пластин в нескольких вариантах:

- 1 – с применением металлической пластины из черного металла без предварительной обработки поверхности склеивания;
- 2 – с применением металлической пластины из черного металла с предварительной обработкой поверхности склеивания;
- 3 – с применением металлической пластины из нержавеющей стали без предварительной обработки поверхности склеивания;
- 4 – с применением металлической пластины из нержавеющей стали с предварительной обработкой поверхности склеивания.

Для создания шероховатой поверхности (подобной поверхности бетона) площадь склеивания металлических пластин 2-го и 4-го варианта клеевых соединений обрабатывали на круге истирания с применением кварцевого песка.

Размеры металлических пластин из чёрного металла и нержавеющей стали составляли 60×20×4 мм (длина, ширины, толщина).

Длина нахлеста при формировании клеевого соединения составляла 25 мм.

При изготовлении клеевых соединений использовали углеродную ткань FibArm Tare – 530 российского производства.

При изготовлении образцов применялся клей на эпоксидной основе холодного отверждения российского производства. Клеевые соединения различных типов испытывались через 7 суток отверждения при температуре $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$.

Длительная прочность определяется на образцах типа соединений «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань» с приклеиванием углеродной ткани с двух сторон. С учетом склонности черного металла к коррозии при воздействии влаги, образцы были изготовлены с применением пластин из нержавеющей стали.

Для определения длительной прочности были изготовлены испытательные стенды, обеспечивающие длительное приложение постоянной статической нагрузки (рис. 2-3). Испытательный стенд представляет собой металлическую раму из двух швеллеров, соединенных между собой металлическими стержнями. На верхний швеллер крепится пружина, на двух швеллерах соосно с осью пружины высверливаются отверстия для прохода шпилек. Для сжатия пружин и нагружения образцов предусмотрена затяжная гайка. Величина нагружения контролируется при помощи индикаторов часового типа, которые крепятся между двумя ветками пружины так, чтобы можно было контролировать перемещение витков пружины. Перед нагружением каждая пружина тарировалась с использованием динамометра, определялась зависимость между перемещением витков и соответствующей нагрузкой. Для предотвращения перекоса образцов предусмотрен шарнирный узел крепления.

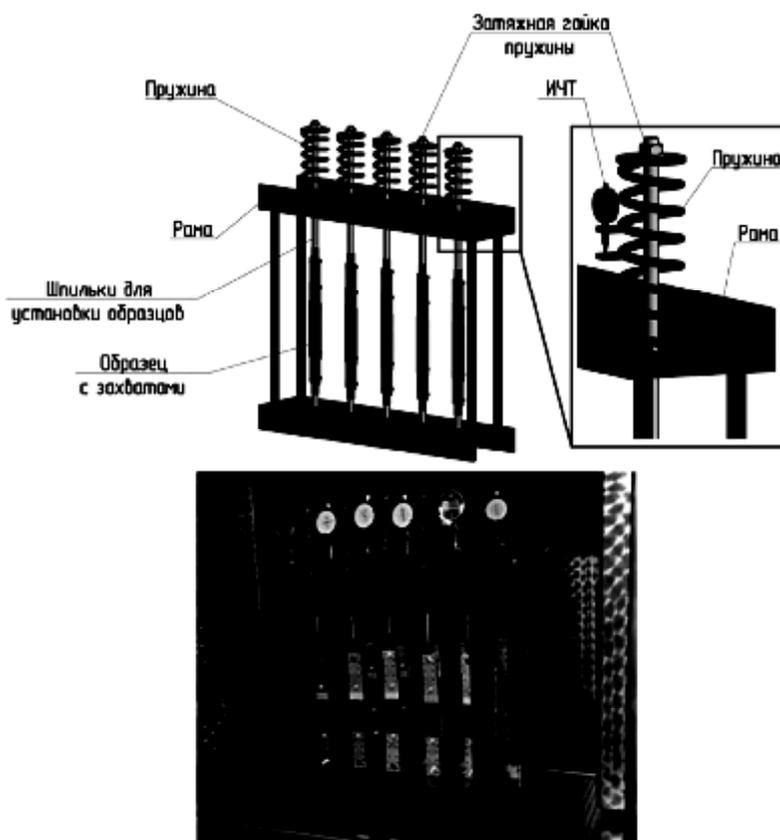


Рис. 2. Принципиальная модель и фото установки (испытательного стенда) для определения длительной прочности клеевых соединений (иллюстрация авторов)

