

DOI: <https://www.doi.org/10.18454/mca.2023.3.34.003>

## АРМИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ

Научная статья

Цыбакин А.В.<sup>1</sup>, Титунин А.В.<sup>2</sup>, Цветков А.А.<sup>3</sup>\*

<sup>1, 2, 3</sup> Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия

\* Корреспондирующий автор (takensuch[at]mail.ru)

### Аннотация

В данной статье приводится анализ армирования деревянных балок композитной арматурой с целью повышения несущей способности конструкции, а также для снижения трудозатрат на возведение зданий из деревянных элементов. В статье рассмотрены основные конструктивные и технологические аспекты армирования деревянных балок арматурой из композитных материалов, выявлены достоинства и недостатки данного типа усиления. Также детально разобраны составляющие балки такие как клеи и композитная арматура, озвучены основные требования к ним. Затронут вопрос влияния климата на совместную работу стеклопластиковой арматуры и древесины. Приведены доводы в пользу использования данного типа армирования деревянных конструкций. Выдвинут ряд задач, решив которые появится возможность отладить технологический процесс по производству клееных деревянных балок.

**Ключевые слова:** деревянная балка, композитная арматура, конструктивная схема, повышение прочности, армированная балка, деревянные конструкции.

## REINFORCING OF WOODEN BEAMS WITH COMPOSITE REINFORCEMENT

Research article

Tsybakin S.V.<sup>1</sup>, Titunin A.A.<sup>2</sup>, Tsvetkov D.Yu.<sup>3</sup>\*

<sup>1, 2, 3</sup> Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

\* Corresponding author (takensuch[at]mail.ru)

### Abstract

This article provides an analysis of the reinforcing of wooden beams with composite reinforcement in order to increase the load-bearing capacity of the structure, as well as to reduce labour costs for the construction of buildings made of wooden elements. The main structural and technological aspects of reinforcing wooden beams with armouring made of composite materials are examined, the advantages and disadvantages of this type of reinforcement are disclosed. The components of the beams, such as glues and composite reinforcement, are also analysed, and the basic requirements for them are presented. The issue of climate influence on the joint work of fiberglass reinforcement and wood is elaborated on. The arguments in favour of using this type of reinforcement of wooden structures are given. A number of problems are prompted, with solving which it will be possible to fix the technological process for the production of glued wooden beams.

**Keywords:** wooden beam, composite reinforcement, structural scheme, strength increase, reinforced beam, wooden structures.

### Введение

Для таких богатых лесными ресурсами стран как Россия, Финляндия, Австрия, Япония, Швеция характерны многовековые традиции строительства зданий и сооружений из дерева. [1] Конструкции из дерева подходят как несущие в зданиях промышленного и гражданского назначения [9]. Древесину используют для изготовления стропильных систем, колонн, арочных конструкций, балок перекрытия. Из древесины строят спортивные комплексы, торговые центры, офисные здания, фабрики и склады, мосты и эстакады и прочие сооружения разнообразного назначения.

По данным ассоциации деревянного домостроения в Волгоградской области за 2022 г. построено 1788 индивидуальных жилых домов из дерева. [2] В июле 2022 года Минстрой России совместно с МЧС России утвердили план мероприятий по развитию деревянного домостроения на период до 2024 года. Планируется развивать отрасль строительства из древесины, возводя жилые здания высотой свыше 3-х этажей.

### Основная часть

У деревянных конструкций есть ряд достоинств: конструкции из древесины весят меньше аналогичных конструкций из железобетона или металла; древесина является экологически чистым материалом; у древесины большая сырьевая база [8]; древесина сохраняет свои свойства в агрессивных щелочных и кислотных средах. Но в тоже время среди людей остаётся скептицизм и недоверие к зданиям, построенным из древесины.

Конструкции из древесины обладают одним недостатком — высотой сечения. При проектировании зданий и сооружений из деревянных балок высота таких балок принимается  $1/10 \dots 1/12$  от длины пролёта. к примеру, если мы конструируем, цех с пролётом длиной 30м, то минимальная высота сечения клееной деревянной балки будет равна 3 м. Данное решение является нерациональным ввиду того, что балка кроме того, что воспринимает нагрузку от вышележащих конструкций, но и воспринимает нагрузку от своего собственного веса. А значит, что при определенном значении пролёта балка не сможет нести саму себя. Эта проблема решается путём усиления деревянной балки различными методами [7], либо изменениями конфигурации балок. Также древесина может потерять свои свойства в

ходе эксплуатации по причине механических повреждений, загнивания, повреждений от насекомых-вредителей. Проблемы с биологическими повреждениями нивелируются при помощи обработки древесины антипиренами и антисептическими составами [10].

