

УДК 624.011.1:691.33:620.17

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ В ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

**А.Р. Волик, Л.А. Черкас**

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,  
г. Гродно, Республика Беларусь  
e-mail: a.volick@mail.ru, lacherkas@grsu.by

*Наиболее распространенными механическими связями, используемыми для соединения деревянных элементов, являются металлические элементы, обладающие высокой прочностью, но имеющие недостатки, связанные с коррозионной стойкостью. Представлены результаты экспериментальных исследований соединений нагельного типа деревянных элементов с использованием стеклопластиковой арматуры. Исследования показали снижение несущей способности соединений на 21% – 29% и интенсивное развитие деформаций сдвига на всех этапах нагружения при замене металлических нагелей из арматуры класса S500 на стеклопластиковую арматуру. Применение стеклопластиковой арматуры возможно в особых условиях (агрессивная среда др.), где применение металла затруднено, но с учетом особенности ее работы в соединениях.*

**Ключевые слова:** нагель, стеклопластиковая арматура, деформации сдвига, композитная арматура, разрушение.

## EXPERIMENTAL STUDIES OF MECHANICAL CONNECTIONS MADE OF FIBERGLASS REINFORCEMENT IN WOODEN ELEMENTS

**A. Volik, L. Cherkas**

Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus  
e-mail: a.volick@mail.ru, lacherkas@grsu.by

*The most common mechanical ties used to connect wooden elements are metal elements, which offer high strength but have disadvantages related to corrosion resistance. The article presents the results of experimental studies of dowel-type connections of wooden elements using fiberglass reinforcement. The studies revealed a 21% to 29% reduction in the load-bearing capacity of the connections and an intense development of shear deformations at all loading stages when replacing metal dowels made of grade S500 rebar with fiberglass rebar. The use of fiberglass rebar is possible in special conditions (aggressive environments, etc.) where the use of metal is difficult, but it requires consideration of its specific performance in connections.*

**Keywords:** dowel, fiberglass rebar, shear deformations, composite rebar, failure.

**Введение.** Деревянные конструкции востребованы во многих отраслях народного хозяйства. Особенно эффективно применение древесины в химически агрессивной среде – при возведении складов, производственных зданий, так как ее эксплуатационные характеристики в таких условиях значительно лучше стальных, каменных и армокаменных конструкций.

В химически агрессивных средах при применении конструкций из древесины является актуальным вопрос проектирования и изготовления прочных, долговечных и надежных стыков и узлов соединений, так как проектирование прочных и долговечных конструкций без надежных соединений невозможно.

В настоящее время соединения выполняют в основном из стальных элементов (нагелей, стальных болтов, пластин, закладных деталей и прочих), которые также подвержены агрессивному воздействию среды, что приводит к дополнительным затратам в эксплуатации конструкций, а иногда являются причиной аварийных ситуаций.

Наиболее распространенными механическими связями, используемыми для соединения древесины, являются цилиндрические нагели, которые воспринимают сдвиг деревянных элементов относительно друг друга [1–3]. Основными недостатками нагельных соединений являются локальные ослабления поперечного сечения соединяемых элементов, относительно высокая податливость и повышенная ползучесть при возникновении нагрузок, близких к предельным. Податливость связей составных деревянных элементов происходит за счёт изгиба самого нагеля и смятия нагелем древесины в гнезде.

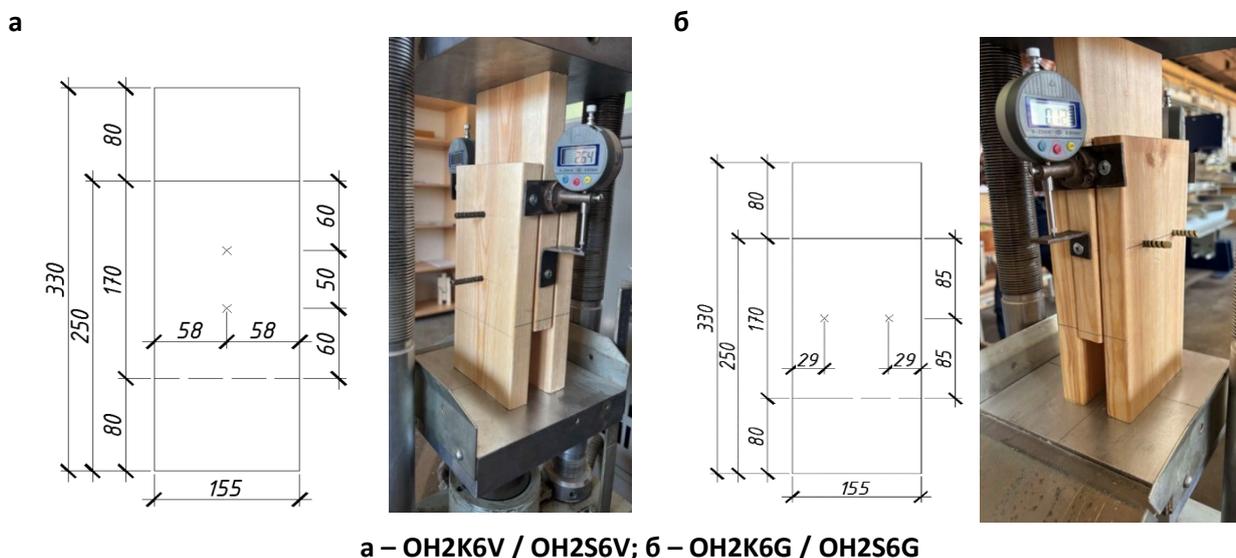
Цилиндрические нагели производят из стали алюминия, твердых пород древесины и др. Они, как правило, бывают в виде гладких стержней с круглым сечением, гвоздей, болтов, винтов, глухарей и шурупов.