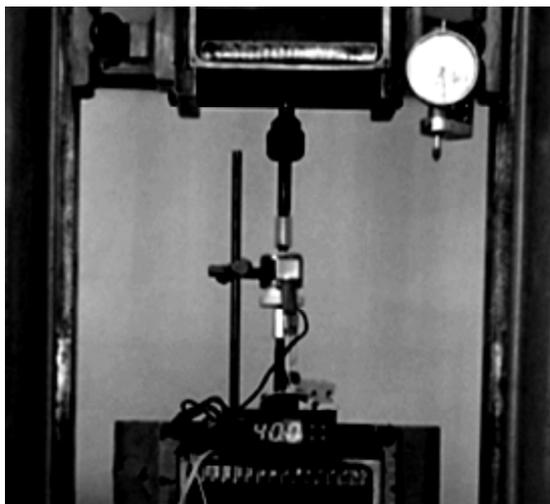


Рис. 3. Определение кратковременной адгезионной прочности клеевого соединения при отрыве (к стали) внутри термоустановки (иллюстрация авторов)

При длительных механических испытаниях образцов в условиях повышенных температур разработанные испытательные стенды с закрепленными клеевыми соединениями помещали в климатическую камеру (термобарокамеру) ПЛКА (рис. 2), где устанавливали соответствующий температурный режим.

Результаты механических (адгезионных) испытаний клеевых связующих для устройства СВА строительных конструкций

Образцы типа соединения «металл – эпоксидный клей – металл» были испытаны на модернизированной разрывной машине с термостатом (рис. 3) при четырех температурных режимах: $t_1=20^{\circ}\text{C}$, $t_2=40^{\circ}\text{C}$, $t_3=60^{\circ}\text{C}$, $t_4=80^{\circ}\text{C}$. Результаты испытаний приведены в табл. 1 и на рис. 4.

Из данных табл. 1 видно, что с повышением температуры предел прочности клеевого соединения существенно снижается – с 8,0 МПа при 20°C до 1,75 МПа при 80°C . При этом в интервале температур от 40°C до 60°C наблюдается достаточно интенсивное снижение предела прочности, что, скорее всего, обусловлено переходом эпоксидного адгезива в этом интервале температур из стеклообразного состояния в высокоэластическое.

Таблица 1

Кратковременная адгезионная прочность клеевых соединений «металл – эпоксидный клей – металл» при различных температурах испытаний

№	Температура испытаний t , $^{\circ}\text{C}$	Предел прочности, МПа	Среднее значение предела прочности, МПа	Температурный коэффициент условий работы, m_t
1	20	7,573	8,02	1,0
2		7,714		
3		8,762		
4	40	6,582	6,79	0,85
5		6,440		
6		7,360		
7	60	3,255	3,00	0,37
8		2,619		
9		3,114		
10	80	1,557	1,75	0,2
11		2,265		
12		1,415		

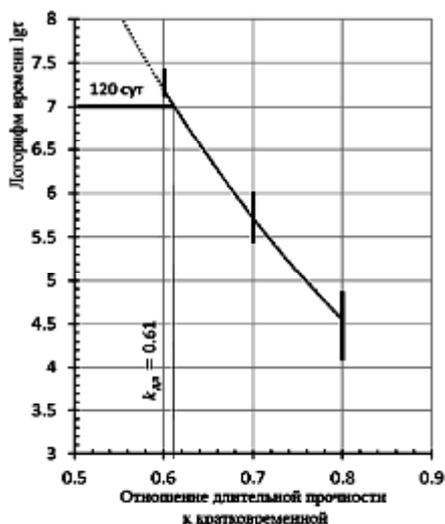


Рис. 4. График зависимости длительной прочности клевого соединения от логарифма времени (иллюстрация авторов)

При испытании образцов типа соединения «бетон – эпоксидный клей – углеродная ткань» во всех образцах разрушение происходило когезионно по бетону (рис. 5). Данный тип разрушения не подходит для исследования прочности клевого соединения. Поэтому дальнейшие исследования были проведены на клеевых соединениях с применением металлических пластин.

