

## Повышение адгезии клея со стеклопластиковой арматурой

*Я.В. Андряшкин*

*Владимирский государственный университет*

**Аннотация:** Стеклопластиковая стержневая арматура могла бы найти свое применение в деревянных конструкциях благодаря ряду определенных практических достоинств, не присущих стальным стержням или другим видам армирования. Однако из-за слабых адгезивных свойств поверхности стеклопластиковых стержней не наблюдается полноценная их совместная работа с древесиной как одного тела. К исследованию предложены некоторые способы повышения прочности клеевого соединения стеклопластиковой арматуры и древесины, такие как нанесение на поверхность стержней кварцевого песка, шлифовка поверхности стержней, а также добавление в клеевой состав отходов песчано-смоляных литейных форм. Были проведены испытания каждого из этих способов и сопоставление полученных результатов с исходной моделью клеевого соединения, а также с расчетной моделью клеевого соединения с целью определить наиболее эффективный способ.

**Ключевые слова:** Адгезия; арматурный стержень; выдергивание; древесина; клеевое соединение; клеевой состав; несущая способность; прочность; стеклопластиковый стержень; эпоксидный клей.

### Введение

По состоянию на II квартал 2025 года деревянное домостроение внедряется в программу гражданского строительства, что создает необходимость в расширении имеющейся базы конструктивных решений. Армированные деревянные конструкции могут стать важным этапом на пути развития практического гражданского строительства [1]. Они позволяют задать зданию большие пролеты и высокие нагрузки, не требуя больших затрат древесины [2].

В качестве армирования деревянных конструкций широко применяются арматурные стержни ввиду наиболее низкой стоимости и большей доступности. Стальные стержни нашли свое применение в деревянных конструкциях, однако в противовес им развивается применение стержней из композитных материалов. Среди преимуществ стеклопластиковых стержней по сравнению со стальными стержнями можно выделить более легкий вес, более низкую цену, компактность при хранении и

транспортировке, а также стойкость к агрессивному воздействию окружающей среды. Кроме того, стеклопластиковая арматура имеет модуль упругости (45...55 ГПа), максимально приближенный к модулю упругости древесины (11...14 ГПа), что позволяет в большей мере обеспечить совместную работу армированной деревянной конструкции как единого целого [3-5]. Тем не менее, в ходе исследований свойств стеклопластиковых стержней было выявлено их слабое закрепление в теле деревянной конструкции. При оценке соединений на стеклопластиковых нагелях отмечалась их низкая прочность по сравнению со стальными нагелями [6,7]. Единственным способом закрепления стержней в древесине с сохранением совместности их работы является склеивание. Исследования показывают высокую адгезию чистого эпоксидного клея со сталью при невысокой прочности клеевого соединения [8,9]. При этом наблюдается низкая адгезия клея со стеклопластиковыми стержнями из-за их гладкой поверхности [10].

На сегодняшний день нет ни одного официально признанного способа повышения прочности закрепления стеклопластиковых стержней в теле древесины, что ограничивает применение стеклопластиковой арматуры в деревянных конструкциях. К данному исследованию предложены следующие способы: шлифовка поверхности стержня, покрытие поверхности стержня кварцевым песком и добавление в клеевой состав отходы песчано-смоляных литейных форм.

### **Экспериментальное исследование**

Для экспериментального исследования было изготовлено 4 серии образцов, представляющих собой бруски сечением 50x50 мм длиной 200 мм с закрепленными по торцам стеклопластиковыми стержнями диаметром 8 мм. В качестве контрольных образцов была выбрана серия БАС-0 с клеевым составом, содержащим в себе эпоксидную смолу ЭД-20, отвердитель на основе полиэтиленполиамин (ПЭПА) и кварцевый песок фракции 0,55 мм в

соотношении 100:12:300. В образцах серии БАС-1 поверхность стеклопластиковых стержней предварительно обработана вышеприведенным клеевым составом и выдержана в течение 2 суток. В образцах серии БАС-2 стеклопластиковые стержни предварительно ошлифованы с образованием мелких насечек глубиной до 1 мм. В клеевом составе образцов серии БАС-3 кварцевый песок заменен на отходы песчано-смоляных литейных форм в таком же соотношении. Чертеж типового образца представлен на рисунке 1.

