

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛЕЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ШАЙБ, ВОСПРИНИМАЮЩИХ УСИЛИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ ВДОЛЬ ВОЛОКОН ДРЕВЕСИНЫ

### EXPERIMENTAL STUDY OF GLUED-IN STEEL WASHERS RECEIVING FORCES DIRECTED ALONG WOOD FIBERS

Проведено экспериментальное испытание стыкового соединения с применением древесины, стальных шайб и полимерной клеевой композиции. Предложен образец, работа которого при испытаниях схожа с работой клеенных шайб в реальном узле. Выбранная конструкция экспериментального образца позволяет в лабораторных условиях смоделировать продавливание древесины кромкой клеенной шайбы. Подтверждена теория совместной работы дерева с клеевым швом при испытании на скалывающие усилия. Сделан вывод, что клеевая композиция повышает общую несущую способность узла, а также уменьшает его общую податливость.

*Ключевые слова:* металлические клеенные шайбы, узловые соединения, испытание, деформация, несущая способность.

There was carried out an experiment testing of butt joint using wood, steel washers and a polymer adhesive composition. A sample has been developed, the operation of which during testing is similar to the operation of glued-in washers in a real unit. The selected design of the experimental sample allows in laboratory conditions to simulate the punching of wood by the edge of the glued-in washer. The theory of joint work of wood with a glue seam with chipping forces is confirmed. It is concluded that the adhesive composition increases the overall bearing capacity of the assembly and also reduces its overall compliance.

*Keywords:* metal glued-in washers, joint connections, testing, deformation, load-bearing capacity.

#### Введение

Деревянные конструкции в строительстве применяются все чаще из-за высокой экологичности и экономичности применения подобных решений. Преимущества конструкций из клееной древесины описаны в работах [5, 6].

Узловые соединения как наиболее ответственные элементы конструкций необходимо разрабатывать с особым вниманием, однако стандартные решения по стыковым соединениям не предусматривают применения новых материалов и конструктивных

решений. Существует множество теоретических материалов, описывающих принципиальную работу различных типов узловых соединений деревянных конструкций. Древесина как возобновляемый материал обладает такими преимуществами, как легкий вес, нетоксичность и простота обработки. Однако поскольку древесина имеет свойство анизотропности, возникают дополнительные ограничения при конструировании. Также стоит отметить, что дефекты древесины эффективно компенсируются применением металлических пластин и стержней. Таким

образом, сочетание дерева и стали может обеспечить полную реализацию преимуществ двух материалов и достичь взаимодополняющих эффектов. Несмотря на обилие теоретических данных по работе узловых соединений в целом, информации по вкладу отдельных составляющих элементов в работу узла достаточно мало. Есть работы, описывающие работу деревянных узлов с применением металлических пластин [2, 3] или стержней [1, 4], но вопрос несущей способности деревянных узловых соединений на клеенных шайбах не изучен, как и вклад этих шайб в общую несущую способность узла.

В статье [7] Е. Н. Серов и С. И. Миронова рассматривают варианты усиления конструкций из клееной древесины и отмечают, что методы расчета, приведенные в нормативных документах, не всегда применимы для новых типов конструкций, а значит, и для узловых соединений данных конструкций.

На работу конструкций, выполненных из клееной древесины, существенно влияют варианты исполнения узловых соединений конструктивных элементов конструкций. В работах [8–13] М. С. Золотов, Г. Н. Зубарев, Ю. М. Иванов, Л. М. Ковальчук, А. В. Калугин исследуют возможность использования металлических элементов при устройстве узловых соединений деревянных конструкций.

В работе [14] С. Б. Турковский, А. А. Погорельцев и В. О. Стоянов приводят результаты испытаний V-образных анкеров, клеенных в торец стойки. Данные испытания показывают, что использование V-образных анкеров позволяет добиться высокой несущей способности на сдвиг относительно опоры. Также авторы отмечают, что в ветвях анкеров действуют осевые усилия.

В статье [15] Ф. С. Школяр, А. С. Никитин и А. И. Зацепина представили результаты экспериментов с образцами клееной древесины, усиленных клееными в древесину стержнями периодического профиля. Для

каждого образца были определены полные деформации на всех ступенях нагружения, а также рассчитаны величины сопротивления древесины и значения податливости для каждого из испытываемых образцов.

В работе [16] автор определяет степень влияния ослаблений поперечного сечения на напряженно-деформированное состояние деревянных балок, усиленных армированием.

