

Научная статья

УДК 674.028.9+674.049.2

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-1-174-189

## Точность формирования прямоугольных шипов способом торцевого прессования без базирующей оснастки

**Я.Д. Ведерников**<sup>1</sup>, аспирант; ResearcherID: [NYT-2403-2025](https://orcid.org/0009-0002-6839-5152),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6839-5152>

**О.А. Рублева**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, доц.; ResearcherID: [Q-7239-2017](https://orcid.org/0000-0003-0756-6130),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0756-6130>

**Е.С. Васильева**<sup>1</sup>, аспирант; ResearcherID: [NZN-4596-2025](https://orcid.org/0009-0004-7664-0538),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7664-0538>

**Е.Е. Шишкина**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [O-6021-2018](https://orcid.org/0000-0002-2584-4897),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2584-4897>

**А.Г. Гороховский**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [O-6030-2018](https://orcid.org/0000-0001-8847-8217),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8847-8217>

<sup>1</sup>Вятский государственный университет, ул. Московская, д. 36, г. Киров, Россия, 610000; [vedernikov@vyatsu.ru](mailto:vedernikov@vyatsu.ru), [rubleva@vyatsu.ru](mailto:rubleva@vyatsu.ru), [es\\_vasilieva@vyatsu.ru](mailto:es_vasilieva@vyatsu.ru)

<sup>2</sup>Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; [elenashishkina@yandex.ru](mailto:elenashishkina@yandex.ru), [goralegr@yandex.ru](mailto:goralegr@yandex.ru)

---

Поступила в редакцию 19.08.25 / Одобрена после рецензирования 29.10.25 / Принята к печати 31.10.25

---

**Аннотация.** Представлен анализ экспериментальных данных по определению точности изготовления элементов шиповых соединений в заготовках из сосны, полученных способом торцевого прессования без применения базирующе-обжимной оснастки. В качестве формообразующего инструмента использовался специализированный пуансон из стали 45 с геометрическими параметрами: толщина шипов – 2,2 мм, ширина проушин – 2,0 мм, высота – 10 мм. Прессование выполнялось на гидравлическом прессе с усилием от 800 до 1100 кгс и скоростью от 1,5 до 2 мм/с. Цель исследования – экспериментальная оценка точности формирования прямоугольных шипов, полученных холодным торцевым прессованием, для определения ее соответствия требованиям, предъявляемым к заготовкам для последующего сращивания по длине. Измерены толщины шипов и ширины проушин на 18 заготовках. Шипы и проушины условно подразделили на 2 группы: находящиеся в крайних зонах ближе к боковым кромкам заготовки и находящиеся в центральной зоне. Для оценки влияния расположения элементов относительно кромок на отклонение их размеров проведен 1-факторный дисперсионный анализ (ANOVA) в MS Excel. Определено, что точность ширины проушин и толщины шипов соответствует 11–12 квалитетам, однако крайние правые элементы имеют отклонения до 14 квалитетов. Положение проушин относительно кромки заготовки статистически значимо воздействует на точность, тогда как для шипов данная гипотеза не подтвердилась. Спрогнозирована точность формирования шипов торцевым прессованием: 95 % элементов шипового соединения будут соответствовать полям допусков JS13 для проушин и js13 для шипов. Для повышения точности изготовления элементов шипового соединения необходимо внедрение обжимной оснастки для компенсации перекосов и отжима крайних шипов, а также коррекция базирования заготовок направляющими элементами оснастки.

---

© Ведерников Я.Д., Рублева О.А., Васильева Е.С., Шишкина Е.Е., Гороховский А.Г., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

**Ключевые слова:** древесина сосны, шиповое соединение, холодное торцовое прессование, точность обработки, дисперсионный анализ, качества точности, штамповая оснастка

**Для цитирования:** Ведерников Я.Д., Рублева О.А., Васильева Е.С., Шишкина Е.Е., Гороховский А.Г. Точность формирования прямоугольных шипов способом торцового прессования без базирующей оснастки // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 1. С. 174–189. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-1-174-189>

Original article

## The Accuracy of Forming Rectangular Tenons by End-Pressing without Guiding Tooling

**Yaroslav D. Vedernikov**<sup>1</sup>✉, Postgraduate Student; ResearcherID: [NYT-2403-2025](https://orcid.org/0009-0002-6839-5152),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6839-5152>

**Olga A. Rubleva**<sup>1</sup>, Doctor of Engineering, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [Q-7239-2017](https://orcid.org/0000-0003-0756-6130), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0756-6130>

**Elizaveta S. Vasilyeva**<sup>1</sup>, Postgraduate Student; ResearcherID: [NZN-4596-2025](https://orcid.org/0009-0004-7664-0538),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7664-0538>

**Elena E. Shishkina**<sup>2</sup>, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [O-6021-2018](https://orcid.org/0000-0002-2584-4897),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2584-4897>

**Alexandr G. Gorokhovskiy**<sup>2</sup>, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [O-6030-2018](https://orcid.org/0000-0001-8847-8217),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8847-8217>

<sup>1</sup>Vyatka State University, Moskovskaya st, 36, Kirov, 610000, Russian Federation; [vedernikov@vyatsu.ru](mailto:vedernikov@vyatsu.ru)✉, [rubleva@vyatsu.ru](mailto:rubleva@vyatsu.ru), [es\\_vasilieva@vyatsu.ru](mailto:es_vasilieva@vyatsu.ru)

<sup>2</sup>Ural State Forest Engineering University, ul. Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; [elenashishkina@yandex.ru](mailto:elenashishkina@yandex.ru), [goralegr@yandex.ru](mailto:goralegr@yandex.ru)

---

Received on August 19, 2025 / Approved after reviewing on October 29, 2025 / Accepted on October 31, 2025