Исследования перспективных строительных материалов, способных заменить металлические связи показали, что одним из возможных направлений является применение композитных материалов, стойких к химической агрессии. Для конструкций, подверженных действию агрессивных сред, в которых использование стальных нагелей недопустимо, в настоящий момент применяют нагели из высокопрочных пластиков (стеклопластики АГ-4С, древеснослоистые пластики и др.) [4], их несущая способность в качестве рабочих связей податливых соединений достаточно исследована, но стоимость высока.

В качестве альтернативы предлагается применение в качестве нагелей стержней стеклопластиковой арматуры как материала, обладающего коррозионной стойкостью, малым весом, хорошей адгезией к древесине и сравнительно невысокой стоимостью, но мало исследованная и недостаточно изученная в качестве механических связей для деревянных элементов. Наиболее исследован к настоящему времени вопрос применения стеклопластиковой арматуры в качестве стержней для армирования деревянных конструкций [5–7].

Поэтому целью данной работы является экспериментальное исследование возможности применения стеклопластиковой арматуры в качестве механических связей для деревянных элементов.

**Описание образцов и методики испытаний.** Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены образцы деревянных соединений нагельного типа. В качестве нагелей использовались стержни стеклопластиковой арматуры диаметром 6 мм производства компании АРМАСТЕК. В качестве контрольных образцов были использованы стальные нагели аналогичного диаметра – арматура  $\varnothing 6$  мм класса S500. Были изготовлены и испытаны соединения с двумя плоскостями среза с горизонтальным и вертикальным размещением нагелей (рисунок 1). Все соединения имели одинаковую геометрию, что обеспечивало корректность сравнительного анализа.

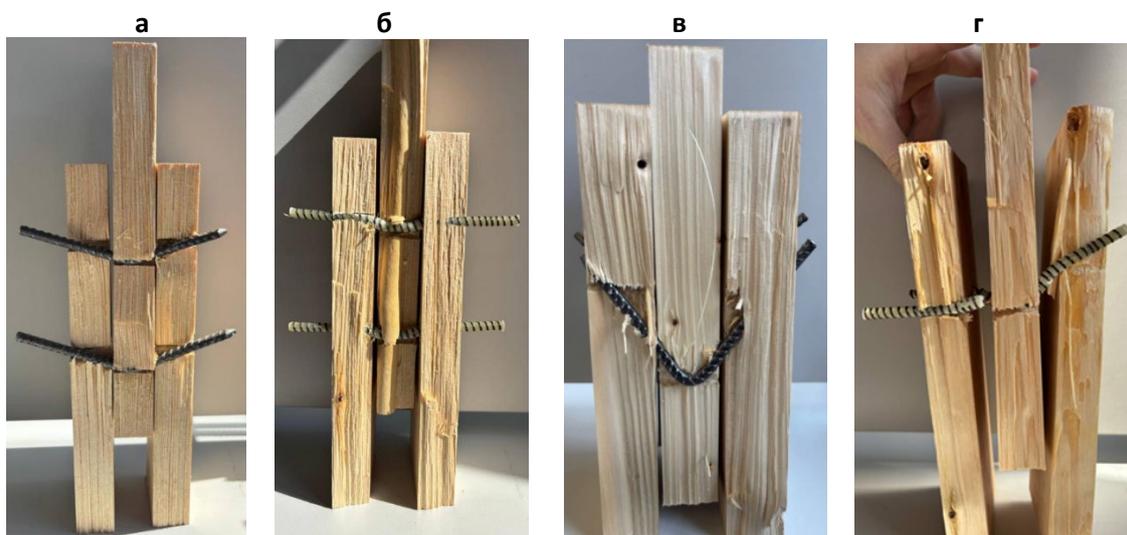


а – ОН2К6V / ОН2S6V; б – ОН2К6G / ОН2S6G

Рисунок 1. – Конструктивное решение экспериментальных образцов нагельных соединений

Испытания проводились на гидравлической машине с торсионным силоизмерением ИП 6084-100-0. Для измерения деформаций сдвига в швах на образцах устанавливались два индикатора часового типа, которые были закреплены на крайних досках так, чтобы их штрихи упирались в уголки, привинченные к средней доске.