Разработка новых узловых соединений деревянных конструкций проводится не только в России, но и за рубежом. В работах [17–20] рассматриваются соединения конструкций из клееной древесины с усилением в виде различных металлических элементов.

Анализ отечественной и зарубежной литературы, описывающей применение металлических элементов при устройстве узловых соединений конструкций из клееной древесины, показывает, что данная тема остается актуальной. Отсутствие достаточной нормативной базы для конструирования и расчета подобных узлов приводит к необходимости дальнейших исследований и проведения экспериментов.

Общий вид предлагаемого узла с применением клеенных шайб, работа которого будет смоделирована в ходе эксперимента, представлен на рис. 1, подробное расположение конструктивных элементов показано на рис. 2.

*Объект исследования:* деревянные узловые соединения с клееными металлическими шайбами, работающими вдоль волокон древесины.

*Предмет исследования:* несущая способность и деформативность соединений с применением клеенных металлических шайб, работающих вдоль волокон древесины.

*Цель исследования:* определение несущей способности металлических шайб в составе узла, численный расчет увеличения несущей способности узла при введении в работу клеевой композиции.

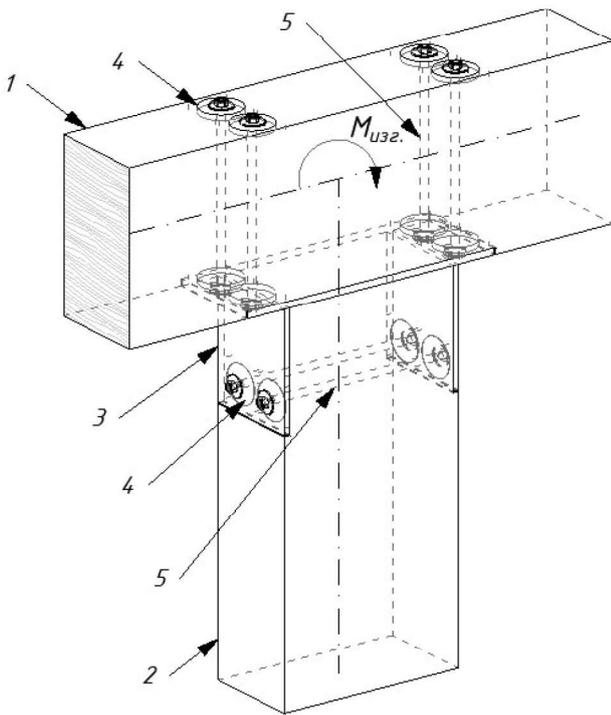


Рис. 1. Общий вид жесткого узла с применением клеенных шайб: 1 — несущая балка конькового прогона; 2 — стойка; 3 — металлическая деталь сопряжения; 4 — клеиваемые шайбы; 5 — конструктивные стяжные шпильки

### Методы

Конструкция узла на клеенных шайбах предполагает использование клеенных деревянных элементов необходимого сечения. Однако допустимо принять расчетные характеристики для клееной и цельной древесины одинаковыми ввиду локального приложения нагрузок и возникновения местных концентраций напряжений.

Для проведения эксперимента был выбран наиболее распространенный материал для несущих деревянных конструкций — древесина сосны в сухом строганом исполнении. Для гарантии постоянства геометрических характеристик в ходе испытания доска должна иметь влажность, не превышающую  $(12 \pm 1) \%$ .

Опытные образцы были выполнены из трех досок поперечного сечения  $45 \times 195$  мм, длиной 300 мм. Шайбы клеивались с двух сторон каждой доски.

Вклеиваемые шайбы были вырезаны из полосовой стали марки С245 с помощью ла-

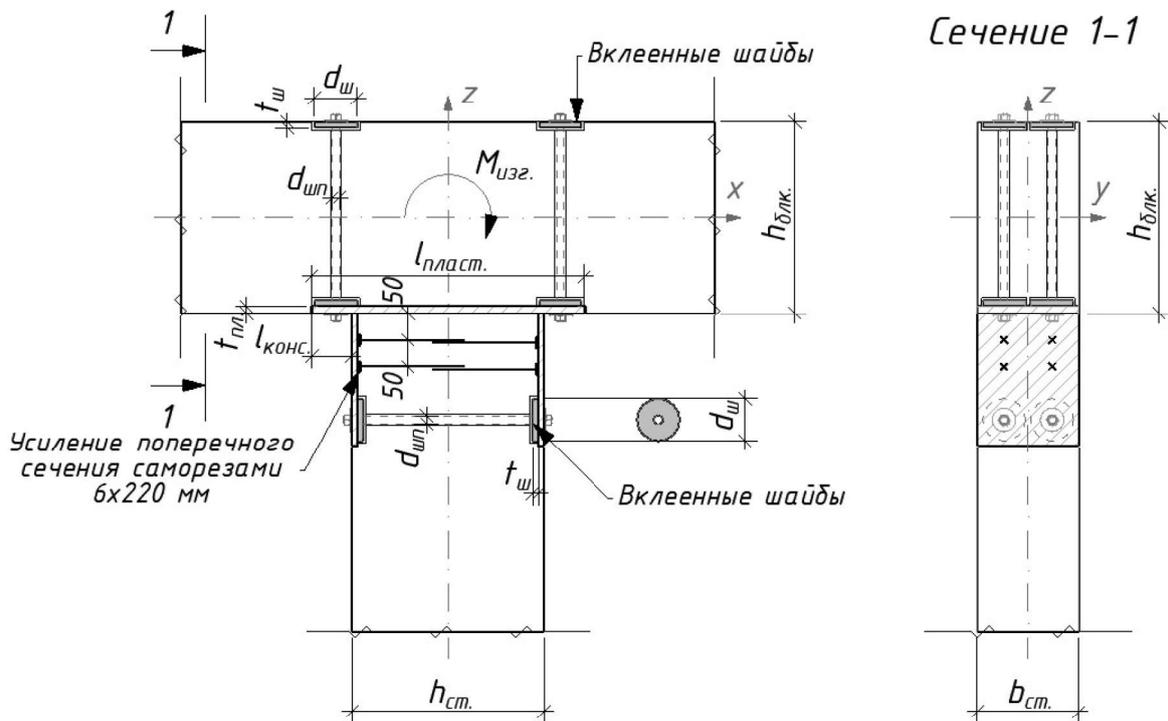


Рис. 2. Конструктивные элементы жесткого узлового соединения

зерной резки (марка стали выбиралась как наиболее распространенная, с возможностью унификации применяемых материалов для всей несущей конструкции при изготовлении в заводских условиях). Были изготовлены комплекты металлических шайб следующих размеров:  $D_{ш} = 60, 70$  и  $80$  мм из стали толщиной  $t_{ш} = 10$  мм, дополнительный комплект шайб  $D_{ш} = 6$  мм из стали толщиной  $t_{ш} = 6$  мм. Выбранные размеры шайб обусловлены конструктивным ограничением реальных клееных конструкций по ширине используемой доски. Общий вид изготовленных шайб показан на рис. 3.

С целью реализации предлагаемого узлового решения на практике необходимо выбрать эпоксидный клей с учетом его распространенности. Для создания монолитного соединения клеиваемой шайбы с древесиной в данном эксперименте применялся клеевой состав на основе эпоксидной смолы «Этал 2450» с отвердителем «Этал 1447». Данные смолы широко распространены, отличаются низкой ценой, хорошей адгезией между древесиной и металлом.

Изготовление испытуемых образцов проводилось в несколько этапов:

1. Для соосности шайб размечалось их предполагаемое положение и в центре сверлилось направляющее сквозное отверстие.



Рис. 3. Внешний вид клеиваемых стальных шайб

2. Отверстия под клеенные шайбы зенковались круглой фрезой с запасом 2–3 мм от габарита шайбы. Образовавшиеся пустоты в дальнейшем будут заполняться клеевым составом.

3. Сверлилось отверстие под стяжной болт. Для более точного анализа работы клеиваемых шайб необходимо исключить болт из работы за счет увеличения диаметра отверстия на 2 мм относительно диаметра болта.

4. Просверленное гнездо очищалось от пыли и подготавливалось к вклеиванию шайбы, удалялись заусенцы древесины.

5. В гнездо заливался небольшой объем клеевой композиции с последующим вводом в него стальной шайбы. Вытесненный объем клея убирался шпателем и больше не использовался.

6. Образцы выдерживались в течение трех суток, затем пункты 4–5 повторялись с противоположной стороны каждого элемента, вторая шайба клеивалась точно напротив первой.

На рис. 4 показаны подготовленные к вклеиванию шайб образцы.