---

**Abstract.** The article presents an analysis of experimental data on the manufacturing accuracy of tenon joint elements in pine workpieces produced by end pressing without using locating-clamping tooling. A specialized punch made of 45 steel was used as a forming tool, its geometric parameters are following: tenon thickness – 2.2 mm, mortise width – 2.0 mm, and height – 10 mm. Pressing was performed on a hydraulic press with a force ranging from 800 to 1100 kgf and a speed of 1.5 to 2 mm/s. The study aimed to experimentally evaluate the forming accuracy of rectangular tenons produced by cold end pressing to determine their compliance with requirements for workpieces intended for subsequent lengthwise splicing. Tenon thicknesses and mortise widths were measured on 18 workpieces. The tenons and mortises were conditionally divided into 2 groups: those located in edge zones closer to the workpiece side edges and those in the central zone. A one-way ANOVA in MS Excel was conducted to assess the influence of element position relative to edges on dimensional deviations. Results showed that mortise width and tenon thickness accuracy corresponded to IT11–12 grades, though edge elements on the right side exhibited deviations up to IT14. The position of mortises relative to workpiece edges had statistically significant effects on accuracy, while this hypothesis was not confirmed for tenons. The achievable accuracy for end-pressed tenon forming was predicted: 95 % of joint elements would comply with JS13 tolerance fields for mortises

and js13 – for tenons. To improve forming accuracy, implementing clamping tooling to compensate for skewing and edge tenon springback is recommended, along with workpiece positioning correction using guide elements in the tooling.

**Keywords:** pine wood, tenon joint, cold end pressing, machining accuracy, ANOVA (analysis of variance), IT accuracy grades, stamping tooling

**For citation:** Vedernikov Ya.D., Rubleva O.A., Vasilyeva E.S., Shishkina E.E., Gorokhovskiy A.G. The Accuracy of Forming Rectangular Tenons by End-Pressing without Guiding Tooling. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 1, pp. 174–189. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-1-174-189>

### Введение

Клееная продукция из короткомерных отходов лесопиления является распространенной заменой массивной древесины в производстве столярных изделий и различных деревянных конструкций. Наиболее часто встречающимися клеевыми соединениями являются соединения заготовок по длине при помощи зубчатых торцовых шипов, полученных фрезерованием [1, 2, 5, 6, 8, 32].

Фрезерованные зубчатые шипы обладают рядом положительных характеристик, таких как экономия материала при фрезеровании и скорость формирования шипов. Однако при этом есть и отрицательные аспекты: высокие сложность и стоимость оборудования и инструмента, необходимость в удалении стружки, несовершенная геометрия шипа, влияющая на прочность соединения (наличие перерезанных волокон на боковых поверхностях и скруглений в вершинах и основаниях шипов) [16, 19, 27, 29, 36, 38–40].

Авторами [10, 14, 15] предложен способ формирования шипов на торцах деревянных заготовок принципиально новым способом – прессованием. Суть способа заключается в формировании шипов прямоугольной формы путем введения в торец заготовки стального пуансона. Профиль пуансона зеркально отражает форму создаваемых элементов – шипов и проушин заготовки.

Эффективное промышленное применение данного метода требует проведения исследований на соответствие получаемых соединений стандартам качества. Качественные характеристики соединений и параметры оценки изделий определяются нормативной базой, включающей в себя межгосударственные и отраслевые стандарты: ГОСТ 15613.4–78, ГОСТ 15613.5–79, ГОСТ 4.223–83, ГОСТ 475–2016, ГОСТ 16483.23–73, ГОСТ 16483.3–84, ГОСТ 16588–91, ГОСТ 19414–90, СП 64.13330.2017, а также технические условия серии СТО 36554501. Основными контролируемыми параметрами являются: геометрическая точность формируемых элементов, прочность изготовленных деталей и клевого соединения, допустимые зазоры и натяги, а также характеристики клевого шва, при этом прочность клевого соединения является важнейшим показателем [5, 16, 20, 21, 24, 29, 33, 35, 38].

Существенное влияние на надежность шипового клевого соединения оказывают размеры и точность геометрических параметров элементов, обеспечивающие требуемую величину и равномерность зазоров между ответными элементами соединяемых деталей и, как следствие, равномерность распределения клея и нужную толщину клевого шва [9, 16, 25, 26, 28, 31, 37].

Требования к геометрическим параметрам элементов, участвующих в шиповом соединении, рассматриваются в работах [12, 13, 16, 22–24, 27, 30, 33]. К таким параметрам авторы [7, 16, 26, 31, 34] относят: размеры шипов, посадки, длину клеевого шва, расположение шва относительно направления волокон древесины.

При формировании элементов шипового соединения методом торцового прессования существует риск снижения точности профилей изготавливаемых шипов при отсутствии должного базирования и обжима заготовок [3, 4, 11, 13, 14]. В указанных источниках установлено, что требования к технологической оснастке для способа формирования шипов прессованием недостаточно проработаны. Вместе с тем перечислены направления исследований по поиску вариантов конструкций такой оснастки и обеспечения ее точности. Для выполнения данных исследований необходимо прогнозировать получаемую точность шиповых элементов.

Определение критериев точности формирования шипов ранее проводилось в ходе исследований [7, 17]. Изучали 2 типоразмера шипов: толщина шипов – 2 мм, ширина проушин – 2,2 мм, глубина проушин (высота шипов) – 10 мм и толщина шипов – 4 мм, ширина проушин – 4,2 мм, глубина – 20 мм. Выявлено влияние посадки и точности изготовления заготовки на прочность как результирующий показатель качества. По итогам научных изысканий [7, 16, 17] были предложены теоретические параметры посадок для малых толщин шипов до 3 мм.

Актуальность работы обусловлена необходимостью продолжения исследований в области оценки точности геометрических параметров шипов и ее соответствия данным, полученным при исследованиях оптимальных расчетных зазора и натяга [7, 16, 17].

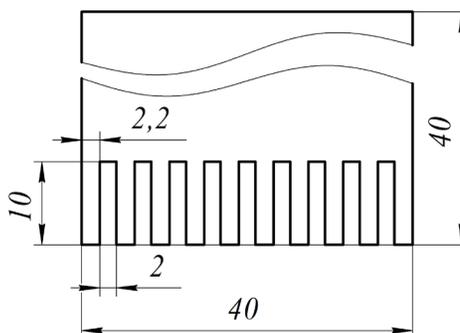
#### *Объекты и методы исследования*

В качестве заготовок использовались бруски из сосны обыкновенной с толщиной, шириной и длиной 20, 40 и 160 мм соответственно. Средняя влажность заготовок, измеренная с помощью влагомера Bosch Universal Humid, составила 8–10 %. Ориентация волокон – вдоль длины заготовки. Общее количество заготовок – 18.