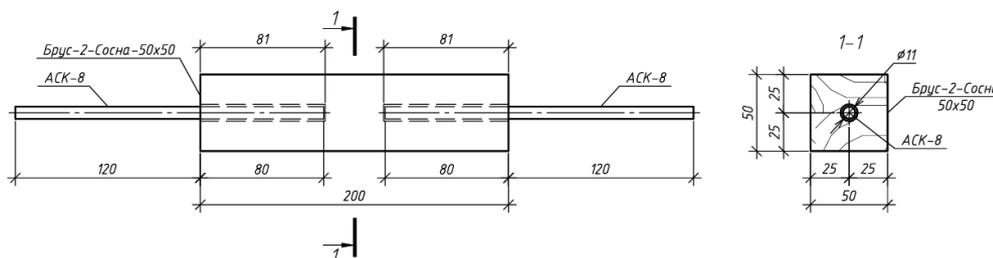


Рис. 1. – Чертеж типового образца

Испытание образцов на выдергивание осуществлялось на разрывной машине РЭМ-100. Разрушение образцов сопровождалось выдергиванием стержней и имело хрупкий характер. Как правило, разрушение происходило по клеевому соединению, однако в ряде случаев имело место повреждение деревянного элемента вплоть до раскалывания пополам. Данные, полученные экспериментальным путем, приведены в таблице 1. Также приведены графики испытаний на рисунке 2.

Таблица № 1

Результаты экспериментального исследования

Образцы	Несущая способность, кН					Среднее значение	Коэффициент вариации
	1	2	3	4	5		
БАС-0	3,06	1,97	2,4	3,17	2,21	2,56±0,53	0,21
БАС-1	5,94	4,17	6,34	4,98	5,94	5,47±0,88	0,16
БАС-2	9,33	6,89	8,57	8,27	6,81	7,97±1,1	0,14
БАС-3	5,51	3,13	4,35	4,75	3,53	4,25±0,95	0,22