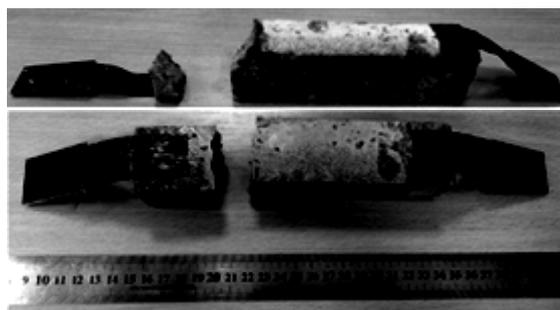


Рис. 5. Образцы типа клевого соединения «бетон – эпоксидный клей – углеродная ткань» после испытания на разрывной машине (иллюстрация авторов)

При испытании образцов типа соединения «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань» с применением металлических пластин из черного металла были получены большие разбросы в значениях (табл. 2). Это связано с разной степенью шероховатости на поверхностях пластин. Обработка на круге истирания при одинаковых условиях не дает одинаковой шероховатости поверхности, что приводит к значительному разбросу значений, полученных при испытаниях.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов типа соединения «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань»

Наименование показателя	Значение показателя в зависимости от материала пластин и его подготовки:			
	Черный металл (поверхность)		Нержавеющая сталь (поверхность)	
	Без обработки (гладкая)	С обработкой (шероховатая)	Без обработки (гладкая)	С обработкой (шероховатая)
Среднее напряжение σ , МПа	3,17	7,36	5,55	7,1
Дисперсия	0,97	9,36	0,032	0,56

При испытании образцов типа соединения «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань» с применением металлических пластин из нержавеющей стали полученные значения на необработанных образцах наиболее близкие друг другу (табл. 2). Таким образом добиться одинаковой шероховатости при использовании круга истирания достаточно сложно. Поверхность необработанных пластин из нержавеющей стали имеют относительно одинаковую шероховатость по всей площади, что позволяет получать меньший разброс в результатах испытаний. В связи с этим принято решение в дальнейших испытаниях использовать образцы с пластинами из нержавеющей стали без подготовки поверхности. Для предотвращения перекоса образцов при механических испытаниях были изготовлены и испытаны образцы типа соединения «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань» с применением металлической пластины из нержавеющей стали с приклеиванием углеродной ткани с двух сторон. Результаты эксперимента по определению кратковременной прочности клеевых соединений данного типа приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты испытаний образцов клеевого соединения
«металл – эпоксидный клей – углеродная ткань»
с применением металлической пластины из нержавеющей стали
с приклеиванием углеродной ткани с двух сторон**

Наименование показателя	Значение показателя
Среднее напряжение σ , МПа	5,16
Дисперсия	0,32

По результатам кратковременных испытаний образцов типа клеевого соединения «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань» с применением металлической пластины из нержавеющей стали с приклеиванием углеродной ткани с двух сторон принято решение использовать данный тип образцов при определении длительной прочности клеевого соединения.

Длительная прочность образцов клеевого соединения типа «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань» с применением металлической пластины из нержавеющей стали с приклеиванием углеродной ткани с двух сторон определялась под нагрузками $P_{0,8}=0,8 \cdot P_{co}=480$ кгс, $P_{0,7}=0,7 \cdot P_{co}=420$ кгс, $P_{0,6}=0,6 \cdot P_{co}=360$ кгс при температуре $t=20$ °С.

Результаты испытаний по основному методу представлены в табл. 4 и графически выражены в полулогарифмических координатах (рис. 4).

Согласно методике ЦНИИСК [12] длительная статическая прочность определяется по уровню нагрузки, под которой образцы не разрушаются в течение 10^7 - 10^8 сек. «По этой величине длительной статической прочности определяется коэффициент длительной прочности k_{dl} как отношение длительной прочности к кратковременной». Как видно из рис. 4 с уменьшением величины нагрузки длительность пребывания образцов под нагрузкой возрастает. При $P_{0,6}=0,6 \cdot P_{co}$ разрушились менее 5 % из всех испытываемых образцов. Из рис. 5 видно, что при $lgt = 10^7$ отношение длительной прочности к кратковременной $k_{dl}=0,61$.