Формирование шипов на торцах заготовок осуществлялось при помощи пуансона из стали 45 твердостью 45 HRC. Параметры рабочей части пуансона: толщина шипов – 2,2 мм, ширина проушин – 2,0 мм, высота шипов – 10 мм (рис. 1).

Рис. 1. Геометрические параметры пуансона

Fig. 1. Punch geometry dimensions



Прессование шипов осуществлялось на гидравлическом прессе П6324, усилие прессования – от 800 до 1100 кгс, скорость прессования – от 1,5 до 2 мм/с. При этом относительная влажность воздуха составила  $65 \pm 15$  %, температура воздуха – 20 °С.

У пуансона и каждой заготовки была обозначена лицевая сторона, по ней слева направо проводилась нумерация шипов. Заготовка устанавливалась вертикально на стол пресса, базируясь на нижнем торце. На верхнем торце заготовки располагали пуансон таким образом, чтобы его боковые стороны были заподлицо с боковыми сторонами заготовки (рис. 2, а). Затем осуществлялось внедрение пуансона в заготовку (рис. 2, б). Затем осуществлялось внедрение пуансона в заготовку (рис. 2, в).

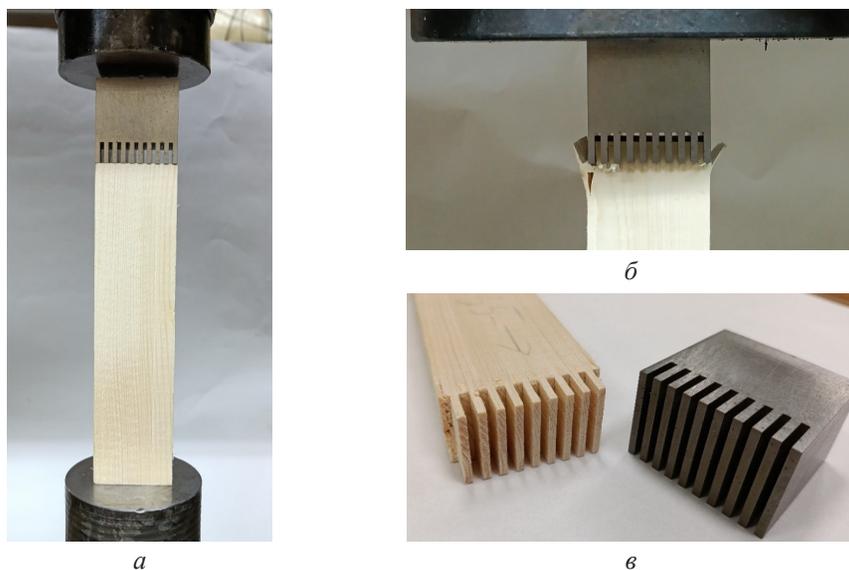


Рис. 2. Процесс и результат формирования шипов: а – заготовка и пуансон на столе пресса; б – внедрение пуансона в заготовку; в – внешний вид пуансона и прессованной заготовки

Fig. 2. The process and the result of the formation of tenons: а – initial setup with punch and workpiece; б – punch engagement phase; в – final punch and workpiece geometries

Сформированные в заготовках шипы и проушины условно подразделили на 2 группы (рис. 3): расположенные в крайних зонах (ближе к боковым краям заготовки) № 1–9 и расположенные в центральной зоне № 2–8.



Рис. 3. Нумерация и обозначение шипов и проушин на детали

Fig. 3. Numbering and marking of spikes and lugs on the part

Измерение толщины шипов и ширины проушин проводилось на инструментальном микроскопе ИМЦЛ 150×75 с погрешностью измерения  $\pm 0,003$  мм.

При определении прогнозируемых толщин шипов и ширин проушин полученные средние значения анализировали, соотнося их с допусками размеров, прописанными в ГОСТ 6449.1–82 и ГОСТ 25346–89.

Влияние расположения шипов и проушин относительно кромки детали на отклонения их ширины оценивалось в прикладном пакете MS Excel с использованием статистических методов, включающих 1-факторный дисперсионный анализ (ANOVA).

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Результаты измерения толщин шипов и ширин проушин приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

#### **Результаты измерения толщин шипов, мм Tenon thickness measurement results, mm**

Деталь	Шип 1	Шип 2	Шип 3	Шип 4	Шип 5	Шип 6	Шип 7	Шип 8	Шип 9
1	2,036	1,980	1,972	1,979	2,065	2,100	1,959	1,998	1,954
2	1,825	1,959	1,979	2,049	1,934	2,006	1,880	1,996	1,948
2	1,896	1,961	1,962	1,914	1,963	1,983	1,921	1,978	1,722
4	1,853	1,917	1,969	1,927	1,881	1,883	1,859	1,895	1,842
5	1,980	2,046	1,966	1,999	2,006	1,901	2,061	2,021	2,027
6	2,079	2,061	1,980	1,999	2,094	2,029	2,077	2,102	2,056
7	2,114	1,946	2,177	1,973	2,031	2,121	2,110	2,084	2,087
8	2,002	2,046	2,022	2,024	2,047	1,999	2,002	1,979	2,124
9	1,975	1,987	2,033	2,028	2,087	2,234	2,080	2,000	1,992
10	1,997	2,046	1,953	2,117	2,025	1,995	2,105	2,033	1,999
11	1,932	2,009	2,002	1,882	1,915	1,945	1,945	1,958	1,856
12	2,006	2,100	2,031	2,088	2,096	2,063	2,039	1,984	1,999
13	2,065	2,055	2,071	2,005	2,029	2,099	2,023	2,093	2,152
14	2,010	1,918	1,908	1,942	1,872	1,944	2,055	1,976	1,963
15	1,979	1,946	1,935	2,044	1,956	1,959	1,950	1,957	1,922
16	2,050	2,110	2,071	2,125	1,994	1,999	1,998	1,948	1,995
17	2,009	2,030	2,049	1,955	1,945	1,940	1,965	1,998	1,911
18	1,942	1,994	1,948	2,036	2,010	2,039	2,048	1,949	1,939