**Анализ результатов экспериментальных исследований.** При разрушении соединений со стальными нагелями произошел изгиб нагелей и смятие деревянных элементов соединения (рисунок 2 а, в). При достижении нагрузки 13 кН работа соединений перешла в стадию пластических деформаций, при которой наблюдалось значительное увеличение перемещений при незначительном увеличении нагрузки. Нагельные соединения со стеклопластиковой арматурой разрушились в результате пластического деформирования нагеля при изгибе и смятии древесины (рисунок 2 б, г.)



а – ОН2S6V; б – ОН2K6V; в – ОН2S6G; г – ОН2K6G

**Рисунок 2. – Конструктивное решение экспериментальных образцов нагельных соединений**

Анализ несущей способности экспериментальных образцов нагельных соединений показал (рисунок 3):

- наибольшую несущую способность (разрушающая нагрузка составила 16,9 кН) продемонстрировал образец со стальной вертикальной арматурой ОН2S6V. Замена стальной арматуры на стеклопластиковую в случае вертикального размещения нагелей снижает разрушающую нагрузку на 29%.

- при горизонтальном размещении нагелей разрушающая нагрузка соединения со стеклопластиковой арматурой ОН2K6G составила 11,5 кН, что на 21% меньше образца ОН2S6G с металлическим стержнем.

Анализ развития деформаций сдвига в экспериментальных нагельных соединениях показал:

- интенсивность развития деформаций сдвига в экспериментальных образцах не зависит от расположения нагелей;

- минимальную интенсивность развития деформаций сдвига при нагружении показали образцы с нагелями, выполненными из металлической арматуры класса S500;

- при замене металлических нагелей на стеклопластиковую арматуру развитие деформаций наблюдается более интенсивно с первых этапов нагружения и увеличивает деформации сдвига в 2–7 раз по мере нагружения образцов. Это связано с меньшей жёсткостью и модулем упругости стеклопластиковых нагелей.