Таблица 4

**Результаты испытаний образцов типа соединения
«металл – эпоксидный клей – углеродная ткань»
с применением металлической пластины из нержавеющей стали
с приклеиванием углеродной ткани с 2-х сторон на длительную прочность**

Средняя предельная разрушающая нагрузка, $P_{сд}$, кг	Нагрузка при испытаниях P , кг	Среднее время до разрушения τ , с	Отношение длительной прочности к кратковременной	lgt
656,6	525,28	48980,7	0,8	4,64
	459,62	496733,3	0,7	5,62
	393,96	20740000,00	0,6	7,31

Заключение

По результатам проведенных экспериментальных исследований клеевых соединений можно сделать следующие выводы:

1. Механизм разрушения клеевого соединения при кратковременных испытаниях отличается от механизма разрушения при длительном воздействии механической нагрузки.
2. По результатам температурных и длительных испытаний получены температурный коэффициент условий работы k_t для различных температурных режимов эксплуатации, а также коэффициент длительной прочности $k_{дл}$.
3. При испытании адгезионных соединений «бетон – эпоксидный клей – углеродная ткань» разрушение имеет когезионный характер – происходит разрушение бетона и определяется его прочность и долговечность. Соответственно, получить достоверные при исследованиях по модификации адгезионного соединения в этом звене СВА не представляется возможным.
4. Для исследований длительной прочности клеевого соединения предложены образцы клеевого соединения типа «металл – эпоксидный клей – углеродная ткань» с применением металлической пластины из нержавеющей стали с приклеиванием углеткани с двух сторон, что позволит избежать отслоения ткани при испытаниях.

Список библиографических ссылок

1. Шилин А. А., Пшеничный В. А., Картузов Д. В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. М. : Стройиздат, 2007. 184 с.
2. Радайкин О. В., Шарафутдинов Л. А. К определению оптимального фибрового армирования на основе компьютерного моделирования в ПК ANSYS изгибаемых железобетонных элементов, усиленных с применением сталефибробетона : сборник статей III Международной конференции (IX Всероссийской конференции) «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции» / ЧГУ, Чебоксары, 2016. С. 138–143.
3. Viktor Gribniak, Vytautas Tamulenas, Pui-Lam Ng, Aleksandr K. Arnautov, Eugenijus Gudonis, and Ieva Misiunaite. Mechanical Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams Bonded with External Carbon Fiber Sheets. *Materials* (Basel). 2017 Jun. 10 (6). 666 p.
4. Ratan Kharatmol, Pankaj Sananse, Rohit Tambe, Ms. Raksha, J. Khare. Strengthening of Beams Using Carbon Fibre Reinforced Polymer // *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*. 2014. Vol. 2. Iss. 3. P. 119–125.
5. Marwan Blkasem Salah Alferjani, Abdul Aziz Bin Abdul Samad Blkasem Salah Elrawaff, Noridah Binti Mohamad, Mohd Hilton Bin Ahmad. Shear strengthening of reinforced concrete beams using carbon fiber reinforced polymer laminate: A review // *American Journal of Civil Engineering*. 2014. № 2 (1). P. 1–7.
6. Vytautas Tamulenas, Regimantas Ramanauskas, Gintaris Kaklauskas. Experimental and numerical investigation on tensile concrete elements bonded with external CFRP sheets // *Procedia Engineering*. 2017. V. 172. P. 1146–1153.
7. 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. Том 8. № 3.
8. 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.
9. Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Чесноков Г. В., Михалдыкин Е. С., Мандрик-Котов Б. Б. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 3. Влияние циклического нагружения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2016. Том 8, № 5.

10. Лягуша Т. К. Испытания на долговечность железобетонных конструкций, усиленных системой FibARM. М. : ЗАО «ХК «Композит», 2016. 35 с.
11. Фрейдин А. С. Прочность и долговечность клеевых соединений. М. : Химия, 1971. 256 с.
12. Фрейдин А. С., Шолохова А. Б., Ву Ба Кием. Пособие по расчетным характеристикам клеевых соединений для строительных конструкций. М. : Издательство литературы по строительству, 1972. 58 с.

