



Research Article

Received: December 15, 2024

Accepted: December 29, 2024

Published: December January 6, 2025

ISSN 2304-6295

Experimental study on an adhesion of composite rod and concrete

Tyukalov, Yury Yakovlevich.^{1*} Ashikhmin Stanislav Eduardovich.¹ ¹ Vyatka State University, Kirov, Russian Federation; yutvgu@mail.ru (T.Y.Y.);ashihminstanislav@gmail.com (A.S.E.)Correspondence: * email yutvgu@mail.ru; contact phone [+79128218977](tel:+79128218977)

Keywords:

Composite rod; Concrete; Epoxy adhesion; Experiment study; Pull-out test

Abstract:

The object of research is the connection of the composite rods glued into concrete. The objective of this study is to determine the bond strength of the bar to be concrete based on a series of pull-out tests of bonded composite bars. The average shear stresses of the bar to concrete bond at the maximum pull-out force are needed to determine the required anchorage length of the composite rods.

Method. Two series of pull-out tests were performed on composite rods glued into a concrete cube with epoxy glue. The series differed in the thickness of the adhesive layer: 7 mm and 3.5 mm. To determine the class of concrete, three samples were tested for compression. Finite element modeling of the pulling of out of a composite rod from a concrete cube was performed and the numerical results were compared with experimental data. **Results.** Based on the test results, for each series, the average value of the maximum shear stress acting between the rod and concrete was calculated. The values of the stresses were determined by a confidence level of 0.95. Pull-out tests were performed on composite rods cemented into a concrete cube. Experiments showed that in this case the pull-out force and average shear stress increased by approximately 20-25 percent.

1 Introduction

Композитная арматура всё чаще используется в железобетонных и бетонных конструкциях сооружений, подверженных действию агрессивных сред. В статье [1] рассматривается возможность применения композитной арматуры в малоэтажном строительстве, при армировании фундаментов или возведении монолитных стен. В статьях [2], [3] отмечается, что существуют расхождения теоретических значений нагрузки, вызывающей появления трещин в бетоне, армированном композитной арматурой, и значений, полученных в результате экспериментов. Разница значений может достигать 60%. Примеры армирования конструкций композитной арматурой можно найти в работах [4] – армирование асфальтобетона и [5] – армирование каменной кладки открытым способом с помощью матов из композитных материалов.

Композитные материалы обладают высокой прочностью и малым объемным весом, что позволяет создавать более легкие и прочные бетонные конструкции. Композитные материалы также имеют более высокую стойкость к циклическим нагрузкам, что может увеличить срок эксплуатации конструкций. В статьях [1], [6] приведены сравнения различных параметров композитной и стальной арматуры. Композитная арматура имеет более высокую коррозионную стойкость, это особенно важно для бетонных конструкций, которые подвержены воздействию агрессивных сред, таких как вода и различные соли, которые могут вызывать быстрое разрушение стальной арматуры. Подтверждение эффективности и преимуществе композитной арматуры над стальной для ряда конструкций можно найти в статьях [7]–[9].

Проведение испытаний — это основополагающий метод для проверки теоретических положений и выводов. Эксперименты на выдергивание композитных и стальных стержней

Tyukalov Y.; Ashikhmin S.

Experimental study on an adhesion of composite rod and concrete;

2025; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **115** Article No 11502. doi: 10.4123/CUBS.115.2



позволяют определить прочность их соединения с бетоном и требуемую длину анкеровки. В статье [10] приведены экспериментальные данные по выдергиванию стальной арматуры и предложения по улучшению характеристик сцепления бетона и арматурной стали при воздействии повышенной температуры. Показано, что при продолжительном нагреве стальной арматуры значительно уменьшается несущая способность железобетона. В работе [11] представлены результаты экспериментов, выполненных с целью исследования влияния типа бетона, глубины заделки и диаметра стальных болтов на прочность соединения с бетоном. В статьях [12], [13] описываются экспериментальные исследования выдергивания композитной арматуры из бетона. Результаты экспериментов подтверждают возможность использование композитных стержней для армирования несущих конструкций.

Эпоксидные клеи появились в середине 20-го века и стали широко использоваться в различных отраслях, включая производство, строительство и ремонт. Официально первые эпоксидные клеи были разработаны и представлены на рынке в 1940-х годах, однако широкое применение они получили уже в 1950-х – 1960-х годах. С тех пор эпоксидные клеи продолжают совершенствоваться, обретая большую популярность благодаря своим отличным адгезионным свойствам и прочности. Статьи [14, 15] посвящены использованию эпоксидного клея для соединения стальных элементов. Клеевые соединения могут быть использованы для склеивания различных материалов, таких как бетон, металл, дерево, стекло, пластик и другие. Они обеспечивают высокую прочность соединения, хорошее распределение нагрузок и защиту от коррозии. В работе [16] даётся обширный обзор клеевых соединений, включающий в себя анализ результатов экспериментальных исследований. В статье подробно рассматриваются различные характеристики таких соединений при воздействии циклическом нагрузок.

Примеры использования эпоксидного клея для новых вариантов соединения элементов железобетонными конструкциями представлены в статьях [17], [18]. Для быстрого соединения элементов сборных железобетонных конструкций в работах [19]–[21] также используются клеиваемые композитные стержни. Показано, что такие соединения обладают достаточной прочностью и жесткостью. Эпоксидный клей может использоваться для вклеивания как композитной арматуры [22], так и стальной [23]. В исследовании, представленном в работе [24], сравниваются клеевое и сухое соединения железобетонных блоков мостов. Результаты экспериментов, приведенные в статье, показывают, что сухое соединение раскрывается при нагрузке на 27% меньше, чем соединение с эпоксидным связующим.