Таблица 2

#### **Результаты измерения ширин проушин, мм Mortise width measurement results, mm**

Деталь	Проушина 1	Проушина 2	Проушина 3	Проушина 4	Проушина 5	Проушина 6	Проушина 7	Проушина 8
1	2,217	2,189	2,229	2,150	2,168	2,204	2,280	2,589
2	2,324	2,310	2,132	2,171	2,217	2,198	2,267	2,242
2	2,241	2,291	2,279	2,303	2,264	2,308	2,321	2,725
4	2,301	2,237	2,214	2,340	2,380	2,357	2,351	2,507
5	2,212	2,199	2,223	2,183	2,266	2,169	2,239	2,221
6	2,194	2,162	2,225	2,127	2,187	2,117	2,108	2,190
7	2,279	2,157	2,030	2,228	2,094	2,135	2,019	2,139

Окончание табл. 2

Деталь	Проушина 1	Проушина 2	Проушина 3	Проушина 4	Проушина 5	Проушина 6	Проушина 7	Проушина 8
8	2,210	2,200	2,186	2,234	2,175	2,228	2,233	2,149
9	2,269	2,127	2,201	2,076	2,234	1,941	2,158	2,437
10	2,181	2,263	2,099	2,089	2,233	2,129	2,174	2,317
11	2,288	2,219	2,287	2,333	2,266	2,256	2,299	2,466
12	2,201	2,215	2,102	2,148	2,120	2,174	2,169	2,315
13	2,167	2,143	2,124	2,204	2,134	2,213	2,058	2,239
14	2,406	2,266	2,229	2,322	2,302	2,114	2,192	2,376
15	2,216	2,403	2,227	2,192	2,300	2,306	2,243	2,360
16	2,307	2,090	2,211	2,114	2,229	2,162	2,241	2,316
17	2,224	2,282	2,123	2,259	2,290	2,250	2,186	2,401
18	2,278	2,264	2,173	2,170	2,171	2,168	2,205	2,313

Влияние зоны расположения шипов и проушин на отклонения их размеров. Полученные в среде MS Excel диаграммы размаха приведены на рис. 4, 5.

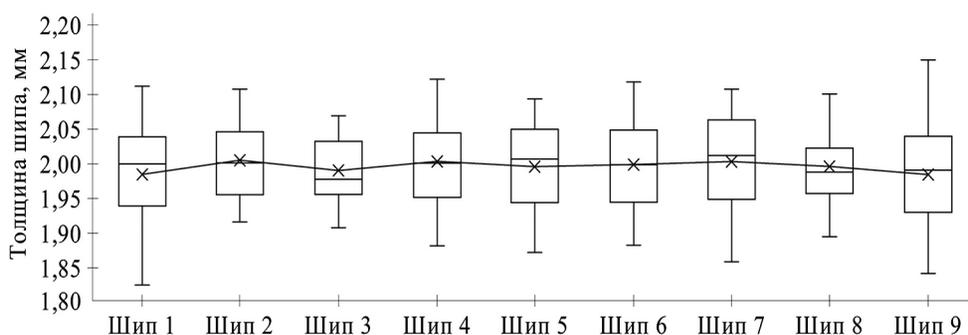


Рис. 4. Диаграмма размаха толщин шипов

Fig. 4. Box plot of tenon thickness distribution

По диаграмме размаха толщин шипов можно сделать следующие выводы: средние толщины шипов отклоняются от номинальной ширины 2 мм не более чем на 0,05 мм; 75 % всех толщин находятся в пределах от 1,92 до 2,07 мм; разброс размеров крайних шипов № 1 и 9 заметно больше, чем у центральных.

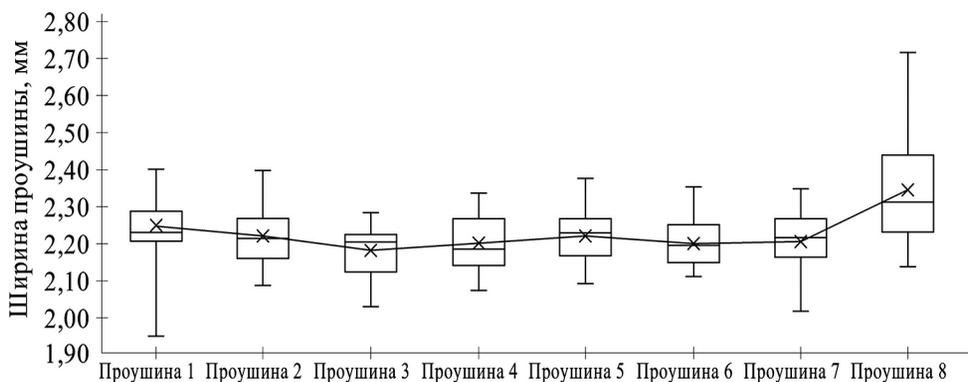


Рис. 5. Диаграмма размаха ширин проушин

Fig. 5. Box plot of mortise width distribution

По диаграмме размаха ширин проушин можно сказать, что средние ширины проушин отклоняются от номинальной ширины 2,2 мм не более чем на 0,15 мм; 75 % всех ширин находятся в пределах от 2,12 до 2,3 мм за исключением проушины № 8, у которой верхняя граница составляет 2,7 мм; разброс размеров проушин № 7 и 8 заметно больше, чем у остальных.

1-факторный дисперсионный анализ проводился с выдвижением нулевой гипотезы о том, что местоположение шипа или проушины относительно кромки заготовки не влияет на его точность. При этом, для исключения воздействия повторяемости крайних шипов из-за симметричности детали анализ был проведен отдельно для левой и правой половин детали относительно оси симметрии. Ниже представлены результаты 1-факторного дисперсионного анализа толщин шипов на левой и правой половинах детали (рис. 6).

