

## Комплексное исследование усиленного клеевого соединения арматуры и древесины

*Я.В. Андряшкин*

*Владимирский государственный университет*

**Аннотация:** Клеевые соединения арматурных стержней и древесины являются наиболее слабым местом в армированных деревянных конструкциях, поскольку обладают низким сопротивлением сдвигу арматурного стержня и способствуют развитию пластичных деформаций деревянных элементов. Для достижения упругой работы и повышения адгезии со стержнями применяется усиленный клеевой состав с включением кварцевого песка. В данной статье исследована работа усиленного клеевого соединения с различными видами стержневой арматуры – стальной периодического профиля, гладкой стальной и стеклопластиковой. Также немаловажным фактором для работы усиленного клеевого состава была признана работа клеевого соединения в цельной и клееной древесине. Экспериментальные исследования подтверждены графиками и таблицами численных результатов, что позволяет установить надежность полученных результатов и сделать вывод о необходимости усовершенствования тех или иных методов изготовления армированных деревянных конструкций.

**Ключевые слова:** Арматура; арматурный стержень; армированная деревянная конструкция; выдергивание; деревянная конструкция; древесина; клей; клеевое соединение; прочность; эпоксидная смола.

### Введение

Армирование является одним из простых решений для изготовления высокопрочных деревянных конструкций. В качестве армирующего материала применяют стержни, сетки, ленты, ткани и т.п. [1]. Наибольшее распространение получило армирование стержнями ввиду относительно низкой стоимости и заметного увеличения прочности деревянных конструкций [2].

Проблема армирования деревянных конструкций заключается в слабом сцеплении арматурного стержня с древесиной. При анализе опыта прошлых лет по армированию древесины была изучена деревянная балка А.Л. Монасевича, усиленная стальной пластиной, которая соединялась с древесиной при помощи стальных зубьев [3]. Данное решение не было применимо в качестве армирования, поскольку было выявлено более эффективное решение – симметричное армирование. Также была изучена

---

деревянная балка Х. Гранхольма, армированная стальными стержнями, которые врезались в древесину кольцевыми выступами [4]. Однако механическое соединение арматуры и древесины давало незначительный прирост прочности и жесткости даже при значительном расходе стали.

Для качественного соединения арматуры и древесины используются синтетические клеи. Среди них распространен эпоксидный клей благодаря своей изученности, доступности, относительно низкой стоимости и высокой адгезии с металлом [5]. Однако исследования клеевого соединения стальных элементов показывают, что прочность отвердевшего эпоксидного клея меньше прочности связи клея с металлом [6]. Также при анализе исследований клеевых соединений обнаруживается переход в упруго-пластичное состояние [7,8]. В данной работе критической нагрузкой называется нагрузка, вызывающая переход образцов из упругого состояния в упруго-пластичное состояние.

Для повышения несущей способности клеевых соединений были разработаны различные методы изготовления клеевых составов [9,10]. В данной работе предложен способ повышения прочности клеевого соединения путем включения в состав клея кварцевого песка, которые создают шероховатость поверхности отвердевшего клея, что способствует наилучшему сцеплению древесины и арматурных стержней. Предполагается, что при усиленном клеевом соединении разрушение образцов будет иметь хрупкий характер. С целью повышения сцепления арматуры и древесины предусмотрено решение в виде добавления кварцевого песка в клеевой состав.

### **Экспериментальное исследование**

Экспериментальные образцы представляют собой брусок сечением 50x50 длиной 200 мм с вклеенными в него по торцам арматурными стержнями на глубину, равную десяти диаметрам стержня. За эталонный

образец был взят цельнодеревянный брусок, армированный стальными стержнями периодического профиля, поскольку данное решение чаще всего используется при изготовлении АДК. Кроме того, были изготовлены три серии образцов, отличных от эталона. Образцы серии БАД-1 сделаны из клееной древесины, в образцах серии БАД-2 использованы гладкие стальные стержни, а в образцах серии БАД-3 – стеклопластиковые стержни. Исходные данные для экспериментального исследования приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица № 1

Исходные данные экспериментального исследования

Характеристика	Значение для образцов серии			
	0	1	2	3
Материал	Сосна 2 сорта естественной влажности			
Сечение	50x50	2x50x25	50x50	50x50
Цельность	Цельная	Клееная	Цельная	Цельная
Армирование	Ø8A500	Ø8A500	Ø8A240	АСК-8
Клеевой состав	ЭД-20:ПЭПА:кварцевый песок (100:12:300 массовых частей)			
Маркировка	БАД-0	БАД-1	БАД-2	БАД-3
Количество образцов	5	5	5	5

Образцы испытывались на выдергивание арматуры на разрывной машине РЭМ-100. В образцах БАД-0, БАД-1 и БАД-3 наблюдалось ожидаемое хрупкое разрушение образцов с образованием трещин. В образцах БАД-2 образования трещин не происходило, однако был выявлен отрыв древесных волокон от бруска. Разрушение образцов БАД-0...БАД-2 происходило по контакту «клей-древесина», образцов БАД-3 – по контакту «клей-арматура». Комплексные графические результаты экспериментального

исследования приведены на рисунке 1, численные результаты представлены в таблице 2.