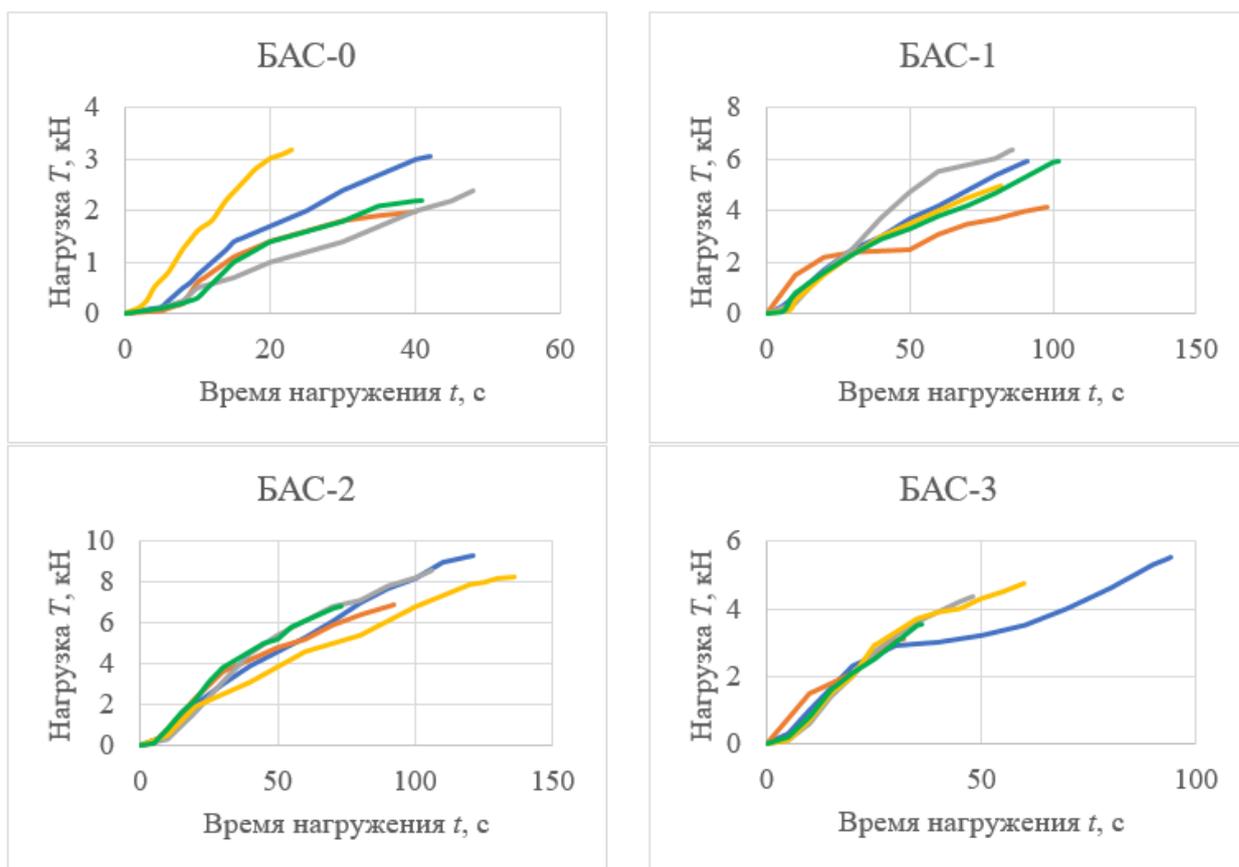


Рис. 2. – График испытания образцов БАС-0...БАС-3

Коэффициент вариации для значения несущей способности не превышает 0,25, что означает умеренную надежность результатов. Все три предложенных способа увеличили прочность клеевого соединения. Среди них наиболее эффективным оказался способ шлифовки стержней с образованием мелких насечек, создав шероховатую поверхность стеклопластикового стержня, благодаря чему удалось добиться несущей способности образцов БАС-2 около 8 кН. Однако при выдергивании стержня в некоторых образцах происходило стесывание стержня, в результате чего его диаметр уменьшился на 2...3 мм. Практическим недостатком данного способа является уменьшение расчетного диаметра стержня, что может привести к уменьшению расчетной несущей способности всей конструкции. Меньшую прочность клеевого соединения показали образцы серии БАС-1, в которых стеклопластиковые стержни были предварительно обмазаны

клеевым составом с кварцевым песком. Несущая способность стержней на выдергивание составила 5,47 кН. В данном случае образование шероховатой поверхности осуществлялось за счет наращивания эпоксидно-песчаного дополнительного слоя. Нарощенный слой выдержал сдвиг относительно клевого соединения, однако в это время произошел сдвиг самого стержня относительно наращенного слоя. Наименьшую прочность клевого соединения показали образцы серии БАС-3, в которых в клеевой состав были добавлены отходы песчано-смоляных литейных форм. Несущая способность стержней на выдергивание составила 4,25 кН. Стеклопластиковые стержни не подвергались модификации поверхности, и клеевое соединение взаимодействовало с исходной гладкой поверхностью стержней. Тем не менее, добавление в клеевой состав отходов песчано-смоляных литейных форм позволило в определенной мере увеличить прочность клевого соединения, а также решить проблему утилизации отходов производства отливок из металла.

### Обсуждение результатов

Для определения расчетной несущей способности стержней на выдергивание используется формула, взятая из СП 64.13330.2017:

$$T_{ult} = R_{ск} d_{оме} \pi l \left( 1,2 - 0,02 \frac{l}{d} \right), \quad (1)$$

где  $T_{ult}$  – несущая способность стержня на выдергивание;  $R_{ск}$  – прочность древесины на местное скалывание в клеевом соединении с учетом коэффициентов условий работы;  $d_{оме}$  – диаметр отверстия;  $l$  – глубина заземления стержня;  $d$  – диаметр стержня.

При определении расчетной прочности древесины на местное скалывание коэффициенты условий работы приняты за единицу, за исключением коэффициента условий эксплуатации по естественной влажности, взятого со значением 0,75. Данное допущение принято исходя из

---

того, что при испытаниях можно пренебречь длительностью действия нагрузки и сроком службы деревянных элементов. Сравнение вычисленного значения несущей способности на выдергивание по формуле 1 и экспериментальных значений образцов приведено в таблице 2.

Таблица № 2

Результаты экспериментального исследования

Метод получения значения	Несущая способность $T_{ult}$ , кН
Расчет	6,03
Эксперимент, БАС-1	5,47
Эксперимент, БАС-2	7,97
Эксперимент, БАС-3	4,25

Таким образом, шлифовка поверхности стержня позволило увеличить несущую способность стержня на выдергивание по сравнению с расчетным значением, что говорит об эффективности данного способа. Недостатком данного способа является необходимость в повреждении поверхности арматуры и уменьшении ее расчетного сечения. Тем не менее, дополнительные исследования позволят разработать более щадящий метод повышения адгезии стеклопластиковых стержней с клеем, или определенным образом компенсировать потерю изгибной прочности стержня.