По завершении всех этапов изготовления образцы выдерживались не менее 14 суток в цеху для полного отвердевания клея при нормальном температурно-влажностном режиме 18–20 °С и влажности воздуха  $W = 40–50$  %.

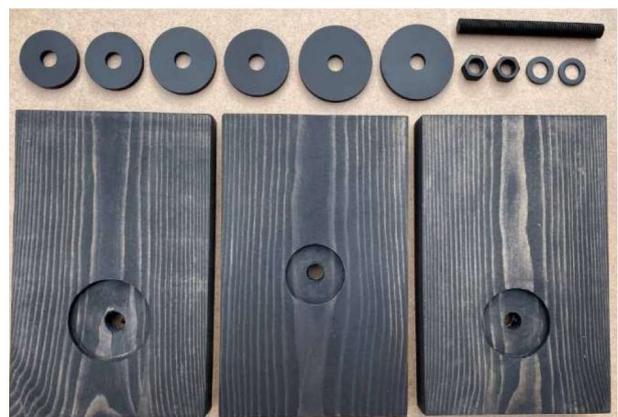


Рис. 4. Подготовленные к вклеиванию образцы

Затем образцы осматривались на наличие внешних дефектов и при их отсутствии маркировались и отправлялись на сборку. Вид собранного опытного образца представлен на рис. 5.

Собранный образец испытывался на нагрузку, приложенную к верхней части выступающей доски, имитируя работу вклеенных шайб на действие растягивающих усилий в реальном узле. Испытания проводились в лаборатории при помощи гидравлического пресса модели ПГМ-1000МГ4.

Основные характеристики испытываемых образцов приведены в табл. 1.

Испытания образцов проводились при нормальном температурно-влажностном режиме 18–20 °С и влажности воздуха  $W = 40–50 \%$ . Приложение нагрузки производилось установкой ступенчато, в автоматическом режиме. Значения разрушающей нагрузки фиксировались испытательной установкой автоматически, общий вид установки во время испытания показан на рис. 6.

Нагружение образцов происходило непрерывно с интервалом между ступенями 2 мин, каждая ступень равнялась 5 кН. Перед началом испытаний была произведена фиксация начального положения прогибо-

мера Аистова с ценой деления 0,01 мм, при этом ступенчатое приложение нагрузки позволяло постепенно отслеживать и фиксировать деформации, возникающие в экспериментальном образце.

Начало роста деформаций под шайбами без значительного увеличения нагрузки характеризует разрушающую нагрузку, его можно оценить как начало плавного смятия



Рис. 5. Внешний вид собранного испытываемого образца

Таблица 1

**Характеристики подготовленных образцов**

Вклеиваемая шайба	Параметры		Решаемые задачи
	Диаметр, мм	Толщина, мм	
ВШ-60-10	60	10	Оценка влияния диаметра шайб на увеличение предельно допустимой нагрузки
ВШ-70-10	70		
ВШ-80-10	80		
ВШ-80-6		6	Оценка влияния толщины шайбы в работе элемента
ВШ-80-6 (к)	80		Оценка работы клея на примере соединения



Рис. 6. Процесс испытания образцов

древесины под шайбами, то есть достижение предела прочности по скалыванию шайбы в плоскости клеевого шва. Хрупкого разрушения образцов не наблюдалось, предположительно из-за включения в работу стяжного болта вследствие большой величины смятия древесины под шайбами.

Выявленные деформации носили сперва пластический характер, но затем в работу включалось все соединение. Деформации возрастали плавно, без резких скачков.

В результате получен график роста деформаций в узле для нагрузки, приложенной на центральный элемент образца. Время разрушения испытуемых образцов фиксировалось в момент, когда при резком падении приложенного усилия начинался непрерывный рост деформаций с постоянной величиной нагрузки, данный метод описан в рекомендациях<sup>1</sup>.

### Результаты и обсуждение

В ходе эксперимента заполнялся журнал фиксации стадий появления в узле деформаций и соответствующих этим деформациям интервальных нагрузок. Результаты сведены в табл. 2. Значения результирующей нагрузки указаны для пары шайб, работающих в соединении совместно. Разделив значения результирующей нагрузки пополам, можно определить несущую способность одной шайбы.

<sup>1</sup> Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1981. 42 с.