В работе [25] представлены два новых метода соединения колонны с балкой с использованием стальных пластин. Эти соединения отличаются простотой монтажа и не требуют временных опор. Испытания, проведенные на четырех образцах, показали, что прочность соединений сборных железобетонных элементов при изгибе достаточна для предложенной в статье конструкции. Исследование [26] рассматривает применение металлических закладных в бетоне для создания болтовых сухих соединений между колонной и балкой. Авторы исследования отмечают, что необходима дополнительная информация о возможности применения таких сухих соединений.

В статье [27] отмечается возможность и необходимость замены стальной арматуры на композитную из-за коррозии и с целью сокращения сроков монтажа. Приводятся результаты испытания новых соединений сборных железобетонных конструкций с использованием полимера, армированного стекловолокном. Не все исследования в данной сфере направлены на изучение соединений двух различных типов элементов (колонна-балка). Например, в статье [28] представлен узел соединения в пролёте балки с помощью металлических пластин и болтов. Разрушающая нагрузка у такой составной железобетонной балки со стыком в пролёте оказалась выше, чем у монолитной без стыка.

Цель данного исследования состоит в определении прочности сцепления стержня и бетона на основе серии испытаний на выдергивание вклеенных композитных стержней. Средние касательные напряжения сцепления стержня и бетона при максимальном значении выдергивающей силы необходимы для определения требуемой длины анкеровки композитной арматуры.

2 Materials and Methods

Для испытаний было изготовлено 25 бетонных кубиков с геометрическими размерами 100x100x100мм. Для создания сквозного отверстия, в которое, после набора прочности бетона,

Тыукалов Ю.; Ашихмин С.
Experimental study on an adhesion of composite rod and concrete;

2025; *Construction of Unique Buildings and Structures*; 115 Article No 11502. doi: 10.4123/CUBS.115.2

вклеивалась композитный стержень диаметром 18мм, в кубиках при заливке бетона монтировалась цилиндрическая ПВХ трубка диаметром 32мм в 14 блоках и 25мм в 8 (рис. 1). Трубки диаметром 32мм обеспечивали толщину клеевого слоя 7мм, а трубки диаметром 25мм, соответственно толщину клея 3.5мм. Три бетонных блока изготовлены полнотелыми для проверки прочности бетона на сжатие.



Рис. 1 - Общий вид бетонных кубиков
Fig. 1 - General view of the concrete cubes

Бетонная смесь изготовлялась в пропорции 1:1.2:2.7 (цемент: песок: щебень), что соответствует бетону класса В30. Для изготовления образцов использовались: цемент Akkerman M500, гранитный щебень фракции 5-20мм и песок строительный с размерами гранул 0-5мм. Композитный стержень выступает из куба на расстояние достаточное для захвата в зажиме оборудования – 150-200мм. Стержень вклеивается с помощью эпоксидного клея ЭД-20 или бетонной смеси класса В30. Пять бетонных образцов со сквозным отверстием диаметром 25мм были укреплены полипропиленовой микрофиброй, в составе которой полипропиленовые волокна белого цвета, длиной до 12мм и диаметром 22-34мкм.

Для выполнения испытаний на выдергивание была изготовлена металлическая оснастка для закрепления бетонного образца на верхней части установки. Оснастка имеет форму параллелепипеда со стороной основания 190мм и высотой 310мм (рис. 2, 3) и изготовлена из металлических уголков 75x75x5мм. В нижнем основании оснастки есть отверстие для стержня, сверху – крюк для захвата в установке.



Рис. 2 - Общий вид металлической оснастки и оборудования
Fig. 2 - General view of metal form and equipment

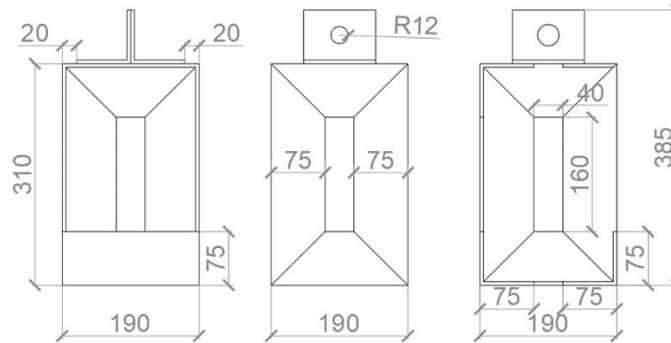


Рис. 3 - Чертежи металлической оснастки
Fig. 3 - Charts of metal form

В качестве оборудования для проведения испытаний использовалась универсальная разрывная гидравлическая машина Р-10 с установленной максимальной выдерживающей силой 50кН и диапазоном нагрузки 10-50кН. Погрешность измерения силы составляет $\pm 1\%$ (рис. 4). Измерения перемещений производились закрепленным на установке манометром со шкалой деления в 0.01мм.

Для сравнения с результатами экспериментов было выполнено численное моделирование выдергивания стержня из бетонного кубика методом конечных элементов в программном комплексе ЛИРА-САПР (<https://www.liraland.com>). Пространственная расчетная схема одной четверти образца представлена на рис. 5. Общие размеры бетонного куба – 100x100x100мм, с отверстием в центре диаметром 32мм. Бетон моделируется объемными конечными элементами (далее – КЭ) типа 234 и 236 с учетом физической нелинейности по 25-му экспоненциальному закону (рис. 5). Характерный шаг сетки для объемных элементов равен 5мм.