Со временем повышаются требования к эксплуатационным характеристикам зданий и сооружений. Это является следствием технического прогресса и более детального изучения работы конструктивных элементов. Например, для деревянных балок растут требования к длине перекрываемых пролетов зданий – отсюда вытекают повышенные требования к прочности балок.

Перед инженерами стоит задача модернизации конструкции деревянной балки с целью уменьшить сечение элемента и повысить несущую способность.

В 2014 году научной группой из Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых был запатентован способ армирования клееной деревянной балки. Который заключался в том, что пазы под арматуру фрезеруются по боковым поверхностям в склеенной заготовке, которая лежит плашмя, без кантования, причем арматуру размещают внутри составного сечения. Как заверяют создатели патента использование предлагаемого способа сократит время изготовления армированных клееных конструкций и повысит их безопасность [3].

При изучении деревянных балок, армированных стальной арматурой, сталкиваются с следующими проблемами: высокая стоимость армирующих материалов, наличие армирующих компонентов значительно увеличивает стоимость материалов и работ по сооружению деревянных балок; высокий модуль Юнга стали по отношению к модулю Юнга древесины, что приводит к неполноценной совместной работе материала; также древесине свойственно впитывать влагу из атмосферы, а стальная арматура, в отличие от других материалов, не имеет достаточной выносливости к влиянию агрессивных сред, поэтому это может быть причиной раннего повреждения арматуры и последующих проблем в работе конструкции.

Часть недостатков армирования стальной арматурой можно нивелировать, используя арматуру из композитных материалов. При армировании СПА необходимо решить только проблему фиксации арматуры в балке.

При армировании композитной арматурой появляется возможность более эффективно конструировать узловые соединения и стыки деревянных балок, что даст возможность облегчить транспортировку, ускорить сборку и монтаж. А также позволит более качественно и быстро производить ремонт конструкций.

Прочность клееных деревянных балок также зависит от клеевого состава. Необходимо подобрать клей, который обеспечит максимальное сцепление СПА и ламели древесины. Т.к. дерево в процессе эксплуатации незначительно меняется в своих геометрических размерах, то состав клея должен учитывать данную особенность и не терять качество сцепки с течением времени.

Синтетические клеи, от которых во многом зависит качество, несущая способность и долговечность клееных деревянных конструкций, должны отвечать следующим требованиям: быть водостойкими, т.е не снижать своей прочности при увлажнении конструкций; обладать высокой прочностью, превышающей прочность склеиваемой древесины на скалывание вдоль волокон и на разрыв поперек волокон; долговечность, т.е обеспечивать заданную прочность в течение всего срока службы конструкции [4].

Арматура из композитных материалов, как правило, обладает глянцевой поверхностью. Это связано с технологией производства: эпоксидные или полиэфирные смолы, из которых изготавливается арматура, при затвердевании образуют глянцевую поверхность. Согласно исследованиям, клеевое соединение с глянцевой поверхностью характеризуется малой адгезией, следовательно, и недостаточной прочностью. По причине указанной выше при вклейке СПА в деревянную балку предварительно обрабатывают, чтобы придать ей шероховатую матовую поверхность. Структуру поверхности изменяют при помощи технологической обработки, например, при помощи бесцентрового шлифования тонких прутков. Но стоит учитывать, что по ГОСТу 31938-2012 не допускается механические повреждения навивки по требованиям к её внешнему виду. Поэтому, необходимо также разработать технологию производства, при котором поверхность арматуры будет матовой уже по окончании цикла изготовления материала. Этого можно достичь при добавлении в смолу мелких фракций на этапе полимеризации смол.

С целью обеспечить эффективную работу деревянной балки, армированной композитной арматурой нами выдвинуты к решению следующие задачи. В первую очередь нужно отладить технологическую линию производства армированных балок, которая будет учитывать все специфические аспекты конструкции. Следующим шагом целесообразно решить проблему с глянцевостью навивки стекло пластиковой арматуры [5]. Затем нужно подобрать клеевой состав, который обеспечит совместную работу конструкции и прочное сцепление арматуры с древесиной балки. Также прочность сцепления можно повысить, изменив технологию производства. К примеру, в ходе анализа информации на данную тему было выявлено, что перспективным является метод вдавливания арматуры между ламелями балки вакуумным методом.