Таблица 2

#### Результаты проведения испытаний

№ п/п	Вклеиваемая шайба	Разрушающая нагрузка, $T_{\max}^{\text{опыт}}$ , кН
1	ВШ-60-10	56,4
2	ВШ-70-10	60,1
3	ВШ-80-10	71,4
4	ВШ-80-6	47,1
5	ВШ-80-10 (к)	55,3

Как видно по полученным результатам, несущая способность соединения увеличивалась прямо пропорционально увеличению габаритов вклеиваемых шайб. График зависимости несущей способности испытываемых образцов приведен на рис. 7.

Видно, что несущая способность соединения с шайбами диаметром 80 мм и толщиной 10 мм составляет чуть больше 70 кН. Максимальная разрушающая нагрузка  $T_{\max}^{\text{опыт}}$  уменьшалась с уменьшением размеров вклеенных шайб: для шайб ВШ-80-6  $T_{\max}^{\text{опыт}}$  составляла 47,1 кН, ВШ-60-10 — 56,4 кН, ВШ-70-10 — 60,1 кН, а для шайб без введения клеевой композиции ВШ-80-10 (к) — 55,3 кН. Разница между разрушающей нагрузкой на образцы с одинаковыми по габаритам шайбами, но с использованием и без использования клея (ВШ-80-10 и ВШ-80-10 (к)) составила порядка 16 кН, что свидетельствует о существенном вкладе клеевой композиции в итоговую прочность всего соединения (без учета появившейся податливости).

В испытаниях всех клеевых соединений деформации сдвига в начальный момент времени практически отсутствовали, следовательно, можно говорить о монолитности контакта стальных шайб с древесиной через клеевое соединение. Также зафиксирована прямо пропорциональная зависимость между габаритами вклеиваемых шайб и несущей способностью всего соединения, что логично, так как увеличение габаритов шайб увеличивает площадь их контакта с древесиной по кромке, а также по плоскости клеевого шва. Характер разрушения соединения — упругопластический.

Для оценки составляющей нагрузки, приходящейся на клеевой шов, особое внимание было уделено испытываемому образцу с шайбами ВШ-80-6 (к), которые в работе соединения представляли чисто механическую связь, включая древесину в работу через промежуток времени действия нагрузки, соответствующий накоплению неупругих

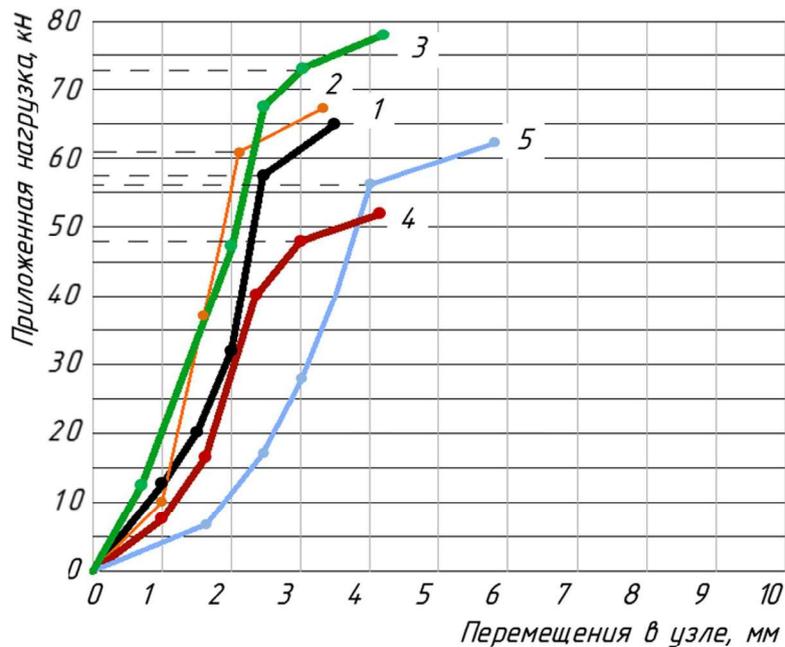


Рис. 7. Графики зависимости несущей способности образцов: 1 — ВШ-60-10; 2 — ВШ-70-10; 3 — ВШ-80-10; 4 — ВШ-80-6; 5 — ВШ-80-10 (к)

рыхлых деформаций древесины. Помимо снижения податливости, испытания данного образца показали, что введение клеевой композиции увеличивает несущую способность шайб на 30 %.

Для более детального определения предельно допустимой нагрузки на узловое соединение с клееными шайбами необходимо провести ряд других экспериментов с крупными выборками образцов с различными параметрами диаметра и толщины.

#### Выводы

В данной работе было проведено экспериментальное исследование образцов, имитирующих работу клеенных шайб на восприятие направленных вдоль волокон усилий. Программой эксперимента было предусмотрено изготовление пяти испытуемых образцов, для которых нарезались комплекты разного размера шайб, два из которых — идентичные по габаритам, для анализа вклада клея в работу соединения. По результатам эксперимента можно сделать несколько обобщающих выводов.

1. Подтверждена теория совместной работы дерева и клеевой композиции. Клей не только уменьшает податливость, но и увеличивает общую прочность соединения. Учитывая механический характер испытаний (применение специального оборудования, обеспечивающего постоянную скорость нагружения/деформирования образцов при проведении испытаний) и время нахождения образцов под нагрузкой, рекомендуется для теоретического расчета подобных узлов вводить коэффициенты в зависимости от реальной комбинации загрузки.

2. Отсутствие деформаций в начале приложения нагрузки подтверждает теорию уменьшения податливости за счет введения клеевой композиции.

3. В процессе составления программы эксперимента предполагалось, что меньшая несущая способность будет на скальвание, поэтому ожидалось именно мгновенное хрупкое разрушение образцов. Однако в процессе проведения натуральных испытаний выяснилось, что по достижении предела проч-

ности наблюдался рост деформаций смятия вдоль волокон, а не хрупкое разрушение, что говорит о нелинейном распределении нагрузок вдоль шайб.

4. Воспринятые вклеенными шайбами усилия позволяют сделать вывод о возможности и перспективности их применения в реальной практике для широкого круга деревянных конструкций.

5. Введение в работу клеевой композиции повышает несущую способность шайбы на 30 %, разница в несущей способности шайб, идентичных по габаритам и отличающихся только наличием клея в соединении, составила 16 кН.

#### Библиографический список

1. Wang Z., Yang W., Gao Z., Shao J., Li D. Experimental and Numerical Simulation Study on the Mechanical Properties of Integrated Sleeve Mortise and Tenon Steel-Wood Composite Joints // *Buildings*. 2025. Vol. 15 (1). 137. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings15010137>.
2. Лоскутова Д. В. Экспериментальные исследования узловых соединений деревянных элементов на металлических зубчатых пластинах при изгибе // *Вестник ТГАСУ*. 2008. № 4 (21). С. 74–80. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-uzlovyh-soedineniy-derevyannyh-elementov-na-metallicheskih-zubchatyh-plastinakh-pri-izgibe> (дата обращения: 02.03.2025).
3. Пересыткина В. А., Жаданов В. И. Стальные вклеенные пластины в узловых соединениях деревянных конструкций // *Шаг в науку*. 2021. № 1. С. 94–97. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stalnye-vkleennye-plastiny-v-uzlovyh-soedineniyah-derevyannyh-konstruktsiy> (дата обращения: 02.03.2025).
4. Турковский С. Б., Погорельцев А. А., Преображенская И. П. Клееные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). М.: Стройматериалы, 2013. 300 с.
5. Слицкоухов Ю. В., Буданов В. Д., Ганноев М. М. и др. Конструкции из дерева и пластмасс / под ред. Г. Г. Карлсена, Ю. В. Слицкоухова; 5-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1986. 542 с.
6. Azzi Z., Al Sayegh H., Metwally O., Eissa M. Review of Nondestructive Testing (NDT) Techniques for Timber Structures // *Infrastructures*. 2025. Vol. 10 (2). 28. URL: <https://doi.org/10.3390/infrastructures10020028>
7. Серов Е. Н., Миронова С. И. Усиление клееных деревянных конструкций // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 5 (70). С. 68–74.
8. Золотов М. С. Исследование напряженно-деформированного состояния анкерного соединения на эпоксидном клее: дис. ... канд. техн. наук. Харьков, 1971. 164 с.
9. Зубарев Г. Н., Бойтемиров Ф. А., Головина В. М. Испытание деревянной арки с соединениями на вклеенных стержнях // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1983. № 12. С. 15–21.
10. Иванов Ю. М. Длительная несущая способность деревянных конструкций // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1972. № 11. С. 6–12.
11. Иванов Ю. М., Линьков И. М., Сороткин В. М. Исследование влияния армирования на прочность и жесткость деревянных изгибаемых элементов // *Разработка и исследование клееных деревянных и фанерных армированных конструкций*: тр. ЦНИИ строительных конструкций. 1972. № 24. С. 13–30.
12. Ковальчук Л. М. Склеивание древесных материалов с пластмассами и металлами. М.: Лесная промышленность, 1968. 239 с.
13. Калугин А. В. Клееные деревянные конструкции в современном строительстве // *Промышленное и гражданское строительство*. 2011. № 7–2. С. 32–37. EDN NXOUFJ.
14. Турковский С. Б., Погорельцев А. А., Стоянов В. О. Испытание опорных узлов деревянных колонн на наклонно вклеенных в торец стержнях // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2021. № 1 (28). С. 102–109.
15. Школяр Ф. С., Никитин А. Г., Зацепина А. И. Экспериментальное исследование вклеенного вдоль волокон древесины стержня // *Вестник МГСУ*. 2023. Т. 18, № 12. С. 1915–1925. DOI 10.22227/1997-0935.2023.12.1915-1925.
16. Shchelokova T. A research of stress/strain condition of reinforced timber structures with natural weakenings // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 193. 03051. 7 p. DOI 10.1051/mateconf/201819303051.
17. Jockwer R., Caprio D., Jorissen A. Evaluation of parameters influencing the load-deformation behaviour of connections with laterally loaded dowel-type fasteners // *Wood Material Science & Engineering*. 2021. Vol. 17 (1). Pp. 6–19. DOI 10.1080/17480272.2021.1955297.
18. Mirski R., Kuliński M., Dziurka D., Thomas M., Antonowicz R. Strength properties of structural glulam elements from pine (*Pinus sylvestris* L.) timber reinforced in the tensile zone with steel and basalt rods // *Materials*. 2021. Vol. 14 (10). 2574. DOI 10.3390/ma14102574.
19. Steilner M., Blafß H. J. A method to determine the plastic bending angle of dowel-type fasteners // Aicher S.,

Reinhardt H. W., Garrecht H. (eds.). *Materials and Joints in Timber Structures*. Dordrecht: Springer, 2014. Pp. 301–306. DOI 10.1007/978-94-007-7811-5\_28.

20. Schweigler M., Bader T. K., Hochreiner G., Lemaître R. Parameterization equations for the nonlinear connection slip applied to the anisotropic embedment behavior of wood // *Composites Part B: Engineering*. 2018. Vol. 142. Pp. 142–158. DOI 10.1016/j.compositesb.2018.01.003.

## References

1. Wang Z., Yang W., Gao Z., Shao J., Li D. Experimental and Numerical Simulation Study on the Mechanical Properties of Integrated Sleeve Mortise and Tenon Steel-Wood Composite Joints. *Buildings*, 2025, vol. 15 (1), 137. Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings15010137>

2. Loskutova D. V. *Экспериментальные исследования узловых соединений деревянных элементов на металлических зубчатых пластинках при изгибе* [Experimental studies of nodal joints of wooden elements on metal gear plates during bending]. *Vestnik TGASU – Bulletin of TGASU*, 2008, no. 4 (21), pp. 74–80. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-uzlovyh-soedineniy-derevyannyh-elementov-na-metallicheskih-zubchatyh-plastinakh-pri-izgibe> (accessed: 02.03.2025).

3. Peresyapkina V. A., Zhadanov V. I. *Стальные клееные пластины в узловых соединениях деревянных конструкций* [Steel glued-in plates in nodal joints of wooden structures]. *Шаг в науку – Step into science*, 2021, no. 1, pp. 94–97. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/stalnye-vkleennye-plastiny-v-uzlovyh-soedineniyah-derevyannyh-konstruktsiy> (accessed: 02.03.2025).

4. Turkovskiy S. B., Pogorel'tsev A. A., Preobrazhenskaya I. P. *Клееные деревянные конструкции с узлами на клеенных стержнях в современном строительстве (система TsNIISK)* [Glued wooden structures with nodes on glued rods in modern construction (TsNIISK system)]. Moscow, Stroymaterialy Publ, 2013, 300 p.

5. Slitskoukhov Yu. V., Budanov V. D., Gappoev M. M., et al. *Конструкции из дерева и пластмасс* [Wood and plastic structures]. Ed. by Karlsen G. G., Slitskoukhov Yu. V. The 5-th ed., revised. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986, 542 p.