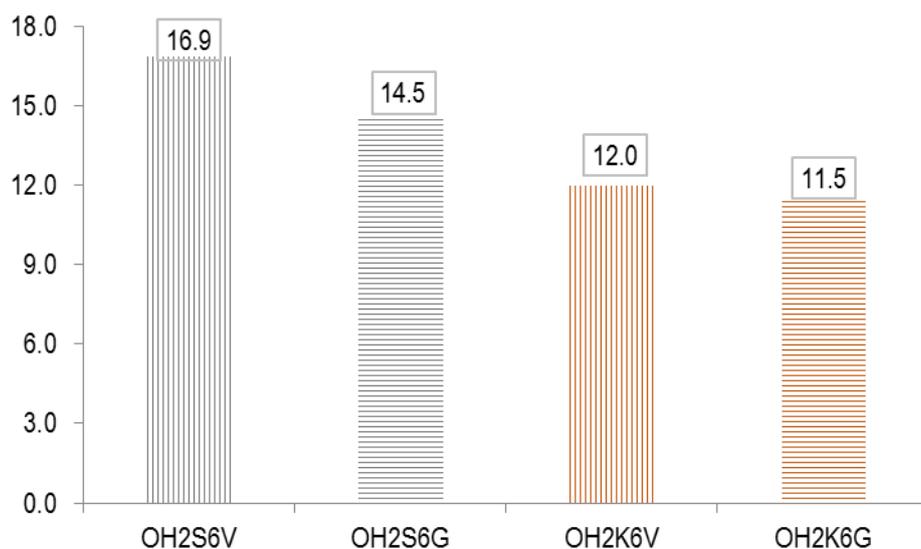


Рисунок 2 – Разрушающая нагрузка экспериментальных соединений

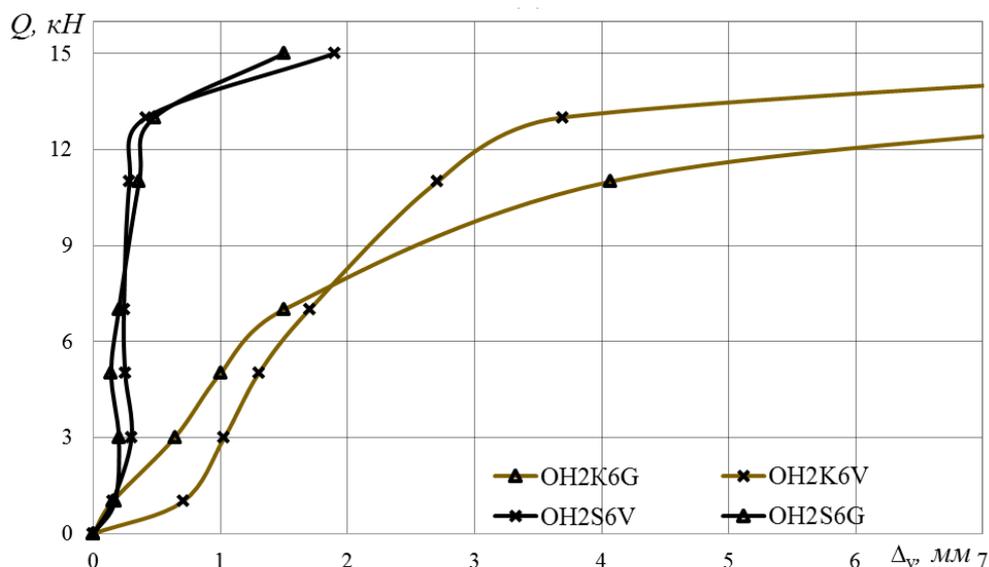


Рисунок 3 – Развитие деформаций сдвига в соединениях

**Заключение.** Выполненные экспериментальные исследования нагельных соединений позволили оценить эффективность использования стеклопластиковой арматуры в качестве нагелей в соединениях. По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

- исследования показали снижение несущей способности соединений на 21% – 29% при замене металлических нагелей, выполненных из арматуры класса S500, на стеклопластиковую арматуру;
- применение стеклопластиковой арматуры в качестве нагелей вызывает интенсивное развитие деформаций сдвига на всех этапах нагружения;
- применение композитной арматуры (стеклопластиковой) возможно в особых условиях (агрессивная среда, температурные воздействия и др.), где применение металла затруднено;
- необходимо разработка методики расчета несущей способности нагельных соединений с нагелями из стеклопластиковой арматуры, учитывающие ее механические характеристики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Козлюк, А.Г., Старовойтов, С.А., Некипелов, А.Д. Напряженно-деформированное состояние нагельного соединения / А.Г. Козлюк, С.А. Старовойтов, А.Д. Некипелов // Сборник докладов III Международной научно-практической конференции к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. – С. 64–68.
2. Окольникова, Г.Э. Анализ работы нагельных соединений деревянных конструкций с позиций механики разрушения / Г.Э. Окольникова // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2011. – С. 40–46.
3. Умнова, О.В. Несущая и деформационная способность стеклопластиковых нагельных соединений в деревянных конструкциях с учетом времени и температуры эксплуатации / О.В. Умнова // дисс. канд. техн. наук. – Воронеж, 2005. – 188 с.
4. Филисюк, В.Г. Деформативность и несущая способность нагельных соединений деревянных конструкций с нагелями из стеклокомпозитной арматуры / В.Г. Филисюк, В.А. Демин, А.А. Ефимов, Н.Ю. Худышкина // Вестник евразийской науки. – 2025. – Т. 17, № 4. – URL: <https://esj.today/PDF/36SAVN425.pdf>.
5. Barsukov, V. Structural Mechanics Aspect of Strength of Composite Reinforcement / V. Barsukov, A. Volik, S. Sazon // E3S Web of Conferences. Vol. 212 (2020): International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2020), Brest, Belarus, October 29-30, 2020. – Brest: EDP Sciences, 2020. – С. 1–10. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021202002>.
6. Волик, А.Р. Влияние армирования поперечного сечения стеклопластиковой арматурой на несущую способность деревянных балок / А.Р. Волик, О.В. Дунникова // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : материалы XX междунар. науч.-метод. семинара (Гродно, 17–19 февраля 2016 г.) / Учреждение образования "Гродненский государственный университет имени Янки Купалы" ; ред. кол. В.Г. Барсуков [и др.]. – Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2016. – С. 22–26.
7. Серов Е.Н. Проектирование деревянных конструкций / Серов Е.Н., Санников Ю.Д., Серов А.Е. – М.: АСВ, 2015. – 536 с.
8. Волик, А.Р. Композитные материалы, используемые для усиления деревянных конструкций / А.Р. Волик, О.В. Дунникова // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров. В 3 ч. Ч. 2 : сб. науч. ст. XIX междунар. научн.-метод. семинара, Брест, 23–25 окт. 2014 г. – Брест : БрГТУ, 2014. – С. 29–32.