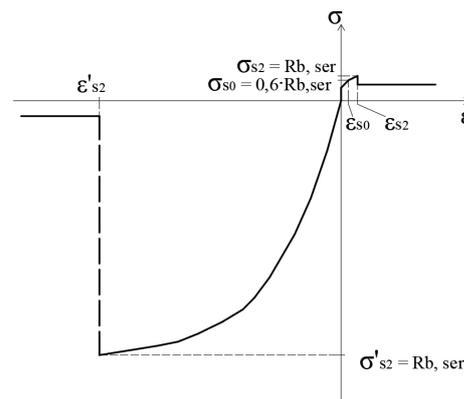


Рисунок ранее опубликован в статье Tyukalov, Y. and Ashikhmin, S. (2023) Quickly constructed joint of precast concrete arch elements. Construction of Unique Buildings and Structures; 107. <https://doi.org/10.4123/CUBS.107.3>.

Рис. 4 - Диаграмма нелинейного деформирования бетона
Fig. 4 - The non-linear deformation diagrams of concrete

Композитный стержень и эпоксидная смола моделировалась объемными элементами тип 34 и 36. Модуль упругости композитного стержня – 50000МПа, эпоксидного клея – 80000МПа. Учитывая симметрию расчетной схемы, для уменьшения количества конечных элементов рассчитывается четверть бетонного элемента с соответствующими граничными условиями (рис. 5). К четырем узлам на крайней грани композитного стержня прикладывались сосредоточенные силы, соответствующие максимальной разрывающей силе при проведении испытаний.

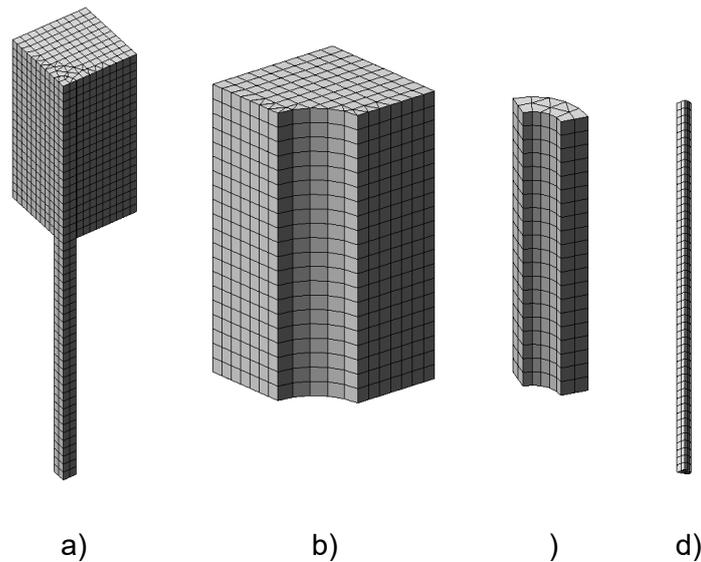


Рис. 5 – Расчетная схема: а) общий вид; б) бетон; в) клей; г) композитный стержень
Fig. 5 – Calculation scheme: a) general view; b) concrete; c) glue; d) composite rod

Между композитным стержнем и клеем в узлы сетки конечных элементов введены нелинейные связи, моделируемые конечными элементами 255. Связи имеют предельное усилие 0.062кН в направлении вдоль стержня. Данное усилие определяется прочностью на сдвиг эпоксидного клея. Данная величина имеет большой разброс значений в зависимости от производителя. В расчете прочность клея на сдвиг принята равной 4.5МПа. Жесткость связей на растяжение-сжатие принята равной 10МПа. Введение таких связей позволяет моделировать процесс постепенного разрушения сцепления клея и стержня, а также вытягивание стержня из бетона.

3 Results and Discussion

3.1 Determination of the concrete cube's strength

Для экспериментального определения прочности бетона выполнено испытание на прочность 3х бетонных кубиков 100х100х100мм. Испытания производились на гидравлическом прессе П-50, погрешность нагружения – $\pm 2\%$ (рис. 6). Максимальная нагрузка установки – 500кН.



Рис. 6 - Общий вид гидравлического пресса
Fig. 6 - General view of the hydraulic press

Результаты испытания на прочность показывают, что первый бетонный кубик выдержал нагрузку 481кН, второй – 382.5кН и третий (укрепленный микрофиброй) – 325кН. Испытание первого кубика пришлось остановить из-за невозможности увеличивать нагрузку на бетонный блок. Первый бетонный куб остался без изменений после приложенной нагрузки, на втором перед разрушением появились множественные трещины и сколы по всем граням с повреждением больше половины поверхностей, в третьем грани были повреждены почти полностью (рис. 7). На основании полученных значений можно сделать вывод, что в среднем блоки соответствуют классу не менее В30.



Рис. 7 – Внешний вид образцов после испытаний
Fig. 7 – Appearance of samples after testing

3.2 Rod pull-out test – adhesive layer thickness is 7mm

Для испытания на выдергивание композитных стержней, вклеенных с помощью эпоксидного клея ЭД-20, было изготовлено 12 образцов с отверстием 32мм, из которых 4 имели разную длину вклеивания 10, 20, 40 и 80мм, остальные – 100мм. В результате испытаний образцов в разрывной машине Р-10 получены величины максимальной выдергивающей силы (табл. 1) (рис. 8). В последней строке таблицы приведены средние касательные напряжения сцепления стержня и бетона при максимальном значении выдергивающей силе:

$$\tau_{\max} = \frac{N_{\max}}{\pi \cdot d \cdot l_0}, \quad (1)$$

где l_0 – длина вклеивания стержня; d – диаметр стержня.

Таблица 1. Зависимость перемещений композитного стержня от выдергивающей силы при различной длине вклеивания

Table 1. Dependence of the displacements of the composite rod on the pull-out force at different gluing lengths

Перемещение, мм	Длина вклеивания, мм			
	10	20	40	80
	Выдергивающая сила, кН			
0	0	0	0	0
0.25	1.4	1.5	1	4.1
0.5	1.6	1.9	2.1	6.2
0.75	-	-	3.6	7.6
1	-	-	4.8	8.6
1.25	-	-	5.2	9.2
1.5	-	-	-	10
1.75	-	-	-	10.4
2	-	-	-	11.6
τ_{\max} , кН/м ²	2829	1680	2299	2564

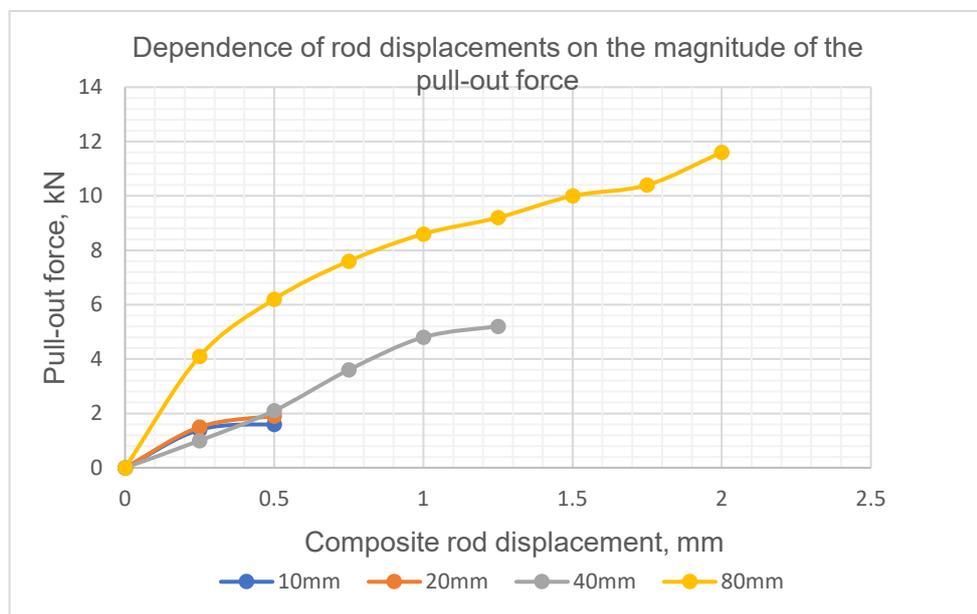


Рис. 8 - Графики зависимости перемещений от выдергивающей силы
Fig. 8 - Displacement graphs from pull-out force

Восемь образцов с отверстием 32мм имели длину вклеивания на весь бетонный блок 100мм. Результаты испытания представлены в табл. 2 и рис. 9.

Таблица 2. Зависимость перемещений композитного стержня от выдергивающей силы
Table 2. Dependence of displacements of a composite rod on the pull-out force

Номер образца

Перемещение, мм	1	2	3	4	5	6	7	8
	Выдергивающая нагрузка, кН							
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	1.4	4	5	4.2	7.2	7	8.9	8.9
0.5	3.8	8.6	8.5	10.5	14	12	13	14.2
0.75	7.6	13.8	12.7	16.8	17	17	19.2	17.9
1	12.6	21	16.8	22.5	20	23	23.5	23
1.25	17.4	28	-	26.8	24	27	-	23.5
1.5	-	-	-	30.6	-	-	-	-
1.75	-	-	-	32.3	-	-	-	-
τ_{\max} , кН/м ²	3077	4951	2971	5712	4244	4775	4156	4156

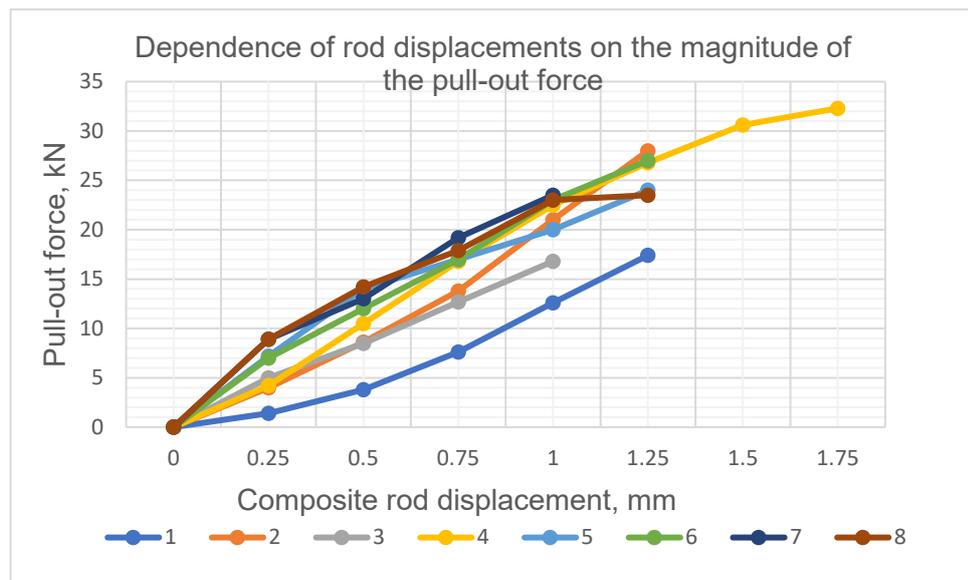


Рис. 9 - Графики зависимости перемещений от выдергивающей сил
Fig. 9 - Displacement graphs from pull-out force.

Для оценки степени достоверности полученных экспериментальных данных вычислим коэффициент вариации величин касательных напряжений. При вычислениях отбросим максимальное и минимальное величины, как недостоверные. Среднее значение касательного напряжения для 10 испытаний:

$$\bar{\tau}_{\max} = 3602 \text{ кН} / \text{м}^2., \quad (2)$$

Среднее квадратичное отклонение:

$$M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\bar{\tau}_{\max} - \tau_{\max,i})^2}{9}} = 958.5 \text{ кН} / \text{м}^2., \quad (3)$$

Коэффициент вариации:

$$\nu = 100M / \bar{\tau}_{\max} = 26.6., \quad (4)$$

Значение среднего касательного напряжения с доверительной вероятностью 0.95 определяется по следующей формуле:

$$\tau_{\max}^{0.95} = \bar{\tau}_{\max} (1 - 1.64 \cdot 0.266) = 2031 \text{ кН} / \text{м}^2., \quad (5)$$

Данное значение среднего касательного напряжения предварительно может быть принято для определения требуемой длины анкеровки композитной арматуры.

Tyukalov Y.; Ashikhmin S.

Experimental study on an adhesion of composite rod and concrete;

2025; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **115** Article No 11502. doi: 10.4123/CUBS.115.2

3.3 Rod pull-out test – adhesive layer thickness is 3.5mm

Также были проведены серия испытания восьми образцов с уменьшенной до 3.5мм толщиной слоя клея. Пять образцов были укреплены микрофиброй. Результаты испытания приведены в табл. 3 и рис. 10.

Таблица 3. Зависимость перемещений композитного стержня от выдергивающей силы
Table 3. Dependence of displacements of a composite rod on the pull-out force

Перемещение, мм	Номер образца (без микрофибры)				Номер образца (с микрофиброй)			
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Выдергивающая сила, кН							
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	3.4	6	3	6	3	4	6	18
0.5	9.5	10	6	11	5.5	5.5	12	24
0.75	17	15	12	15.5	9	7.5	14	-
1	-	20	18.5	22	13	11	-	-
1.25	-	23	23.5	24	18	13	-	-
1.5	-	-	-	-	20.5	17	-	-
1.75	-	-	-	-	-	22.5	-	-
2	-	-	-	-	-	25	-	-
τ_{\max} , кН/м ²	3006	4067	4156	4244	3625	4421	2476	4244

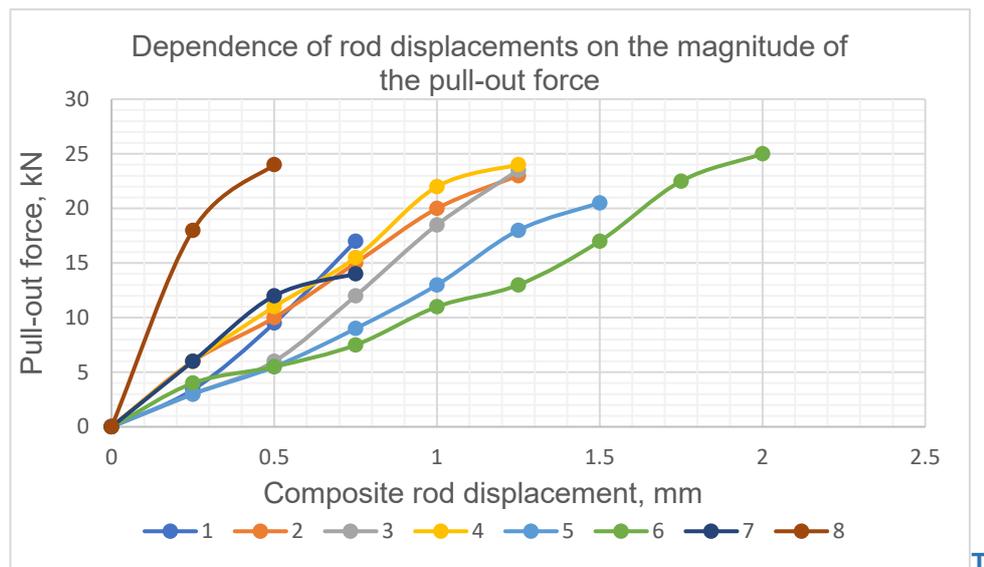


Рис. 10 - Графики зависимости перемещений от выдергивающей силы
Fig. 10 - Displacement graphs from pull-out force

Для оценки степени достоверности полученных экспериментальных данных определим статистические параметры. При вычислениях отбросим максимальное и минимальное значения. Среднее значение касательного напряжения для оставшихся 6 испытаний:

$$\bar{\tau}_{\max} = 3890 \text{ кН} / \text{м}^2, \quad (6)$$

Среднее квадратичное отклонение:

$$M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (\bar{\tau}_{\max} - \tau_{\max,i})^2}{5}} = 490,8 \text{ кН} / \text{м}^2, \quad (7)$$

Коэффициент вариации:

Тыукалов Ю.; Ашихмин С.

Experimental study on an adhesion of composite rod and concrete;

2025; *Construction of Unique Buildings and Structures*; 115 Article No 11502. doi: 10.4123/CUBS.115.2

$$\nu = 100M / \bar{\tau}_{\max} = 12.6., \quad (8)$$

Значение среднего касательного напряжения с доверительной вероятностью 0.95 определяется по следующей формуле:

$$\tau_{\max}^{0.95} = \bar{\tau}_{\max} (1 - 1.64 \cdot 0.126) = 3086 \text{ кН} / \text{м}^2., \quad (9)$$

Во время испытаний на выдергивание часть образцов разрушалась. Во всех случаях сначала появлялись трещины на поверхности образцов, после чего трещины увеличивались и распространялись вглубь бетона к слою эпоксидной смолы. В результате происходило разрушение бетона и вырывание композитной арматуры вместе с эпоксидным клеем (рис. 11). При всех испытаниях характер разрушения образцов была одинаковым вне зависимости от диаметра отверстия и материала связующего вещества. Укрепление бетона фиброй не способствовало увеличению величины выдергивающей силы.



Рис. 11 - Внешний вид некоторых разрушенных образцов
Fig. 11 - Appearance of some destroyed samples

В двух образцах композитные стержни вклеивались в бетон при помощи цементного раствора. Результаты их испытаний приведены в таблице 4 и на рисунке 12.

Таблица 4. Зависимость перемещений композитного стержня, вклеенного с помощью цементного раствора, от выдергивающей силы

Table 4. Dependence of the movements of a composite rod glued with a concrete mixture on the pull-out force

Перемещение, мм	Номер образца	
	1	2
	Выдергивающая сила, кН	
0	0	0
0.25	5.9	4.9
0.5	11.8	7.9
0.75	18.6	11.9
1	27.8	16.6
1.25	32.3	20.3
1.5	-	21.3
1.75	-	23.5
τ_{\max} , кН/м ²	5711	4156

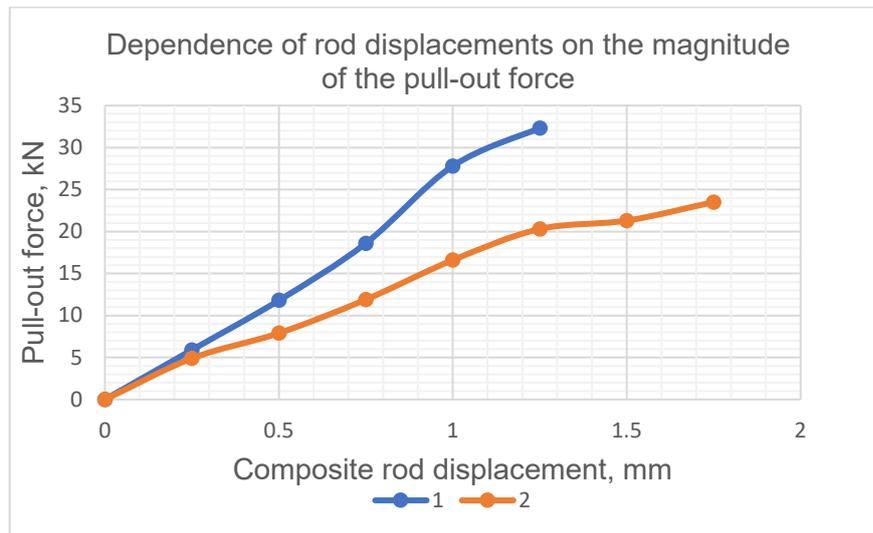


Рис. 12 - Графики зависимости перемещений от выдергивающей сила
Fig. 12 - Displacement graphs from pull-out force

Сравнение результатов двух серий экспериментов показывает, что уменьшение толщины слоя эпоксидного клея с 7мм до 3.5мм привело к увеличению прочности сцепления стержня и бетона примерно в 1.5 раза. Для уточнения достоверной величины максимального среднего касательного напряжения в зависимости от толщины клеевого слоя, необходимо провести дополнительные эксперименты.

Как показали испытания двух образцов (табл. 4), при установке композитных стержней непосредственно в бетон, без использования клея, выдергивающая сила и среднее касательное напряжение увеличиваются на 20-25 процентов. Для подтверждения достоверности данных результатов планируется провести испытания с большим количеством образцов. Установка стержней непосредственно в бетон увеличивает сроки готовности, но упрощает и удешевляет процесс производства соединений элементов сборных железобетонных конструкций.

3.4 Finite element modeling of rods pull-out

Нелинейный конечно-элементный расчет выдергивания композитного стержня выполнялся шаговым методом. Количество шагов было принято равным 20. На рис. 13 представлен график изменения перемещения композитного стержня в процессе увеличения нагрузки.

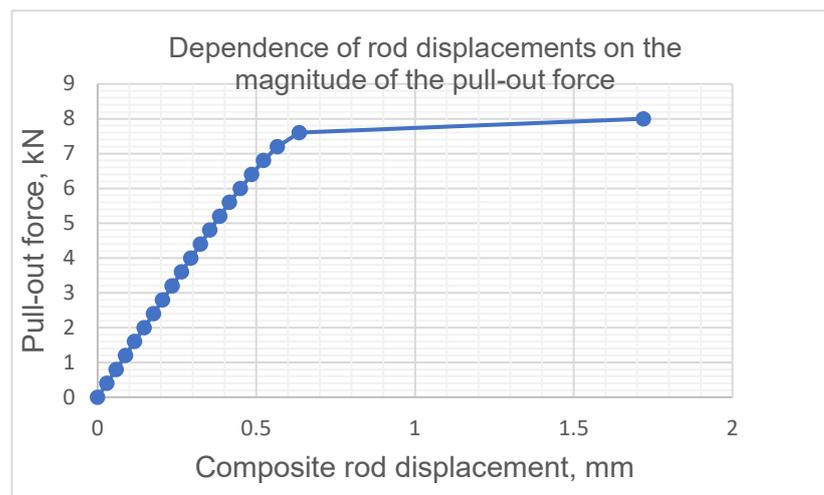


Рис. 13 - Зависимость перемещений композитного стержня от величины выдергивающей силы

Fig. 13 - Dependence of displacements of composite reinforcement on pull-out force

График является практически линейным вплоть до предельной силы выдергивания. Резкое увеличение перемещения произошло на последнем шаге нагружения. Максимальное

перемещение, полученное численно, согласуется с экспериментальными данными (рис. 10). Конечно-элементный расчет позволяет оценить напряженно-деформированное состояние бетона, клеевого слоя и композитного стержня (рис. 14–15).