### Заключение

Экспериментальный и теоретический анализ трех различных способов усиления клеевого соединения стеклопластиковых стержней и древесины – нанесение на поверхность стержня кварцевого песка, шлифовка поверхности стержня и добавление в клеевой состав отходов песчано-смоляных литейных форм – показал, что наиболее эффективным способом является шлифовка поверхности стержня, увеличивающий несущую способность стержней на выдергивание не только относительно прочих способов и исходного

конструктивного исполнения, но и относительно расчетного значения, вычисленного по формуле для стальных стержней.

### Литература

1. Кавелин А.С., Тютина А.Д., Нуриев В.Э., Колтакова В.А. Армирование деревянных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2019. №8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6156/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6156/).
2. Franke S., Franke B., Harte A.M. Failure modes and reinforcement techniques for timber beams – State of the art // Construction and Building Materials. 2015. Т. 97. С. 2-13.
3. Зиннуров Т.А., Новицкий Е.В. Определение напряженно-деформированного состояния деревянных изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматурой // Современное промышленное и гражданское строительство. 2024. №2(20). С. 63-73.
4. Зуев И.А., Ветров Е.А., Нагорный Д.О., Шебуняев А.Н., Сильванович А.А., Демьяненко С.А. Сравнительные экологические характеристики производства стальной и стеклопластиковой арматуры // Инженерный вестник Дона. 2019. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5725/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5725/).
5. Устарханов О.М., Ирзаев Г.Г. Схема армирования дощатоклееной балки стеклопластиковым прутком // Современное строительство и архитектура. 2018. №3(11). С. 16-20.
6. Зиннуров Т.А., Новицкий Е.В. Определение прогиба составных деревянных изгибаемых элементов, армированных цилиндрическими полимеркомпозитными нагелями // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. №5. С. 697-708.
7. Харламова А.С., Улько А.А. Оценка работы соединений деревянных конструкций на стеклопластиковых и стальных нагелях // Синергия наук. 2019. №31. С. 783-789.

8. Uehara F., Matsumoto A. Metal resin bonding mediated by epoxy monolith layer // Applied Adhesion Science. 2016. №4. С.18.
9. Веттегрень В.И., Мамалимов Р.И., Савицкий А.В., Щербаков И.П., Сытов В.В., Сытов В.А. Природа адгезионной связи между эпоксидным клеем и сталью // Журнал технической физики. 2014. №3(84). С. 33-36.
10. Цыбакин А.В., Титунин А.В., Цветков А.А. Армирование деревянных балок композитной арматурой // Современное строительство и архитектура. 2023. №3(34). С. 17-20.

### References

1. Kavelin A.S., Tyutina A.D., Nuriyev V.E., Koltakova V.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6156/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6156/).
2. Franke S., Franke B., Harte A.M. Construction and Building Materials. 2015. V. 97. pp. 2-13.
3. Zinnurov T.A., Novitsky E.V. Sovremennoye promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2024. №2 (20). pp. 63-73.
4. Zuyev I.A., Vetrov E.A., Nagorny D.O., Shebunyayev A.N., Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5725/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5725/).
5. Ustarkhanov O.M., Irzayev G.G. Sovremennoye stroitel'stvo i arkhitektura. 2018. №3 (11). pp. 16-20.
6. Zinnurov T.A., Novitsky E.V. Vestnik MGSU. 2023. V. 18. №5. pp. 697-708.
7. Kharlamova A.S., Ul'ko A.A. Sinergiya nauk. 2019. №31. pp. 783-789.
8. Tsybakin A.V., Titunin A.V., Tsvetkov A.A. Sovremennoye stroitel'stvo i arkhitektura. 2023. №3 (34). pp. 17-20.
9. Vettegren' V.I., Mamalimov R.I., Savitsky A.V., Shcherbakov I.P., Sytov V.V., Sytov V.A. Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. 2014. №3 (84). pp. 33-36.
10. Uehara F., Matsumoto A. Applied Adhesion Science. 2016. №4. p. 18.

**Дата поступления: 3.07.2025**

**Дата публикации: 25.08.2025**

---