Sulejmanov Alfred Midhatovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: sulejmanov@kgasu.ru

Shakirov Almaz Raynulovich

post-graduate student

E-mail: alma-94@mail.ru

Agliullina Adelya Faritovna

engineer

E-mail: delestream@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Starovoitova Irina Anatolevna

candidate of technical sciences, deputy director for science

E-mail: irina-starovoitova@yandex.ru

LLC «RDC «Recon»

The organization address: 420033, Russia, Kazan, Vosstaniya st., 100, Technopolis «Khimgrad», build 7

**The research of short-term and long-term strength of adhesives bond joint
for the external reinforcement of building structures**

Abstract

Problem statement. Use of external reinforcement systems using carbon composite materials is one of the most effective modern methods of strengthening building structures. It is necessary to know the durability or predicted service life of polymer composite materials to assess the technical and economic efficiency of external reinforcement in building structures. The purpose of this stage of work is to determine the long-term durability coefficients of adhesive joints based on the results of mechanical tests.

Results. The adhesion strength of adhesive joints was investigated in such compounds as: «metal-glue-metal», «concrete-glue-textiles», «metal-glue-textiles». The values of short-term and long-term strength of adhesive joints of various types were determined, obtained temperature coefficients of working conditions for different temperature operation conditions, calculated the coefficients of long-term strength.

Conclusions. The significance of the obtained data for the construction industry consists in the development of methods for assessing the durability of adhesives for the construction of external reinforcement systems. The results obtained at this stage will be used in conducting experimental work to assess the durability of epoxy adhesives and predict the service life of external reinforcement systems for building structures.

Keywords: system of external reinforcement, reinforcement of building structures, polymer composite materials, epoxy adhesive, durability, failure resistance, coefficient of long-term strength.

References

1. Shilin A. A., Pshenichnyi V. A., Kartuzov D. V. External reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials. М. : Stroyizdat. 2007. 184 p.

2. Radaikin O. V., Sharafutdinov L. A. To determination of the optimal fiber reinforcement based on computer simulation in PC ANSYS bending reinforced concrete blocks, reinforced using steel fiber concrete: dig. of art. III International scientific conference (IX All-Russian conference) «New in architecture, design of building structures and reconstruction» / CSU, Cheboksary. 2016. P. 138–143.
3. Viktor Gribniak, Vytautas Tamulenas, Pui-Lam Ng, Aleksandr K. Arnautov, Eugenijus Gudonis, and Ieva Misiunaite. Mechanical Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams Bonded with External Carbon Fiber Sheets. *Materials (Basel)*. 2017 Jun. 10 (6). 666 p.
4. Ratan Kharatmol, Pankaj Sananse, Rohit Tambe, Ms. Raksha, J. Khare. Strengthening of Beams Using Carbon Fibre Reinforced Polymer // *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*. 2014. Vol. 2. Iss. 3. P. 119–125.
5. Marwan Blkasem Salah Alferjani, Abdul Aziz Bin Abdul Samad Blkasem Salah Elrawaff, Noridah Binti Mohamad, Mohd Hilton Bin Ahmad. Shear strengthening of reinforced concrete beams using carbon fiber reinforced polymer laminate: A review // *American Journal of Civil Engineering*. 2014. № 2 (1). P. 1–7.
6. Vytautas Tamulenas, Regimantas Ramanauskas, Gintaris Kaklauskas. Experimental and numerical investigation on tensile concrete elements bonded with external CFRP sheets // *Procedia Engineering*. 2017. V. 172. P. 1146–1153.
7. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. Analysis of experimental studies on the reinforcement of reinforced concrete structures with polymer composite materials. Part 1. Domestic experiments with static loading // *Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE»*. 2016. Tom 8. № 3.
8. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. Analysis of experimental studies on the reinforcement of reinforced concrete structures with polymer composite materials. Part 2. The effect of temperature // *Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE»*. 2016. Tom 8. № 4.
9. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin Ye. S., Mandrik-Kotov B. B. Analysis of experimental studies on the reinforcement of reinforced concrete structures with polymer composite materials. Part 3. The effect of cyclic loading // *Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIYe»*. 2016. Tom 8. № 5.
10. Lyagusha T. K. Tests for durability of reinforced concrete structures reinforced with FibARM system. M. : ZAO «KHK «Kompozit». 2016. 35 p.
11. Freydin A. S. Durability and durability of adhesive joints. M. : Khimiya, 1971. 256 p.
12. Freydin A. S., Sholokhova A. B., Vu Ba Kiyem. Manual on the design characteristics of adhesive joints for building structures. M. : Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, 1972. 58 p.