Однофакторный дисперсионный анализ						
ИТОГИ						
Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Шип 1	18	35,75	1,986	0,0056776		
Шип 2	18	36,111	2,006	0,0034554		
Шип 3	17	33,851	1,991	0,0022814		
Шип 4	18	36,086	2,005	0,0045221		
Шип 5	18	35,95	1,997	0,0048807		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	0,005299	4	0,001325	0,3164776	0,866222804	2,480322306
Внутри групп	0,351612	84	0,004186			
Итого	0,35691	88				

а

Однофакторный дисперсионный анализ						
ИТОГИ						
Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Шип 5	18	35,95	1,997	0,0048807		
Шип 6	17	34,005	2,000	0,0047535		
Шип 7	18	36,077	2,004	0,0055992		
Шип 8	18	35,949	1,997	0,0028952		
Шип 9	17	33,766	1,986	0,0072749		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	0,003108	4	0,000777	0,1536031	0,96087504	2,481661429
Внутри групп	0,41983	83	0,005058			
Итого	0,422938	87				

б

Рис. 6. Результаты 1-факторного дисперсионного анализа толщин шипов для левой (а) и правой (б) половин детали

Fig. 6. One-way ANOVA results of tenon thickness for left (a) and right (b) half of workpiece

В результате проведения 1-факторного дисперсионного анализа разброса размеров толщин шипов для левой половины шипов получена статистическая значимость  $p = 0,86$  и для правой –  $p = 0,96$ , что превышает уровень значимости  $\alpha = 0,05$ . Это не позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии влияния положения шипа на его точность. Таким образом, можно принять, что точность шипа не зависит от его положения. Критерий Фишера, определяющий отношение межгрупповой дисперсии к внутригрупповой, для левой половины составляет 0,31, для правой – 0,15, что меньше критического значения 2,48. В соответствии с этим нулевая гипотеза не может быть отвергнута.

Далее приведены результаты 1-факторного дисперсионного анализа для проушин в левой и правой частях заготовки (рис. 7).

Однофакторный дисперсионный анализ						
ИТОГИ						
Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Проушина 1	18	40,515	2,250833	0,0036654		
Проушина 2	18	40,017	2,223167	0,0057131		
Проушина 3	18	39,294	2,183	0,0046147		
Проушина 4	18	39,643	2,202389	0,0068139		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	0,045606	3	0,015202	2,9224619	0,0400904	2,739502302
Внутри групп	0,353721	68	0,005202			
Итого	0,399327	71				

а

Однофакторный дисперсионный анализ						
ИТОГИ						
Группы	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
Проушина 5	18	40,03	2,223889	0,00538		
Проушина 6	18	39,429	2,1905	0,008663		
Проушина 7	18	39,743	2,207944	0,007542		
Проушина 8	18	42,302	2,350111	0,023693		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	0,284816	3	0,094939	8,387127	8,0514E-05	2,739502302
Внутри групп	0,769731	68	0,01132			
Итого	1,054547	71				

б

Рис. 7. Результаты 1-факторного дисперсионного анализа ширин проушин для левой (а) и правой (б) половин детали

Fig. 7. One-way ANOVA results of mortise width for left (a) and right (b) half of workpiece

Результаты дисперсионного анализа для распределения ширин проушин показывают обратную относительно распределения толщин шипов ситуацию: статистическая значимость  $p = 0,04$  для левой половины шипов и  $p = 0,00008$  для правой меньше уровня значимости  $\alpha = 0,05$ . При этом критерий Фишера для левой части составил 2,92, для правой – 8,39, что больше критического значения 2,74. Это позволяет опровергнуть нулевую гипотезу об отсутствии влияния положения проушины на ее точность.

*Определение качества точности сформированных шипов и проушин.* Для нахождения средних квалитетов толщин шипов и ширин проушин был рассчитан средний допуск  $A_{\text{ср}}$ . Соответствие квалитету устанавливали по ГОСТ 6449.1–82 и ГОСТ 25346–89 в зависимости от среднего допуска. С целью исключения влияния знака отклонения от номинального значения при расчете среднего допуска авторами была предложена следующая формула:

$$A_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n |S_{\text{ном}} - S_{\text{действ}}|}{n},$$

где  $S_{\text{ном}}$ ,  $S_{\text{действ}}$  – соответственно номинальная и действительная толщина шипа или ширина проушины, мм;  $n$  – количество измерений.

Результаты определения средних квалитетов толщин шипов и ширин проушин приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

**Средние квалитеты толщин шипов**  
**Mean tolerance grades of tenon thickness**

Шип	$A_{\text{ср}}$ , мм	Квалитет	Средняя толщина, мм
1	0,055	IT11	2±0,028
2	0,050	IT11	2±0,025
3	0,049	IT11	2±0,025
4	0,053	IT11	2±0,026
5	0,057	IT11	2±0,029
6	0,064	IT12	2±0,032
7	0,062	IT12	2±0,031
8	0,040	IT11	2±0,020
9	0,078	IT12	2±0,039

Таблица 4

**Средние квалитеты ширин проушин**  
**Mean tolerance grades of mortise widths**

Проушина	$A_{\text{ср}}$ , мм	Квалитет	Средняя ширина, мм
1	0,057	IT11	2,2±0,029
2	0,060	IT11	2,2±0,030
3	0,053	IT11	2,2±0,027
4	0,067	IT12	2,2±0,033
5	0,063	IT12	2,2±0,031
6	0,068	IT12	2,2±0,034
7	0,068	IT12	2,2±0,034
8	0,164	IT14	2,2±0,082

Анализ среднего допуска толщин шипов и ширин проушин показывает достаточно равномерный разброс размеров для левых крайних и центральных

элементов: (шипы № 1–5, проушины № 1–3), не превышающий допуска 11-го качества. Шипы и проушины, расположенные ближе к крайней правой зоне (шипы № 6–9, проушины № 4–8) имеют больший разброс размеров, соответствующий 12-му качеству. Для крайней проушины № 8 интервал варьирования соответствует 14-му качеству.

Возможными причинами такого отклонения могут являться погрешность инструмента или перекокс верхней плиты пресса относительно его стола и, как следствие, перекокс пуансона относительно заготовки.