Также стоит отметить тот фактор, что микроклимат в помещении оказывает прямое влияние на работу конструкции. По данным компании Thermal Design & Engineering, циклические изменения микроклимата оказывают неблагоприятное воздействие на деревянные балки, армированные стекловолокном. Т.к. при изменении влажности древесины свойственно изменять свои геометрические размеры, а точнее при повышении влажности древесина увеличивается, а при понижении уменьшается. Размеры стеклопластиковой арматуры не зависят от влажности. По этой причине может произойти отслоение арматуры от древесины с течением длительного времени.

Деревянные балки, армированные композитной арматурой, являются перспективной строительной конструкцией [7]. При всех их преимуществах имеется один значимый недостаток – выдергивание арматурных стержней т.к. известные методы изготовления таких балок не обеспечивают совместную работу древесины и композитного материала.

На сегодняшний день отсутствует полноценная информация о величине сцепления композитной арматуры с древесиной и её зависимости от клеевого состава и метода вклеивания. Таким образом, необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований, направленных на определение характеристик сцепления. Результаты этих исследований дадут понимание о характере работы материалов совместно под нагрузкой, а также при их помощи появится возможность усовершенствовать технологию производства комбинированных конструкций.

Одним из решений проблемы обеспечения совместной работы древесины и стеклопластиковой арматуры, а также выдёргивания арматурных стержней из конструкции балки является изменение фактуры поверхности с глянцевой на шероховатую. С этой целью композитную арматуру могут выполнить с различными зацепами. Ещё одним из технических решений возможно выполнение арматуры в виде плоской ленты. Также с целью повышения прочности соединения с древесиной в композитной арматуре могут использоваться различные покрытия поверхности или покрытие поверхности навивки материалом, которое улучшит сцепление. В одном из патентов [11] в стеклопластиковой арматуре собраны все возможные способы увеличения совместной работы с древесиной: содержание волокон, смолы и зацепов, которые образованы при помощи нанесения слоя песка, закрепленным в процессе затвердевания навивки. При этом дополнительно на концах арматуры выполняются утолщения для закрепления арматуры в конструкции, каждое утолщение выполняется в виде обмотки, которая дополнительно обрабатывается абразивным материалом.

Одним из способов получения шероховатой поверхности является метод пултрузии, который заключается в протягивании волокнистого наполнителя, к примеру, базальтового или стеклянного ровинга, через ванну с эпоксидной смолой. Избыток смолы удаляют на следующем этапе при помощи отжима. Затем на поверхность арматурного стержня наматывают спиральную навивку, которая придаёт ребристую фактуру изделию. После на поверхность стержня наносят кварцевый песок и изделие отправляют в печь, где происходит отвердевание. В процессе отвердевания зерна кварцевого песка, образуют прочную шероховатую поверхность, что может увеличить сцепление арматуры и древесины.

### Заключение

Экспериментируя с различными способами улучшения совместной работы материалов, можно экспериментально прийти к решению проблемы эффективного армирования деревянных балок композитной арматурой. Целесообразность использования деревянных балок, армированных композитной арматурой, логична в текущей реальности нашей страны. Осталось только решить поставленные задачи и достичь результатов в области разработки прогрессивных строительных конструкций.

### Conflict of Interest

None declared.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Список литературы / References