6. Azzi Z., Al Sayegh H., Metwally O., Eissa M. Review of Non-destructive Testing (NDT) Techniques for Timber Structures. *Infrastructures*, 2025, vol. 10 (2), 28. Available at: <https://doi.org/10.3390/infrastructures10020028>

7. Serov E. N., Mironova S. I. *Усиление клеенных деревянных конструкций* [Reinforcement of glued wooden structures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 5 (70), pp. 68–74.

8. Zolotov M. S. *Исследование напряженно-деформированного состояния анкernого соединения на эпоксидном клее*. Dis. kand. tekhn. nauk [Study of stress-strain state of anchor joint on epoxy glue. PhD in Sci. Tech. diss.]. Khar'kov, 1971, 164 p.

9. Zubarev G. N., Boytemirov F. A., Golovina V. M. *Испытание деревянной арки с соединениями на клеенных стержнях* [Testing of a wooden arch with joints on glued rods]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura – Bulletin of universities. Construction and Architecture*, 1983, no. 12, pp. 15–21.

10. Ivanov Yu. M. *Длительная несущая способность деревянных конструкций* [Long-term bearing capacity of wooden structures]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura – Bulletin of universities. Construction and Architecture*, 1972, no. 11, pp. 6–12.

11. Ivanov Yu. M., Lin'kov I. M., Sorotkin V. M. *Исследование влияния армирования на прочность и жесткость деревянных изгибаемых элементов* [Study of the effect of reinforcement on the strength and rigidity of wooden bent elements]. *Razrabotka i issledovanie kleennykh derevyannykh i fanernykh armirovannykh konstruktsiy. Trudy TsNII stroitel'nykh konstruktsiy* [Development and research of glued wooden and plywood reinforced structures. Proceedings of the Central Research Institute of Building Structures]. 1972, no. 24, pp. 13–30.

12. Koval'chuk L. M. *Склеивание древесных материалов с пластмассами и металлами* [Gluing wood materials with plastics and metals]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1968, 239 p.

13. Kalugin A. V. *Клееные деревянные конструкции в современном строительстве* [Glued wooden structures in modern construction]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Engineering*, 2011, no. 7–2, pp. 32–37.

14. Turkovskiy S. B., Pogorel'tsev A. A., Stoyanov V. O. *Испытание опорных узлов деревянных колонн на наклонно клеенных в торец стержнях* [Testing the support nodes of wooden columns on rods glued obliquely to the end]. *Vestnik NITs «Stroitel'stvo» – Bulletin of the Research Center “Construction”*, 2021, no. 1 (28), pp. 102–109.

15. Shkolyar F. S., Nikitin A. G., Zatsepina A. I. *Экспериментальное исследование клеенного вдоль волокон древесины стержня* [Experimental study of the rod glued along the wood fibers]. *Vestnik MGSU – MGSU Bulletin*, 2023, vol. 18, no. 12, pp. 1915–1925. DOI 10.22227/1997-0935.2023.12.1915-1925.

16. Shchelokova T. A research of stress/strain condition of reinforced timber structures with natural weakening. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 193, 03051, 7 p. DOI 10.1051/mateconf/201819303051.

17. Jockwer R., Caprio D., Jorissen A. Evaluation of parameters influencing the load-deformation behaviour

of connections with laterally loaded dowel-type fasteners. *Wood Material Science & Engineering*, 2021, vol. 17 (1), pp. 6–19. DOI 10.1080/17480272.2021.1955297.

18. Mirski R., Kulicki M., Dziurka D., Thomas M., Antonowicz R. Strength properties of structural glulam elements from pine (*Pinus sylvestris* L.) Timber reinforced in the tensile zone with steel and basalt rods. *Materials*, 2021, vol. 14 (10), 2574. DOI 10.3390/ma14102574.

19. Steilner M., Blaj H. J. A method to determine the plastic bending angle of dowel-type fasteners. Aicher S.,

Reinhardt H. W., Garrecht H. (eds.). *Materials and Joints in Timber Structures*. Dordrecht: Springer, 2014, pp. 301–306. DOI 10.1007/978-94-007-7811-5\_28.

20. Schweigler M., Bader T. K., Hochreiner G., Lemaotre R. Parameterization equations for the nonlinear connection slip applied to the anisotropic embedment behavior of wood. *Composites Part B: Engineering*, 2018, vol. 142, pp. 142–158. DOI 10.1016/j.compositesb.2018.01.003.