*Прогнозируемые размеры элементов шиповых соединений.* Полученные данные (табл. 1 и 2) представляют из себя подмножество наблюдений генеральных совокупностей. Статистическая обработка этих показателей позволяет с вероятностью 95 % определить интервалы размеров элементов каждой генеральной совокупности. С применением инструментов описательной статистики установлены доверительные интервалы отклонений ширин и толщин элементов. В результате были спрогнозированы размеры толщин шипов и ширин проушин, где номинальной шириной (толщиной) элемента является среднее значение, а отклонением служит доверительный интервал, также определены качества этих размеров (табл. 5 и 6). Прогнозируемые размеры – это размеры, которые с 95%-й вероятностью будут получены при данном способе формирования профиля шипов.

Таблица 5

**Прогнозируемая толщина шипов, мм**  
**Predicted tenon thickness, mm**

Шип	Доверительный интервал	Средняя прогнозируемая толщина	Допуск	Квалитет
1	0,037	1,986±0,037	0,075	IT12
2	0,029	2,006±0,029	0,058	IT11
3	0,032	2,002±0,032	0,063	IT12
4	0,033	2,005±0,033	0,067	IT12
5	0,035	1,997±0,035	0,069	IT12
6	0,043	2,013±0,043	0,086	IT12
7	0,037	2,004±0,037	0,074	IT12
8	0,027	1,997±0,027	0,054	IT11
9	0,052	1,972±0,052	0,103	IT13

Таблица 6

**Прогнозируемая ширина проушин, мм**  
**Predicted mortise width, mm**

Проушина	Доверительный интервал	Средняя прогнозируемая ширина	Допуск	Квалитет
1	0,030	2,251±0,030	0,060	IT11
2	0,038	2,223±0,038	0,075	IT12
3	0,034	2,183±0,034	0,068	IT12
4	0,041	2,202±0,041	0,082	IT12
5	0,036	2,224±0,036	0,073	IT12

Окончание табл. 6

Проушина	Доверительный интервал	Средняя прогнозируемая ширина	Допуск	Квалитет
6	0,046	2,191±0,046	0,093	IT12
7	0,043	2,208±0,043	0,086	IT12
8	0,077	2,350±0,077	0,153	IT14

Анализ прогнозируемых размеров шипов и проушин показывает, что относительно номинального размера ширины проушины 2,2 мм и толщины шипа 2 мм поля допусков являются несимметричными, и это затрудняет определение основных отклонений. Для их установления приняли, что вероятные поля допусков могут быть симметричны относительно номинальных размеров, максимальные отклонения при этом соответствуют наибольшим отклонениям от номинального размера, определенным по данным табл. 5, 6. Полученные прогнозируемые поля допусков толщины шипов и ширины проушин приведены в табл. 7.

Таблица 7

**Прогнозируемые поля допусков ширины проушин и толщины шипов**  
**Predicted tolerance fields for mortise widths and tenon thicknesses**

Шип / проушина	Ширина проушины	Допуск ширины проушины	Поле допуска ширины проушины	Толщина шипа	Допуск толщины шипа	Поле допуска толщины шипа
1	2,2±0,066	0,132	JS13	2±0,051	0,102	js12
2	2,2±0,042	0,084	JS 12	2±0,035	0,070	js 12
3	2,2±0,034	0,068	JS 12	2±0,033	0,066	js 12
4	2,2±0,023	0,046	JS 11	2±0,038	0,076	js 12
5	2,2±0,042	0,084	JS 12	2±0,038	0,076	js 12
6	2,2±0,033	0,065	JS 12	2±0,056	0,112	js 13
7	2,2±0,030	0,059	JS 11	2±0,041	0,082	js 12
8	2,2±0,188	0,377	JS 15	2±0,030	0,060	js 11
9	–	–	–	2±0,080	0,160	js 14

Прогнозируемые допуски размеров шипов и проушин соответствуют требованиям, предъявляемым к допускам элементов шипового соединения для последующего склеивания заготовок по длине [7, 16, 17]. При этом с вероятностью 95 % толщины всех шипов и ширины всех проушин будут находиться внутри поля допуска JS13/js13, исключение составляют крайние правые элементы.

### Выводы

1. Установлено, что точность толщин шипов и ширин проушин, получаемых торцовым прессованием без применения обжимной оснастки, при точности элементов пуансона, соответствующей 9 квалитету, в основном (для центральных шипов) соответствует 12-му квалитету.

2. Спрогнозирована вероятностная точность элементов, формируемых торцовым прессованием, не ниже 12-го квалитета; при этом при предсказывании симметричных полей допусков точность не превышает 13-го квалитета,

полученный результат дает основание полагать, что формируемые элементы шипового соединения соответствуют требованиям, предъявляемым к заготовкам для сращивания по длине.

3. Установлено, что точность размеров крайних правых шипов и проушин ниже. Это может быть обусловлено, во-первых, неправильностью базирования заготовки, что объясняется конструктивными особенностями пресового оборудования, во-вторых, отсутствием боковой поддержки материала древесины. Несоответствие стандартам размеров крайних шипов может повлечь за собой уменьшение прочности шипового соединения по длине. Для устранения этих факторов необходимо проектировать специальную обжимную технологическую оснастку, позволяющую обеспечить корректность взаимного позиционирования заготовки и пуансона, а также боковую поддержку крайних шипов при прессовании. Это является задачей следующей стадии исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Барташевич А.А., Трофимов С.П.* Конструирование мебели. Минск: Современ. шк., 2006. 336 с.

Bartashevich A.A., Trofimov S.P. *Furniture Construction*. Minsk, Sovremennaya shkola Publ., 2006. 336 p. (In Russ.).

2. *Бендерук Т.Г., Задраускайте Н.О., Рудная Н.С.* Роль склеивания древесины // World science: problems and innovations: сб. ст. LVI Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: Наука и Просвещение, 2021. С. 59–61.

Benderuk T.G., Zadrauskaite N.O., Rudnaya N.S. The Role of Wood Bonding. *World Science: Problems and Innovations: Proceedings of the LVI International Scientific-Practical Conference*. Penza: Nauka i Prosveshchenie Publ., 2021, pp. 59–61. (In Russ.).