1. Афонин В.С. Этапы Формирования Мирового Многоэтажного Деревянного Строительства / В.С. Афонин. — Москва, 2018.
2. Деревянное домостроение — самая популярная технология ИЖС в Волгоградской области // Npadd.ru. — Москва, 2023. — URL: <https://npadd.ru/novosti/derevyannoe-domostroenie-samaya-populyarnaya-tehnologiya-izhs-v-volgogradskoy-oblasti> (дата обращения: 10.02.2023)
3. Рощина С. И. Способ изготовления армированной клееной деревянной балки / С. И. Рощина, М. В. Лукин, А. В. Лукина [и др.] // Патент RU. — 11 2 555 734 С1
4. Проценко Е.А. О технологии армирования клееной древесины путем вдавливания стеклопластиковой арматуры в процессе прессования ламелей / Проценко Е.А., Цыбакин С.В., Титунин А.А. — Самара, 2022.
5. ГОСТ 31938- 2022 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. — Москва, 2022.
6. Баранов С.А. Металлодеревянная балка / С.А. Баранов, В.М. Соболев, С.В. Пономарев [и др.] // Патент RU. — 2 120 005 С1
7. Есипов А.В. Экспериментальные исследования усиления цельнодеревянных балок стержневой арматурой в растянутой зоне / А.В. Есипов, Я.В. Лыкова, С.А. Ерецинов. — Тюмень, 2017. — С. 3.
8. Харук Е.В. Лесное товароведение с основами древесиноведения / Е.В. Харук. — Красноярск, 2006.
9. Бодэ А. Б. Традиционное строительство из дерева и плотницкое мастерство / А. Б. Бодэ, О. А. Зинина, А. Ю.Косенков [и др.]. — Москва, 2019.
10. Воронцов С.Л. К вопросу об истории развития огнезащиты для древесины, современные проблемы гражданской защиты / С.Л. Воронцов, К.А. Новожилова, Н.М. Панев [и др.]. — Иваново, 2022.
11. Николаев В.Н. Установка для выполнения анкерных зацепов на арматурных стержнях / В.Н. Николаев // Патент RU. — 2001113390. — 2003.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Afonin V.S. Etapy Formirovaniya Mirovogo Mnogoetazhnogo Derevyannogo Stroitel'stva [Stages Of Formation Of The World Multi-Storey Wooden Construction] / V.S. Afonin. — Moscow, 2018 [in Russian].
2. Derevyannoe domostroenie — samaya populyarnaya tekhnologiya IZHS v Volgogradskoj oblasti [Wooden house construction is the most popular technology of residential housing in the Volgograd region] // Npadd.ru. — Moscow, 2023. — URL: <https://npadd.ru/novosti/derevyannoe-domostroenie-samaya-populyarnaya-tehnologiya-izhs-v-volgogradskoy-oblasti> (accessed: 10.02.2023) [in Russian]
3. Roschina S. I. Sposob izgotovleniya armirovannoj kleenoy derevyannoj balki [Method of manufacturing reinforced glued wooden beams] / S. I. Roschina, M. V. Lukin, A.V. Lukina [et al.] // Patent RU. — 11 2 555 734 C1 [in Russian]

4. Proshchenko E.A. O tekhnologii armirovaniya kleenoy drevesiny putem vdavlivaniya stekloplastikovoj armatury v processe pressovaniya lamelej [On the technology of reinforcement of glued wood by pressing fiberglass reinforcement in the process of pressing lamellas] / E.A. Proshchenko, S.V. Tsybakin, A.A. Titunin. —Samara, 2022 [in Russian].
  5. GOST 31938- 2022 Armatura kompozitnaya polimernaya dlya armirovaniya betonnykh konstrukcij [Composite polymer reinforcement for reinforcement of concrete structures]. —Moscow, 2022 [in Russian].
  6. Baranov S.A. Metalloderevyannaya balka [Metal-wood beam] / S.A. Baranov, V.M. Sobolev, S.V. Ponomarev [et al.] // Patent RU. — 2 120 005 C1 [in Russian]
  7. Esipov A.V. Eksperimental'nye issledovaniya usileniya cel'noderevyannykh balok sterzhnevoj armaturoj v rastyanutoj zone [Experimental studies of reinforcement of solid-wood beams with rod reinforcement in a stretched zone] / A.V. Esipov, Ya.V. Lykova, S.A. Erechinov. — Tyumen, 2017. — P. 3 [in Russian].
  8. Haruk E.V. Lesnoe tovarovedenie s osnovami drevesinovedeniya [Forest commodity science with the basics of wood science] / Haruk E.V. —Krasnoyarsk, 2006 [in Russian].
  9. Bode A. B. Tradicionnoe stroitel'stvo iz dereva i plotnickoe masterstvo [Traditional wood construction and carpentry] / A. B. Bode, O. A. Zinina, A. Yu. Kosenkov. —Moscow, 2019 [in Russian].
  10. Vorontsov S.L. K voprosu ob istorii razvitiya ognezashchity dlya drevesiny, sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity [On the history of the development of fire protection for wood, modern problems of civil protection] / S.L. Vorontsov, K.A. Novozhilova, N.M. Panev [et al.]. — Ivanovo, 2022 [in Russian].
  11. Nikolaev V.N. Ustanovka dlya vypolneniya ankernyh zacepov na armaturnyh sterzhnyah [Installation for performing anchor hooks on reinforcing rods] / V.N. Nikolaev // Patent RU. — 2001113390. — 2003 [in Russian].
- 
-