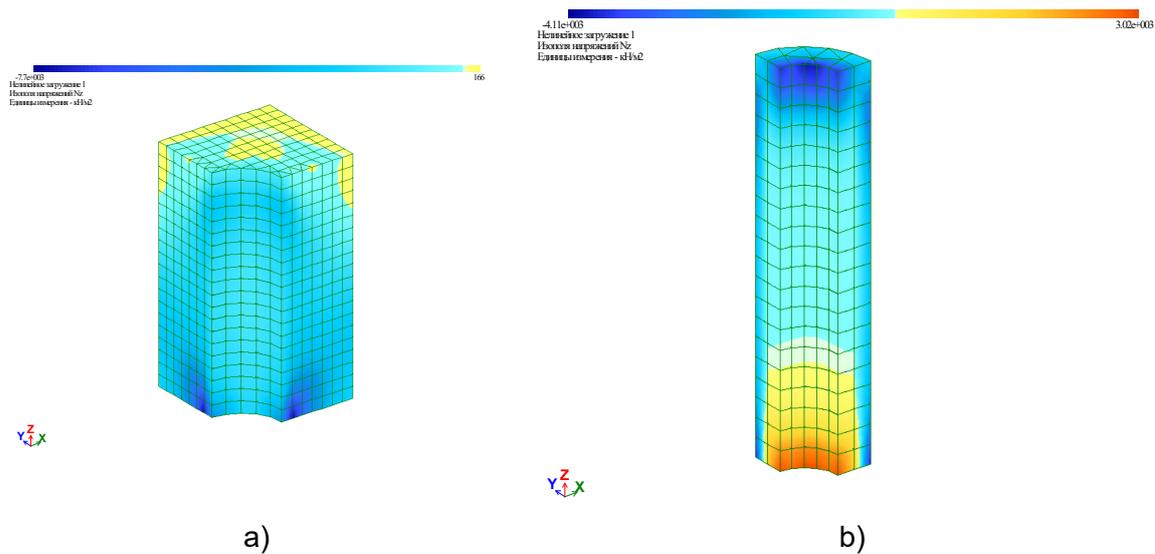


Рис. 14 - Изополя вертикальных напряжений при максимальной выдергивающей силе: а) в бетоне; б) в слое клея

Fig. 14 - Isofields of vertical stresses at maximum pull-out force: a) in concrete; b) in the adhesive layer

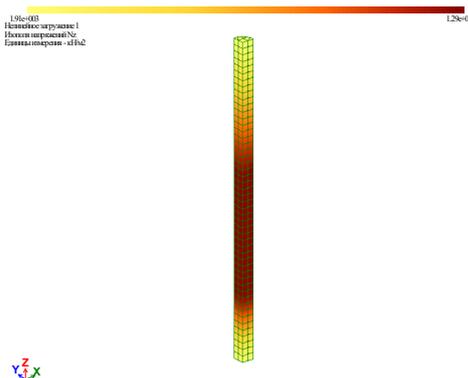


Рис. 15 - Изополя напряжений в композитном стержне при максимальной выдергивающей силе

Fig. 15 - Isofields of stresses in a composite rod at maximum pull-out force

4 Conclusions

1. Выполнены две серии испытаний на выдергивание, вклеенных эпоксидным клеем в бетонный куб композитных стержней. Серии отличались толщиной клеевого слоя: 7 мм и 3.5 мм. Для определения класса бетона были выполнены испытания трех образцов на сжатие.
2. По результатам испытаний, для каждой серии, вычислена величина среднего значения максимального касательного напряжения, действующего между стержнем и бетоном. Значения определялись с доверительной вероятностью 0.95.
3. Испытания показали, что для второй серии испытаний образцов с толщиной клеевого слоя 3.5 мм, среднее значение касательного напряжения больше в 1.5 раза.
4. Были выполнены испытания на выдергивание, вклеенных цементным раствором в бетонный куб композитных стержней. Эксперименты показали, что в этом случае выдергивающая сила и среднее касательное напряжение увеличиваются примерно на 20–25 процентов.
5. Выполнено конечно-элементное моделирование вытягивания композитного стержня из бетонного куба и сравнение численных результатов с экспериментальными данными.

Tyukalov Y.; Ashikhmin S.

Experimental study on an adhesion of composite rod and concrete;

2025; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **115** Article No 11502. doi: 10.4123/CUBS.115.2



6. Для подтверждения достоверности данных результатов планируется провести испытания с большим количеством образцов.