3. *Ведерников Я.Д., Рублева О.А.* Обоснование конструктивных параметров станочного приспособления для торцового прессования древесины // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2023. С. 305–311.

Vedernikov Ya.D., Rubleva O.A. Justification of Design Parameters of Machine Devices for Pressing Wood in Longitudinal Direction. *Effective Response to Modern Challenges Taking into Account the Interaction of Man and Nature, Man and Technology: Socio-Economic and Environmental Problems of the Forest Complex: Proceedings of the XIV International Scientific and Technical Conference*. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University Publ., 2023, pp. 305–311. (In Russ.).

4. *Ведерников Я.Д., Рублева О.А., Васильева Е.С.* Обоснование конструктивных особенностей устройства для пластического деформирования древесины // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: материалы XIX Междунар. евразийск. симп. Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2024. С. 43–48.

Vedernikov Ya.D., Rubleva O.A., Vasilieva E.S. Justification of the design features of the device for plastic deformation of wood. *Woodworking: Technologies, Equipment, Management of the XXI Century: Proceedings of the XIX International Eurasian Symposium*. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University Publ., 2024, pp. 43–48. (In Russ.).

5. *Волынский В.Н.* Технология клееных материалов. СПб.: Профикс, 2008. 392 с.  
Volynskiy V.N. *Technology of Glued Materials*. Saint Petersburg, Profiks Publ., 2008. 392 p. (In Russ.).

6. Гайдук С.С. Склеивание древесины различных пород // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 86-й науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. сотр. и аспирантов (с междунар. участием). Минск: Белорус. гос. технол. ун-т, 2022. С. 240–242.

Gayduk S.S. Gluing of Various Wood Species. *Forest Engineering, Materials Science and Design: Proceedings of the 86th Scientific and Technical Conference of Teaching Staff, Researchers and Graduate Students (with international participation)*. Minsk: Belarusian State Technological University Publ., 2022, pp. 240–242. (In Russ.).

7. Гороховский А.Г., Рублева О.А. Анализ современных требований по выбору посадок для клеевых соединений по длине на прямоугольные шипы // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. Вологда: Вологодск. гос. ун-тет, 2019. С. 135–138.

Gorokhovskiy A.G., Rubleva O.A. Analysis of Modern Requirements for Selecting Fits for Adhesive Joints with Rectangular Tenons. *Current Problems of Forest Sector Development: Proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference*. Vologda: Vologda State University Publ., 2019, pp. 135–138. (In Russ.).

8. Жуков В.П. Технология склеивания древесины. Воронеж: ВГЛТИ, 1981. 79 с.  
Zhukov V.P. Wood Gluing Technology. Voronezh, VGLTI Publ., 1981. 79 p. (In Russ.).

9. Куликов И.В. Основы взаимозаменяемости и технические измерения в деревообработке. М.: Лесн. пром-сть, 1966. 375 с.

Kulikov I.V. Fundamentals of Interchangeability and Technical Measurements in Woodworking. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ., 1966. 375 p. (In Russ.).

10. Патент № 2471614 РФ. Способ формирования элементов шиповых соединений деревянных заготовок: № 2011116271/13; заявл. 25.04.2011; опубл. 10.01.2013 / О.А. Рублева.

Rubleva O.A. *Method of Forming Finger Joints in Wood Blanks*. Patent RF no. RU 2471614 C1, 2013. (In Russ.).

11. Патент № 2834044 С1 РФ, МПК В27М 1/02. Устройство для прессования прямоугольных шипов в торцах деревянных заготовок: заявл. 03.10.2024; опубл. 03.02.2025 / О.А. Рублева, Я.Д. Ведерников.

Rubleva O.A., Vedernikov Y.D. Device for Pressing Rectangular Tenons in Ends of Wooden Workpieces. Patent No. 2834044 C1 RF, IPC B27M 1/02.2025. (In Russ.).

12. Пластинин С.Н. Производство клееной продукции на лесопильных предприятиях. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 48 с.

Plastinin S.N. *Manufacturing of Glued Products at Sawmills*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 48 p. (In Russ.).

13. Рублева О.А. Формирование прямоугольных шипов способом торцового прессования // Лесотехн. журн. 2013. № 4 (вып. 12). С. 126–133.

Rubleva O.A. Formation of Rectangular Tenons by Mechanical Pressing Method. *Lesotekhnicheskiy zhurnal = Forestry Engineering Journal*, 2013, no. 4(12), pp. 126–133. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/2191>

14. Рублева О.А. Опыт применения штампового инструмента для формирования прямоугольных проушин и шипов // Деревообаб. пром-сть. 2020. № 2. С. 27–34.

Rubleva O.A. Experience of Using Punching Tool for Shaping Rectangular Mortises and Tenons. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost' = Woodworking Industry*, 2020, no. 2, pp. 27–34. (In Russ.).

15. Рублева О.А. Технология формирования клеевых соединений на прессованные шипы // Деревообаб. пром-сть. 2020. № 3. С. 19–26.

Rubleva O.A. Technology of Joints Forming with Pressed Tenons. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost' = Woodworking Industry*, 2020, no. 3, pp. 19–26. (In Russ.).

16. Рублева О.А., Гороховский А.Г. Прочность склеивания древесины по длине на прямоугольные шипы // Хвойн. бореал. зоны. 2019. Т. 37, № 5. С. 358–366.

Rubleva O.A., Gorokhovskiy A.G. Strength of End Joints with Rectangular Fingers. *Khvoynye boreal'noy zony* = Conifers of the Boreal Zone, 2019, vol. 37, no. 5, pp. 358–366. (In Russ.).

17. Рублева О.А., Гороховский А.Г. Экспериментальная оценка прочности склеивания древесины по длине на прямоугольные прессованные шипы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 3. С. 128–142.

Rubleva O.A., Gorokhovskiy A.G. Experimental Evaluation of Strength of End Joints with Rectangular Pressed Fingers. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2020, no. 3, pp. 128–142. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-3-128-142>

18. Рублева О.А., Гороховский А.Г., Шишкина Е.Е., Васильева Е.С., Ведерников Я.Д. Оценка влияния геометрических параметров прямоугольных шипов и расхода клея на прочность склеивания древесины по длине // Деревообработ. пром-сть. 2024. № 4. С. 11–23.