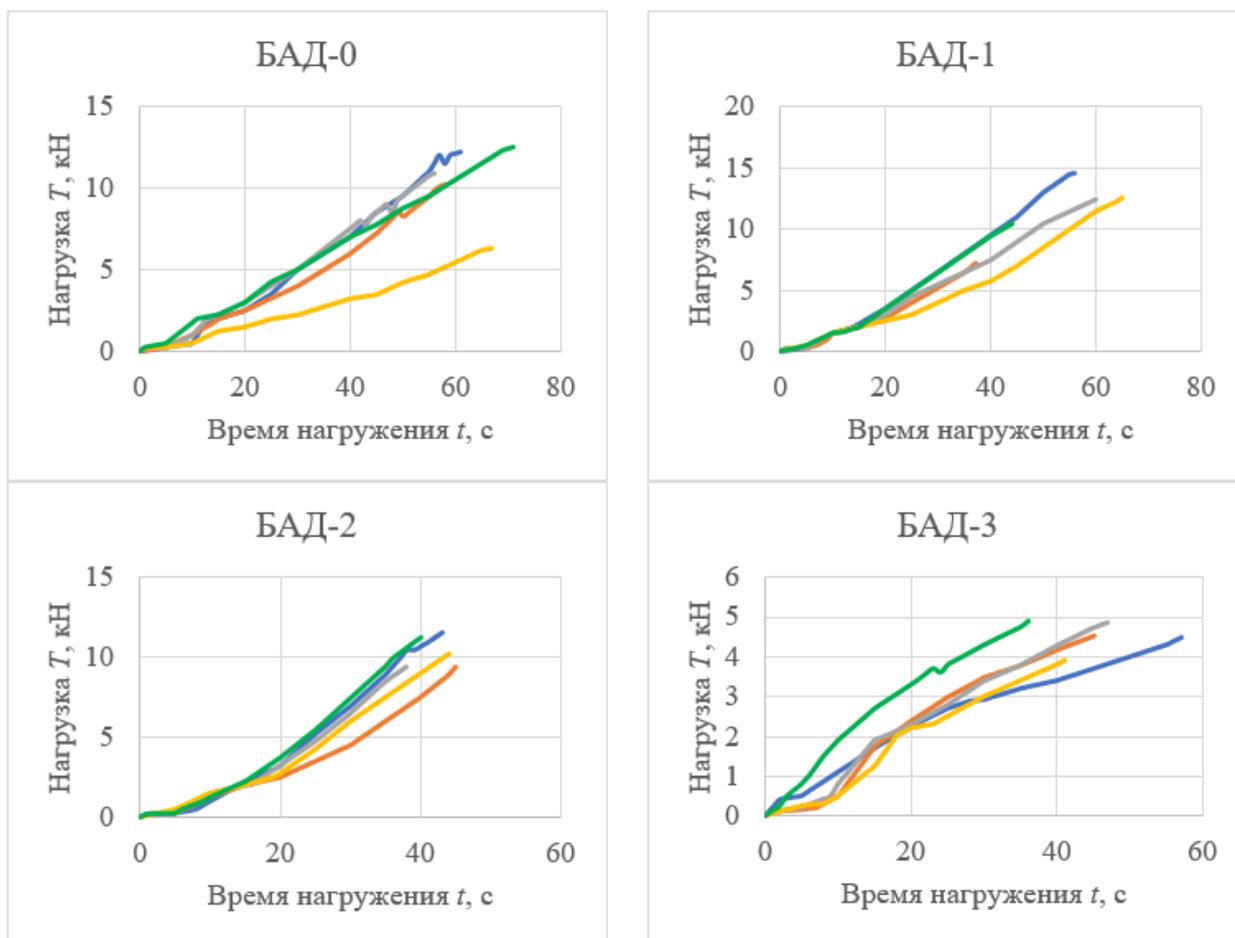


Рис. 2. – График испытания образцов серии БАД-0

Таблица № 2

Результаты экспериментального исследования

Образцы	Нагрузка, кН					Среднее значение	Коэффициент вариации
	1	2	3	4	5		
БАД-0	12,3	10,2	10,8	6,37	12,5	10,4±2,47	0,24
БАД-1	14,6	7,23	12,5	12,6	10,5	11,5±2,79	0,24
БАД-2	11,6	9,37	9,42	10,2	11,3	10,4±1,04	0,1
БАД-3	4,48	4,55	4,88	3,9	4,89	4,5±0,4	0,09

Коэффициент вариации составил не более 0,25, что обеспечивает умеренную надежность результатов. Образцы БАД-1 показали высокую

прочность на выдергивание стержней, на что повлияло увеличение зоны концентрации касательных напряжений за счет контакта слоев клееной древесины и сопутствующее уменьшение интенсивности касательных напряжений. Образцы серии БАД-0 со стержнями периодического профиля показали ожидаемую высокую прочность. Прочность образцов серии БАД-2 с использованием гладких арматурных стержней была незначительно ниже по сравнению с образцами серии БАД-0. Отсутствие образования трещин связано с исключением механического сцепления с древесиной, присущего арматуре периодического профиля благодаря поперечным ребрам арматурного стержня. Наименьшую прочность показали образцы серии БАД-3 с использованием стеклопластиковых стержней. При последующем извлечении арматуры из тела образца обнаружилось полное разрушение клевого соединения с арматурным стержнем, что обусловлено жирной поверхностью арматуры, обладающей низкой адгезией к клею. Тем не менее, разрушение клевого шва ознаменовало мгновенное исчерпание несущей способности без дальнейшего развития пластичных деформаций, что дает возможность убедиться в правильности выбора клевого состава.

### Обсуждение результатов

Согласно СП 64.13330.2017, несущая способность клееного стержня на выдергивание вдоль волокон древесины вычисляется по формуле:

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

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 защемления стержня;  $d$  – диаметр стержня. При расчете коэффициентов условий работы приняты следующие положения: на образцы действует нагрузка при машинных испытаниях, образцы испытываются при

естественной влажности и комнатной температуре, срок службы образцов не имеет значения.

Расчетная несущая способность по формуле 1 для всех образцов составит 6,03 кН. Согласно результатам испытаний, приведенным в таблице 2, средняя несущая способность деревянных элементов на выдергивание арматуры для образцов БАД-0 составляет 10,4 кН, для образцов БАД-1 – 11,5 кН, для образцов БАД-2 – 10,4 кН, для образцов БАД-3 – 4,5 кН. Благодаря усиленному клеевому составу удается добиться увеличения прочности клеевого соединения со стальной арматурой в 1,5...2 раза. Однако даже усиление клеевого соединения не обеспечило экспериментальную прочность соединения в образцах со стеклопластиковой арматурой, равную расчетной прочности или превышающую ее. Таким образом, появляется необходимость в дальнейшем усилении клеевого соединения со стеклопластиковыми стержнями.

### **Заключение**

Комплексное исследование клеевых соединений арматуры с древесиной в различных моделях АДК позволило определить влияние различных видов армирования и форм деревянных конструкций на прочность клеевого соединения. Все высказанные во введении предположения подтвердились. Результаты данного исследования могут быть использованы в качестве основы для комплексных испытаний образцов АДК на иные виды напряженно-деформированного состояния, а также попыток усовершенствования клеевых составов и соединений.

### **Литература**

1. Кавелин А.С., Тютин 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. Zhang H., Li H., Dauletbek A., Lorenzo R., Corbi I., Corbi O. Research status of glued-in rods connections in wood structures // Journal of Building Engineering. 2023. Т. 65. p. 105782.

3. Монасевич А.Л. Составные деревянные и железно-деревянные балочки // Вестник инженеров и техников. 1937. С. 12-17.

4. Щуко В.Ю. Клееные армированные конструкции в сельскохозяйственном строительстве // ВНИИИС, сер. 6, вып. 4. – М.: 1984. 61 с.

5. Uehara F., Matsumoto A. Metal resin bonding mediated by epoxy monolith layer // Applied Adhesion Science. 2016. №4. p.18.

6. 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.

7. Есипов А.В., Еренчинов С.А., Черных К.В. Учет податливости клевого соединения арматуры и древесины в армированных деревянных балках // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2020. №4(40). С. 29-40.

8. Есипов А.В., Черных К.В. Экспериментальные исследования клевого соединения древесины и стальной арматуры в лабораторных условиях // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: сборник трудов конференции. 2019. С. 100-104.

9. Линьков В.И. Повышение несущей способности соединений на наклонных ввинченных стержнях // Инженерный вестник Дона. 2020. №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6688/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6688/).

10. Кощев А.А., Роцина С.И. Эффективность прямолинейного армирования деревянных балок перекрытий стальной тросовой арматурой без предварительного натяжения // Системы. Методы. Технологии. 2021. №2(50). С. 100-105.

---

## 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. Zhang H., Li H., Dauletbek A., Lorenzo R., Corbi I., Corbi O. Journal of Building Engineering. 2023. V. 65. p. 105782.
3. Monasevich A.L. Vestnik inzhenerov I tekhnikov. 1937. pp. 12-17.
4. Shchuko V.Y. VNIIS, ser. 6, vyp. 4. Moscow, 1984. p. 61.
5. Uehara F., Matsumoto A. Applied Adhesion Science. 2016. №4. p. 18.
6. 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.
7. Yesipov A.V., Yerenchinov S.A., Chernykh K.V. Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. 2020. №4(40). pp. 29-40.
8. Yesipov A.V., Chernykh K.V. Energoberezheniye i innovatsionnye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse: sbornik trudov konferentsii. 2019. pp. 100-104.
9. Lin'kov V.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6688/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6688/).
10. Koshcheyev A.A., Roshchina S.I. Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2021. №2(50). pp. 100-105.

**Дата поступления: 3.07.2025**

**Дата публикации: 25.08.2025**