References

1. Sergeeva, E. A. (2023) Justification of the rationality of use of composite reinforcement in low-rise construction. *Scientific review. Technical sciences*, **5**, 26-30. <https://doi.org/10.17513/srts.1449>.
2. Mirsayapov, I. T., Antakov I. A., Antakov A. B. (2021) To the design of the deflections of flexural concrete members reinforced with fiber-reinforced polymer bars. *Vestnik MGSU*, **4**, 413-428. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.4.
3. Antakov, I. A., Suleymanov A. M. (2023) Deformability of flexural concrete members reinforced with fiber-reinforced polymer bars. *News KSUAE*, **3(65)**, 101-109. DOI: 10.52409/20731523_2023_3_101.
4. Chao Zhang, Feiting Shi, Peng Cao, Ketong Liu. (2022) The fracture toughness analysis on the basalt fiber reinforced asphalt concrete with prenotched three-point bending beam test. *Case Studies in Construction Materials*, **16**, e01079. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01079>.
5. Mrozek M., Mrozek.D. (2020) Analysis of location of composites reinforcement of masonry structures with use topological optimization. *Applications in Engineering Science*, **3**, 100015. <https://doi.org/10.1016/j.apples.2020.100015>.
6. Panichev A., Usoltsev A., Ivanov A., Poljakov S. (2022) Increasing the durability of pavement on operational steel spans by reinforcement with composite materials. *Transportation Research Procedia*, **63**, 1927-1935. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.213>.
7. Lastovka, A. V., Ivanova A. V. (2022) Simulation of combined action of reinforcement and concrete on the example of composite reinforcement. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*, **12(2)**, 174-181. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-174-181>.
8. Semenenko S. Ya., Marchenko S. S., Novikov A. E. (2022) Comparison of calculated and experimental results of strength tests of concrete beams with composite reinforcement for hydraulic engineering construction. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp*, **4(68)**, 434-440 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-51.
9. Mohd Basri Che Bakar, Raizal Saifulnaz Muhammad Rashid, Mugahed Amran, Mohd Saleh Jaafar. (2023) Evaluation of the bond-dependent factors for CFRP bars used as structural reinforcement: A critical review. *Case Studies in Construction Materials*, **18**, e02064. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02064>.
10. Tattukolla Kiran, N. Anand, Mervin Ealiyas Mathews, Balamurali Kanagaraj, A. Diana Andrushia, Eva Lubloy, Jayakumar G. (2022) Investigation on improving the residual mechanical properties of reinforcement steel and bond strength of concrete exposed to elevated temperature. *Case Studies in Construction Materials*, **16**, e01128. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01128>.
11. Lu, K., Xu, Q., Wang, M., Yao, Y. and Wang, J. (2021) Anchorage performance of bolt connection embedded in thin UHPC members. *Structures*, Elsevier Ltd, **34**, 1253–1260. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.08.060>.
12. Alexander Lin, Claudia P. Ostertag. (2021) Interaction between high performance fiber reinforced cement-based composites and steel reinforcement. *Engineering Structures*, **247**, 113173. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113173>.
13. Ö.S. Türkmen, S.N.M. Wijte, J. Vaculik, B.T. De Vries, J.M. Ingham. (2020) High-speed pullout behavior of deep-mounted cfrp strips bonded with a flexible adhesive to clay brick masonry. *Structures*, **28**, 1153-1172. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.026>.
14. Mohamed Nasr Saleh, Michal K. Budzik, Milad Saeedifar, Dimitrios Zarouchas, Sofia Teixeira De Freitas. (2022) On the influence of the adhesive and the adherend ductility on mode I fracture characterization of thick adhesively-bonded joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **115**, 103123. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2022.103123>.
15. Marco Lamberti, Aurélien Maurel-Pantel, Frédéric Lebon. (2023) Experimental and numerical evaluation of hydro-thermal ageing's effects on adhesive connections in offshore structures. *Ocean Engineering*, **290**, 116303. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116303>.



16. F.Castro Sousa, P. Zamani, A. Akhavan-Safar, L.F.M. da Silva. (2024) A comprehensive review of the S-N fatigue behaviour of adhesive joints. *Journal of Advanced Joining Processes*, **9**, 100178. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2023.100178>.
17. Leon Chernin, Moray Newlands, Noushin Khosravi. (2024) Flat-face epoxy-bonded concrete joints loaded in torsion: Physical modelling. *Construction and Building Materials*, **411**, 134558. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134558>.
18. Mohamed H. El-Naqeeb, Reza Hassanli, Yan Zhuge, Xing Ma, Allan Manalo. (2024) Numerical investigation on the behaviour of socket connections in GFRP-reinforced precast concrete. *Engineering Structures*, **303**, 117489. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.117489>.
19. Tyukalov, Yu. Ya., Ashikhmin S. E. (2023) Quickly constructed joint of precast concrete arch elements. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **2(107)**, 10703. <https://doi.org/10.4123/CUBS.107.3>.
20. Ashikhmin S.E., Tyukalov, Yu. Ya. (2023) The joint of precast reinforcement frame elements using composite rods. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **4(109)**, 60. <https://doi.org/10.4123/CUBS.109.10>.
21. Tyukalov, Yu. Ya., Ashikhmin, S. E. (2024) Pliability analysis of a composite rod glued into concrete. *Construction of Unique Buildings and Structures*. **1(110)**, 11005. <https://doi.org/10.4123/CUBS.110.5>.
22. Augustus Nelson, L., Al-Allaf, M. and Weekes, L. (2020) Analytical modelling of bond-slip failure between epoxy bonded FRP and concrete substrate. *Composite Structures*, Elsevier Ltd, 251, 112596. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112596>.
23. Abd El-Hameed, S., Eladawy, M., Agamy, M.H. and Haggag, H. (2022) Experimental and numerical investigation on the performance of adhesive steel-dowels used in precast reinforced concrete elements. *Structures*, Elsevier Ltd, 40, 49–63. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.04.006>.
24. Saibabu, S., Srinivas, V., Sasmal, S., Lakshmanan, N. and Iyer, N.R. (2013) Performance evaluation of dry and epoxy jointed segmental prestressed box girders under monotonic and cyclic loading. *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, 38, 931–940. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.068>.
25. Tadi Beni, M.B. and Madhkhan, M. (2022) Experimental study on two innovative ductile moment-resisting precast concrete beam-column connections. *Structures*, Elsevier Ltd, 39, 559–572. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.03.059>.
26. Figueira, D., Ashour, A., Yıldırım, G., Aldemir, A. and Şahmaran, M. (2021) Demountable connections of reinforced concrete structures: Review and future developments. *Structures*, 34, 3028–3039. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.09.053>.
27. Hassanli, R., Vincent, T., Manalo, A., Smith, S.T., Gholampour, A., Gravina, R. and Zhuge, Y. (2021) Connections in GFRP reinforced precast concrete frames. *Composite Structures*, Elsevier Ltd, 276, 114540. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114540>.
28. Zhou, W., Xu, Z. and Ma, C. (2022) Flexural behavior of precast concrete beams in-span assembled with bolt-steel plate joints. *Structures*, Elsevier Ltd, 43, 1291–1304. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.07.067>.