Rubleva O.A., Gorokhovskiy A.G., Shishkina E.E., Vasilyeva E.S., Vedernikov Ya.D. Evaluation of the Effect of Geometric Parameters of Rectangular Tenons and Glue Consumption on the Strength of End Joints. *Derevoobrabatativaushaya promishlennost'* = Woodworking industry, 2024, no. 4, pp. 11–23. (In Russ.).

19. Фрейдин А.С., Вуба К.Т. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 224 с.

Freydin A.S., Vuba K.T. *Prediction of the Properties of Adhesive Wood Joints*. Moscow, *Lesnaya promyshlennost'* Publ., 1980. 224 p. (In Russ.).

20. Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины. СПб.: СПбГУ, 1992. 164 с.

Chubinskiy A.N. *Formation of Adhesive Joints of Wood*. St. Petersburg, SPbGU Publ., 1992. 164 p. (In Russ.).

21. Zakiah Ahmad, Wei Chen Lum, Seng Hua Lee, Mohd Azran Razlan, Wan Hazira Wan Mohamad. Mechanical Properties of Finger Jointed Beams Fabricated from Eight Malaysian Hardwood Species. *Construction and Building Materials*, 2017, vol. 145, pp. 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.016>

22. Aicher S., Radovic B. Investigations on the Influence of Finger-Joint Geometry on Tension Strength of Finger-Jointed Glulam Lamellas. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1999, vol. 57, no. 1, pp. 1–11.

23. Ayarkwa J., Hirashima Y., Sasaki Y., Yamasaki M. Influence of Finger-Joint Geometry and End Pressure on Tensile Properties of Three Finger-Jointed Tropical African Hardwoods. *Southern African Forestry Journal*, 2000, vol. 188, no. 1, pp. 37–49.

24. Barboutis I., Vasileiou V. Strength of Fingerjointed Beech Wood (*Fagus sylvatica*) Constructed with Small Finger Lengths and Bonded with PU and PVAC Adhesives. *PROLigno*, 2013, vol. 9, no. 4, pp. 359–364.

25. Derikvand M., Pangh H., Ebrahimi G. Experimental Shape Optimization of Floating-Tenon Connections. *The 27th International Conference Research for Furniture Industry*, 2015, pp. 39–47.

26. Džinčić I., Živanić D. The Influence of Fit on the Distribution of Glue in Oval Tenon/Mortise Joint. *Wood Research*, 2014, vol. 59, no. 2, pp. 297–302.

27. Jokerst R.W. Finger-Jointed Wood Products. Research Paper FPL 382. *Forest Products Laboratory*, 1981. 26 p.

28. Hu W.G., Fu W.L., Guan H.Y. Optimal Design of Stretchers Positions of Mortise and Tenon Joint Chair. *Wood research*, 2018, vol. 63, no. 3, pp. 505–516.

29. Lara-Bocanegra A.J., Majano-Majano A., Crespo J., Guaita M. Finger-Jointed Eucalyptus Globulus with 1C-PUR Adhesive for High Performance Engineered Laminated Products. *Construction and Building Materials*, 2017, vol. 135, pp. 529–537. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.004>

30. Lee S.J., Eom C.D., Kim K.M. Structural Performance of Finger-Jointed Lumber with Different Joint Configurations. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 2011, vol. 39, no. 2, pp. 172–178.

31. Likos E., Haviarova E., Eckelman C.A., Erdil Y.Z., Ozcifici A. Effect of Tenon Geometry, Grain Orientation, and Shoulder on Bending Moment Capacity and Moment Rotation Characteristics of Mortise and Tenon Joints. *Wood and Fiber Science*, 2012, vol. 44, iss. 4, pp. 462–469.

32. Muthumala C.K., De Silva S., Alwis P.L.A.G., Arunakumara I.K.K.U., Mariakar F.M.M.T. Assessment of Quality Parameters of Finger-Jointed Timber Products: A Review. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*, 2025, pp. 65–82. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2025.18.67.1.5>

33. Özçiğçi A., Yapıcı F. Structural Performance of the Finger-Jointed Strength of Some Wood Species with Different Joint Configurations. *Construction and Building Materials*, 2008, vol. 22, no. 7, pp. 1543–1550. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.03.020>

34. Prekrat S., Smardzewski J. Effect of Glueline Shape on Strength of Mortise and Tenon Joint. *Drvna industrija*, 2010, vol. 61, no. 4, pp. 223–228.

35. Ratnasingam J., Scholz F. Optimization of Fingerjointing in Rubberwood Processing. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2009, vol. 67, no. 2, pp. 241–242. <https://doi.org/10.1007/s00107-008-0295-8>

36. Ryu H.S., Ahn S.Y., Park H.M., Byeon H.S., Kim J.M. Effect of Distance between Finger Tip and Root Width on Compressive Strength Performance of Finger-Jointed Timber. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 2004, vol. 32, iss. 4, pp. 66–73.

37. Tankut N. The Effect of Adhesive Type and Bond Line Thickness on the Strength of Mortise and Tenon Joints. *International journal of adhesion and adhesives*, 2007, vol. 27, iss. 6, pp. 493–498. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2006.07.003>

38. Tran V.D., Oudjene M., Méausoone P.J. FE Analysis and Geometrical Optimization of Timber Beech Finger-Joint under Bending Test. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2014, vol. 52, pp. 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2014.03.007>

39. Vassiliou V., Barboutis I., Ajdinaj D., Thoma H. PVAc Bonding of Fingerjointed Beech Wood Originated from Albania and Greece. *Wood Science and Engineering in the third millennium – ICWSE: Proceedings of the International Conference, Brasov, Romania, 2009*, pp. 715–721.

40. Vrazel M., Sellers Jr.T. The Effects of Species, Adhesive Type, and Cure Temperature on the Strength and Durability of a Structural Finger-Joint. *Forest products journal*, 2004, vol. 54, iss. 3, pp. 66–76.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest