



УДК 674.028.9+674.049.2

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-128-142

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СКЛЕИВАНИЯ
ДРЕВЕСИНЫ ПО ДЛИНЕ НА ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ
ПРЕССОВАННЫЕ ШИПЫ***О.А. Рублева¹, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [Q-7239-2017](https://orcid.org/0000-0003-0756-6130).**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0756-6130>**А.Г. Гороховский², д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [O-6030-2018](https://orcid.org/0000-0001-8847-8217).**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8847-8217>*¹Вятский государственный университет, ул. Московская, д. 36, г. Киров, Россия, 610000; e-mail: olga_ru@vyatsu.ru²Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: goragegr@yandex.ru

Клеевые соединения по длине широко распространены в производстве изделий из древесины. Однако наиболее часто применяемая технология сращивания на зубчатые шипы имеет ряд недостатков (наличие отходов, дорогостоящий режущий инструмент и др.). Предложен альтернативный способ сращивания на многократные прямоугольные шипы, изготовленные прессованием. Промышленное внедрение нового способа требует подтверждения высокого качества клеевого шипового соединения. Основным показателем качества является прочность соединения. Цель исследования – экспериментальная оценка прочности при растяжении и изгибе соединений по длине на прямоугольные прессованные шипы (на примере заготовок из древесины сосны). Изучены соединения двух типоразмеров (А и Б) с шагом 4,2 и 8,2 мм и глубиной проушины 10 и 20 мм соответственно. Прочность образцов определяли с учетом требований ГОСТ 15613.4 и ГОСТ 15613.5. Для оценки качества соединений использовали показатель «относительная прочность» – отношение прочности соединения к прочности цельной древесины. Статистическая обработка проводилась как по группам данных, так и для каждого типоразмера и каждого вида испытания отдельно. Это позволило установить средние значения прочности для каждой отдельной группы образцов, а также получить статистически обоснованную объединенную оценку некоторых показателей. Соединения типа А (с мелкими шипами) показали лучшие результаты по прочности при растяжении (59,5 %) по сравнению с типом Б (53,2 %). Установлено, что при обработке результатов испытаний на изгиб в исследованном диапазоне не выявлено статистически значимого влияния типа соединения. Поэтому средняя прочность при изгибе (80,2 %) характеризует оба типа соединения. Кроме того, прочность этих двух типов соединений с достаточной достоверностью может быть охарактеризована и средней прочностью при растяжении (56,4 %). При этом оба типа соединения соответствуют по прочности требованиям стандартов на изделия с использованием клеевых соединений по длине. Полученные результаты варьируют в сравнительно узком диапазоне, что свидетельствует о стабильном качестве клеевых соединений на прямоугольные шипы, изготовленных способом прессования. Проведенное исследование подтвердило возможность применения прямоугольных прессованных шипов для изготовления соединений на их основе.

Для цитирования: 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. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-128-142

Ключевые слова: шиповые соединения, сращивание по длине, прямоугольный шип, прессование древесины, прочность склеивания соединения.

Введение

Сращивание древесины по длине широко применяется в производстве клееной продукции, столярно-строительных изделий и клееных деревянных конструкций. Среди наиболее известных соединений по длине можно отметить соединение на ус, торцовое (впритык), ступенчатое (вполдерева), шипом в торцовый паз; наиболее распространено соединение на зубчатый шип [1, 2, 21, 38].

Зубчатые соединения, несмотря на хорошие эксплуатационные свойства и экономичность, связанную с малыми потерями материала при нарезке шипов, имеют ряд недостатков. К ним относятся: сложность конструкции фрезерного инструмента; существенные затраты на его приобретение и периодическую заточку; необходимость удаления стружки, образующейся в процессе резания; снижение прочности соединения по причине перерезания волокон и наличия затупления в вершинах шипов [2, 15].

Принципиально иная технология изготовления шипов на торцах заготовок способом торцового прессования, предложенная авторами [14, 16], позволяет устранить указанные недостатки. Соединение на многократные прямоугольные шипы фактически представляет собой комбинацию потенциально высокопрочных клеевых соединений на гладкую фугу [13, 27] и менее прочных торцовых соединений впритык. Промышленное внедрение нового способа сращивания на прямоугольные прессованные шипы требует исследования уровня качества получаемых соединений.

Основным показателем качества клеевого соединения является его прочность [2, 18–20, 29, 30, 33, 35, 37]. Существует несколько подходов к оценке прочности клеевых соединений древесины, которые по сфере применения можно разделить на следующие группы:

расчетные методы, используемые на стадии проектирования соединения и для прогнозирования механических свойств;

экспериментальные методы, применяемые на стадии изготовления соединений к образцам реальных либо специально подготовленных размеров.

К первой группе относятся методы, основанные на использовании аналитических или эмпирических моделей. Разработаны методы расчета клеевых соединений на сдвиг, неравномерный отрыв, скалывание и др. [17]. Данные модели имеют ограниченное применение, поскольку получены для отдельных изученных случаев и не могут охватить все разнообразие соединений.

К этой же группе принадлежит и метод конечных элементов, реализуемый на базе 3D-моделирования [24, 32]. Метод достаточно эффективен при прогнозировании прочности соединений с изначально заданными характеристиками. Однако на практике встречаются затруднения, связанные с анизотропностью, вариативностью, возможными случайными отклонениями свойств древесины [28].

Экспериментальные методы второй группы позволяют сконцентрироваться на свойствах конкретной партии образцов. К ним относятся методы неразрушающего контроля прочности клеевых соединений древесины, позволяющие проводить оценку с достаточной степенью точности [21]. Но при их использовании появляется необходимость разработки стандартизованных методик и применения узкоспециализированного оборудования.

Эта группа также включает стандартизованные методы оценки прочности, основанные на выборочных испытаниях типовых образцов механическим разрушением, которые принято проводить для однородной продукции при фиксации определенных установленных исходных данных: породы древесины [19, 20, 25, 27, 29, 33, 38], геометрических параметров соединения [22, 25, 26, 30, 31, 33, 36, 39], типа клея [25, 29, 30, 34, 38]. При проектировании и изготовлении опытных образцов соединений нового типа такие испытания наиболее целесообразны ввиду их простоты, информативности, адекватности результатов.

Методы испытаний образцов варьируются в зависимости от назначения клееных заготовок, условий их эксплуатации. Прочность склеивания, как правило, оценивается предельным усилием, вызывающим разрушение образца. Применяют испытания на сдвиг (скалывание), растяжение (отрыв), изгиб, кручение. Многие стандарты на изделия с применением клеевых соединений по длине относят к числу основных требования к прочности при изгибе и растяжении [8–10].

Прочность клеевых соединений по длине удобно характеризовать показателем «относительная прочность» – отношением прочности соединения к прочности цельной древесины заготовок [2]. В зарубежной научной литературе также встречается термин «joint efficiency» (эффективность соединения) [25].

Цель исследования – экспериментальная оценка прочности при растяжении и изгибе соединений по длине на прямоугольные прессованные шипы (на примере заготовок из древесины сосны).

Задачи исследования включали: определение относительной прочности соединений; установление взаимосвязи между типом соединения и его прочностью; сравнение влияние вида испытаний на оценку прочности.

Объекты и методы исследования

Для проведения экспериментальных исследований использовали заготовки, полученные из сухих пиломатериалов смешанной распиловки из древесины сосны обыкновенной, заготовленной в Кировской области. Пиломатериалы раскраивали вдоль волокон на кратные по длине заготовки, которые затем фрезеровали с четырех сторон и раскраивали по длине с одновременной вырезкой дефектов.

Отбирали заготовки с преимущественно тангенциально-ориентированной пластью, не содержащие сучков, трещин и других пороков, с наклоном волокон не более 15 %. Размеры заготовок по толщине, ширине и длине: 25×40×160 мм. Длина заготовок ориентирована вдоль волокон. Общее количество заготовок для исследования прочности соединений составило 44 шт., в том числе 32 из них предназначались для определения прочности при изгибе, 12 – при растяжении.

Показатели физико-механических свойств древесины образцов определяли по стандартным методикам [5, 6]. Предел прочности древесины образ-

цов при растяжении вдоль волокон $\sigma_{р.д} = 78,45$ МПа, при статическом изгибе – $\sigma_{н.д} = 61,18$ МПа (данные приведены в пересчете на нормализованную влажность 12 %).

Влажность древесины образцов измеряли с помощью влагомера Hydromette compact (фирма «Gann GmbH») по методике из ГОСТ 16588–91 [7]. За среднее значение влажности образцов принимали среднее арифметическое трех замеров; она составила 9 %.

Прессование элементов шиповых соединений на торцах заготовок выполняли на прессе П-10 (ЗИМ «Точмашприбор») при относительной влажности $W_{отн} = (65 \pm 15)$ % и температуре воздуха $T = 20$ °С. Заготовки закрепляли в специальной оснастке (рис. 1, а), обеспечивающей их базирование, фиксацию и четырехсторонний обжим с усилием 1 кН в целях предотвращения появления трещин в процессе прессования. Затем в торец заготовок, вдоль волокон древесины, внедряли профильный пуансон со скоростью 50 мм/мин и средним усилием прессования 28,4 кН. Использовали пуансоны двух типоразмеров (А и Б) (рис. 1, б) с геометрическими параметрами, обеспечивающими требуемые размеры соединений (табл. 1).

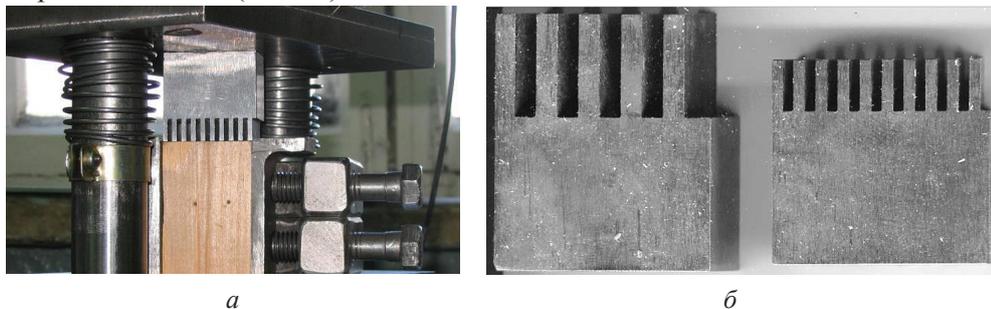


Рис. 1. Фрагмент технологической оснастки с закрепленной заготовкой (а) и внешний вид пуансонов (б) (слева – тип Б, справа – тип А)

Fig.1. A fragment of production tooling with a fixed workpiece (a) and the layout of the punches (b), on the left – type B, on the right – type A

Таблица 1

Геометрические параметры соединений (мм)

Типоразмер	Толщина шипа $S_{ш}$	Ширина проушины B	Шаг шипа $t_{ш}$	Глубина проушины $h_{п}$
А	2	2,2	4,2	10
Б	4	4,2	8,2	20

Внешний вид и параметры обработанной прессованием заготовки приведены на рис. 2.

Склеивание производили не позднее 6 ч после формирования шипов. На профиль прямоугольных шипов на торцах заготовок наносили клей на основе поливинилацетатной дисперсии марки ПВА Супер (ПАО «Акрон»), имеющий предел прочности на сдвиг при растяжении не менее 4,4 МПа. Применяли двухстороннее нанесение клея (расход – 200 г/м²). Время открытой выдержки составляло не более 30 с, закрытой – 30 с. Усилие запрессовки устанавливали на уровне не более 5 кН, время выдержки под давлением – 30 с. После склеивания образцы выдерживали не менее 2 суток при $W_{отн} = (65 \pm 15)$ % и $T = 20$ °С.

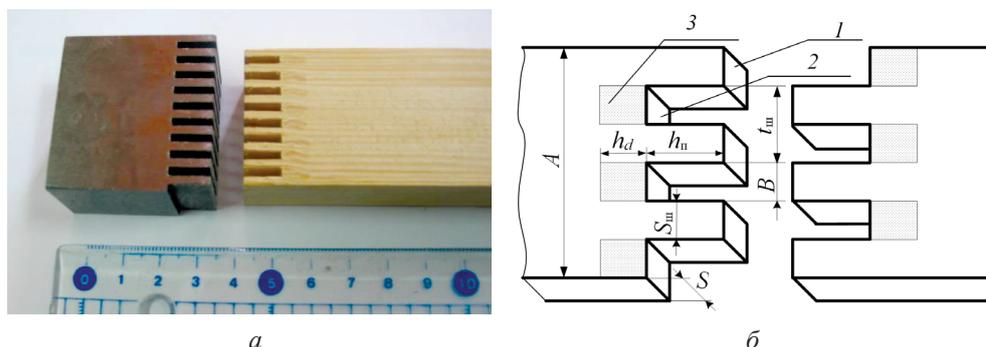


Рис. 2. Внешний вид (а) и параметры прессованной заготовки (б): 1 – шип; 2 – проушина; 3 – деформированная зона; h_d – глубина деформированной зоны; A – ширина заготовки
 Fig. 2. The layout (a) and parameters of the pressed workpiece (б): 1 – tenon; 2 – mortise; 3 – deformed zone; h_d – depth of the deformed zone; A – workpiece width

После выдержки заготовки подвергали механической обработке. Образцы для определения предела прочности соединений при изгибе фрезеровали до получения толщины 20 мм в соответствии с ГОСТ 15613.4–78 (п. 1.2.3) [3]. Образцы для определения предела прочности соединений при растяжении торцевали симметрично с двух сторон для получения длины, равной 300 мм, и раскраивали, чтобы иметь толщину 4 мм по аналогии с требованиями, приведенными в ГОСТ 15613.5–78 (п. 2.2–2.4) [4]. В итоге было получено по 8 образцов соединений каждого типоразмера для каждого вида испытания, что в сумме составило 32 шт.

Экспериментальные исследования прочности шиповых соединений проводили на разрывной машине Р-5. Предел прочности клеевых соединений при растяжении ($\sigma_{p,c}$) определяли по ГОСТ 15613.5–78 [4]. Образец непрерывно нагружали со скоростью 10 мм/мин, разрушение происходило через $(20,0 \pm 10,0)$ с.

Предел прочности клеевых соединений при статическом изгибе $\sigma_{p,и}$ определяли на образцах натуральных размеров в соответствии с ГОСТ 15613.4–78 [3]. Скорость приложения нагрузки устанавливали постоянной и равной 10 мм/мин; разрушение происходило через $(2,5 \pm 0,5)$ мин.

После испытаний контролировали влажность образцов в соответствии с ГОСТ 16588–91 [7], проводя замеры вблизи излома на каждой половине образца. За контрольную величину влажности принимали большее ее значение в одной из половин образца. Полученные результаты пределов прочности пересчитывали на нормализованную влажность 12 % с помощью соотношений, приведенных в [5, 6].

Относительную прочность (C , %) рассчитывали как отношение прочности шипового соединения на растяжение и изгиб к прочности цельной древесины на растяжение и изгиб:

$$C_p = \frac{\sigma_{p,c}}{\sigma_{p,d}} \cdot 100; \quad C_{и} = \frac{\sigma_{и,c}}{\sigma_{и,d}} \cdot 100.$$

В связи с изменчивостью свойств древесины образцов, значительным количеством влияющих факторов механической и прессовой обработки, режимов склеивания нельзя сделать заключение о прочности соединений на основании простого усреднения полученных данных, поэтому требуется их статистиче-

ская обработка. Для этого использовали программу Statistica (доверительная вероятность 95 %). План статистического анализа включал следующие шаги:

- проверка возможности получения обобщенной характеристики прочности, учитывающей данные для всех видов испытаний и типов соединений;
- разделение данных на группы в соответствии с видом испытания и типом соединения;
- проверка нормальности распределения данных в группах;
- проверка однородности дисперсий;
- выявление различий между средними значениями прочности в группах;
- определение статистических показателей и средних значений прочности для соединений каждого типа.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты испытаний образцов на прочность при растяжении и статическом изгибе, а также относительная прочность соединений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний шиповых соединений на растяжение и изгиб

Номер опыта	Тип соединения	Характер разрушения	Предел прочности, МПа	Относительная прочность соединения, %
<i>Растяжение</i>				
1	А	По древесине	46,72	59,55
2	А	По древесине	45,91	58,52
3	А	Смешанный	41,06	52,34
4	А	По древесине	46,72	59,55
5	А	Смешанный	44,30	56,47
6	А	По древесине	49,15	62,65
7	А	По древесине	46,24	58,94
8	А	По древесине	53,03	67,60
9	Б	По древесине	42,68	54,40
10	Б	Смешанный	40,42	51,52
11	Б	По древесине	42,84	54,61
12	Б	Смешанный	41,23	52,56
13	Б	По древесине	41,87	53,37
14	Б	По древесине	43,12	54,96
15	Б	По древесине	39,85	50,80
16	Б	Смешанный	42,14	53,72
<i>Изгиб</i>				
17	А	По древесине	54,90	89,74
18	А	По древесине	41,92	68,52
19	А	По древесине	48,91	79,94
20	А	По древесине	52,90	86,47
21	А	По древесине	45,91	75,04
22	А	Смешанный	50,20	82,05
23	А	Смешанный	48,92	79,96
24	А	По древесине	51,23	83,74
25	Б	По древесине	47,91	78,31
26	Б	По древесине	49,91	81,58

Окончание табл. 2

Номер опыта	Тип соединения	Характер разрушения	Предел прочности, МПа	Относительная прочность соединения, %
27	Б	По древесине	45,91	75,04
28	Б	Смешанный	57,89	94,62
29	Б	Смешанный	40,92	66,88
30	Б	По древесине	43,18	70,58
31	Б	Смешанный	55,67	90,99
32	Б	По древесине	48,95	80,01

Разрушение склеенных образцов при испытаниях на прочность (рис. 3) происходило не только по древесине, но и по древесине и клеевому шву (смешанный (адгезионно-когезионный) характер разрушения).

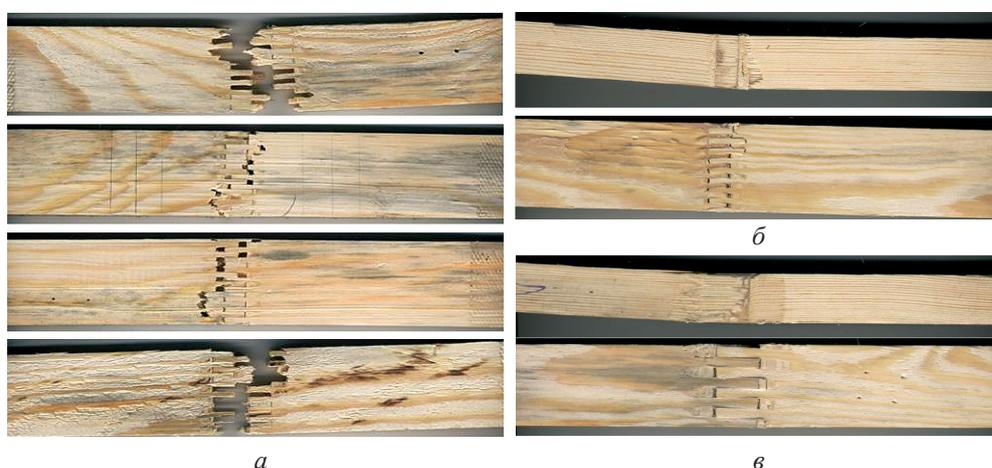


Рис. 3. Примеры разрушения образцов двух типоразмеров в результате испытаний на растяжение (а) и изгиб (б, в): а, б – типоразмер А; в – типоразмер Б (вид сбоку и сверху)
Fig. 3. Examples of samples failure as a result of tensile (а) and bending (б, в) tests: а, б – type А; в – type В (side and top views)

Полученные результаты можно считать удовлетворительными. Известно, что зубчатые соединения могут разрушаться как по древесине, так и по клеевому шву – до 20...30 % от общего числа испытанных образцов [17, 38].

Сравнение абсолютных значений прочности исследованных образцов, приведенных в табл. 2, с требованиями стандартов к прочности пиломатериалов и клееных деревянных конструкций [8, 11, 12] показывает, что соединения соответствуют классам прочности пиломатериалов до класса С30 включительно и могут быть отнесены к достаточно высокому классу прочности элементов конструкций К36. Это позволит использовать соединения на прессованные шипы в заготовках для столярно-строительных и других изделий [9, 10].

На первом этапе статистической обработки проверяли нормальность распределения объединенных данных для опытов 1–32 в целях выявления возможности получения общей характеристики прочности соединений вне зависимости от вида испытаний и типа соединений. Подобные обобщенные характеристики (без указания вида испытаний) встречаются в учебной и научной литературе по зубчатым соединениям: «относительная прочность соединения» 65...75 % [2]; «нормативная прочность» 50...70 % [17]; «прочность свыше 75 %» [38].

Статистический анализ объединенных данных показал, что исследуемое распределение нельзя отнести к нормальным по критерию Шапиро–Уилка. Уровень значимости критерия составил $p = 0,01313$, что меньше заданного уровня $p = 0,05$. Следовательно, гипотеза о нормальности распределения отклоняется. Таким образом, охарактеризовать прочность с помощью обобщенного показателя, учитывающего данные для разных видов испытаний и типов соединений, не представляется возможным.

На втором этапе статистической обработки проверяли нормальность распределения данных, сгруппированных по видам испытаний. При выборе переменной «вид испытания» в качестве группирующей распределение данных близко к нормальному. Этот вывод можно сделать на основании следующих критериев:

по результатам графического анализа нормальности данных с помощью нормально-вероятностных графиков и частотных гистограмм (рис. 4) установлено, что точки фактических данных расположены вблизи теоретической прямой, систематических отклонений не наблюдается, несистематические выбросы отсутствуют;

с помощью теста Шапиро–Уилка для группы данных «на растяжение» определен уровень значимости $p = 0,12936$, для группы «на изгиб» – $p = 0,90210$; в обоих случаях это больше заданного уровня $p > 0,05$, что позволяет не отклонять гипотезу о нормальности распределения.

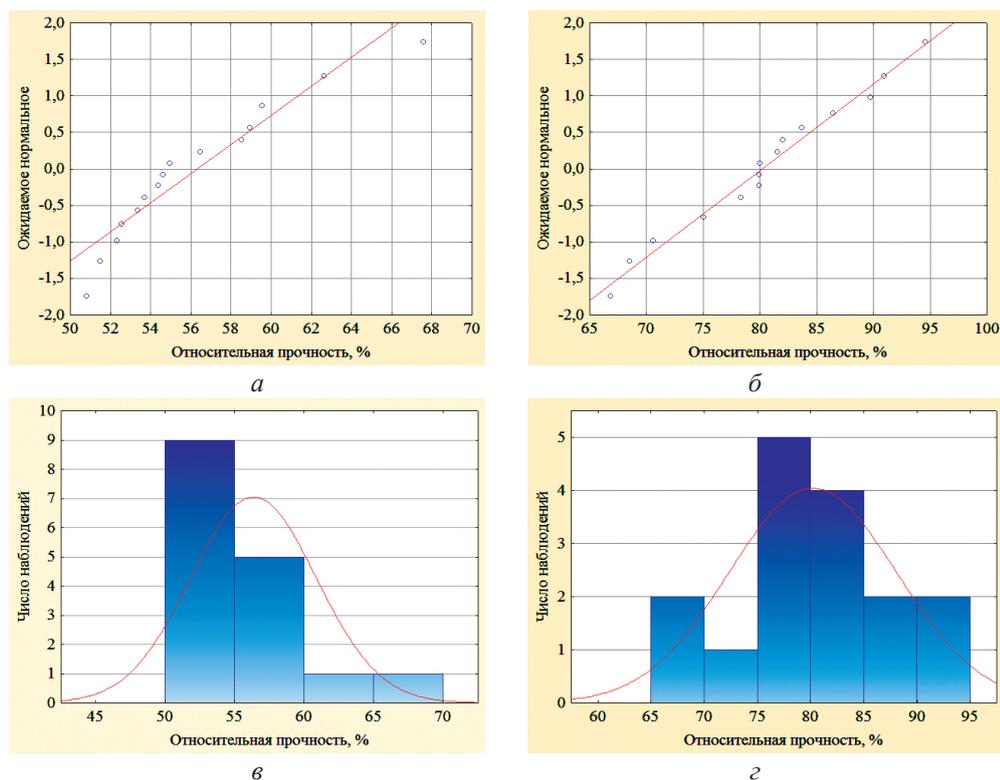


Рис. 4. Нормально-вероятностные графики (а, б) и частотные гистограммы (в, г) для испытаний на растяжение (а, в) и изгиб (б, г) (линией обозначены теоретические кривые нормального распределения)

Fig. 4. Normal probability plots (а, б) and frequency bar charts (в, г) for tensile (а, в) and bending (б, г) tests, line indicates theoretical normal distribution curves

Проверка однородности дисперсий двух выборок по критерию Левена показала, что, поскольку уровень значимости критерия $p \approx 0,10$ больше заданного уровня значимости $p = 0,05$, то однородность дисперсий присутствует. Тогда полученные данные для t-критерия Стьюдента будут достоверными; рассчитанный p-уровень для критерия Стьюдента $p = 0$, что меньше, чем заданный уровень значимости $p = 0,05$. Следовательно, различие между средними в группах есть и оно статистически значимо, т. е. средние значения относительной прочности при растяжении и изгибе отличаются, что дополнительно подтверждает результаты первого этапа статистической обработки: в исследованном диапазоне экспериментальных данных обобщенная характеристика прочности статистически не оправдана.

Полученные результаты демонстрируют рациональность подхода к характеристике относительной прочности соединений без усреднения данных по разным видам испытаний. Подобный подход используют R.W. Jakerst, Z. Ahmad, I. Barboutis и др. [19, 20, 25, 27].

На рис. 5 приведены диаграммы размаха, позволяющие оценить характеристики средней относительной прочности для данных, сгруппированных по видам испытаний. Необходимо отметить, что данные достаточно тесно сгруппированы. Это указывает на сравнительно малое влияние типа соединения на его прочность. Испытанные соединения показывают удовлетворительный уровень относительной прочности на растяжение (56,4 %) и изгиб (80,2 %). Другие исследователи отмечают следующие значения прочности зубчатых шиповых соединений: при изгибе по пласти – 33...50 % [2, 25]; при изгибе по кромке – 49...69 % [25, 38]; при растяжении – 57...80 % [30, 38].

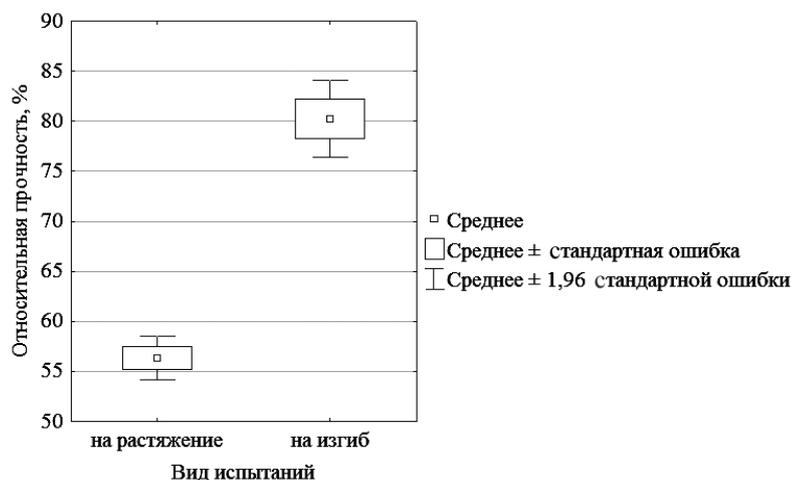


Рис. 5. Диаграмма размаха для данных, сгруппированных по видам испытаний

Fig. 5. Box plots of variables grouped by test type

На третьем этапе статистической обработки в качестве группирующей переменной выбран тип соединения, после чего проведена проверка нормальности распределения для сгруппированных данных. Распределение данных для соединения типа А показало близость к нормальному: уровень значимости критерия Шапиро–Уилка $p = 0,14606 > 0,05$, поэтому гипотеза о нормальности не отклоняется (рис. 6).

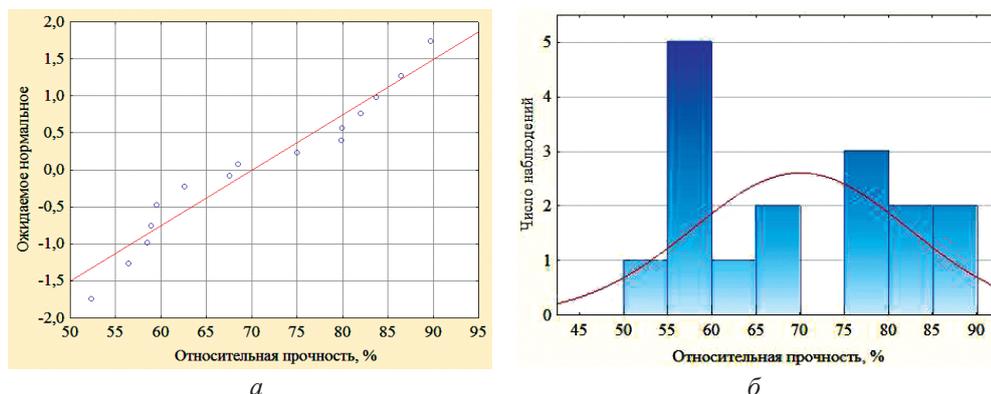


Рис. 6. Нормально-вероятностный график (а) и частотная гистограмма (б) для соединения типа А (линией обозначены теоретические кривые нормального распределения)

Fig. 6. Normal probability plot (a) and frequency bar chart (b) for joint of type A, line indicates theoretical normal distribution curves

Аналогичное статистическое исследование для соединения типа Б выявило отсутствие нормальности распределения по критерию Шапиро–Уилка: $p = 0,01841 < 0,05$.

Сравнение средних для двух рассматриваемых групп по критерию Манна–Уитни, применяемому при ненормальном распределении данных, показало, что $p = 0,258196 > 0,05$, следовательно, различие между средними в группах статистически незначимо, т. е. сделать статистически достоверный вывод о влиянии типа соединения на относительную прочность не представляется возможным.

На четвертом этапе статистической обработки данные были разделены на 4 группы, отличающиеся по параметрам «Тип соединения» и «Вид испытания», что позволило отдельно проанализировать влияние этих факторов на зависимую переменную (отклик) «Относительная прочность».

Категоризированные вероятностные графики и частотные гистограммы позволяют характеризовать каждое распределение в целом как нормальное, что подтверждает оценка с помощью критерия Шапиро–Уилка. Уровни его значимости при испытаниях на растяжение для соединений типа А – $p = 0,6852$, для типа Б – $p = 0,5286$; при испытаниях на изгиб – соответственно $p = 0,8656$ и $p = 0,8021$, что больше заданного уровня значимости $p = 0,05$ и позволяет не отклонять гипотезу о нормальности для каждого рассмотренного распределения (рис. 7).

По методике, используемой выше, выявлены статистически значимое различие между средними для соединений типов А и Б при испытаниях на растяжение и отсутствие различия между средними для соединений типа А и Б при испытаниях на изгиб. Для соединения типа А относительная прочность на растяжение равна 59,5 % (с доверительной вероятностью 95,0 % лежит в интервале 55,8...63,2 %), на изгиб – 80,7 % (75,1...86,2 %); для соединения типа Б – соответственно 53,2 % (52,0...54,5 %) и 79,8 % (71,9...87,7 %). Полученные результаты колеблются в сравнительно узком диапазоне, что свидетельствует о стабильном качестве клеевых соединений. Следует отметить, что прочность обоих типов соединений оценивается как достаточно высокая, т. е. соединения пригодны для изготовления изделий из склеенных по длине заготовок.

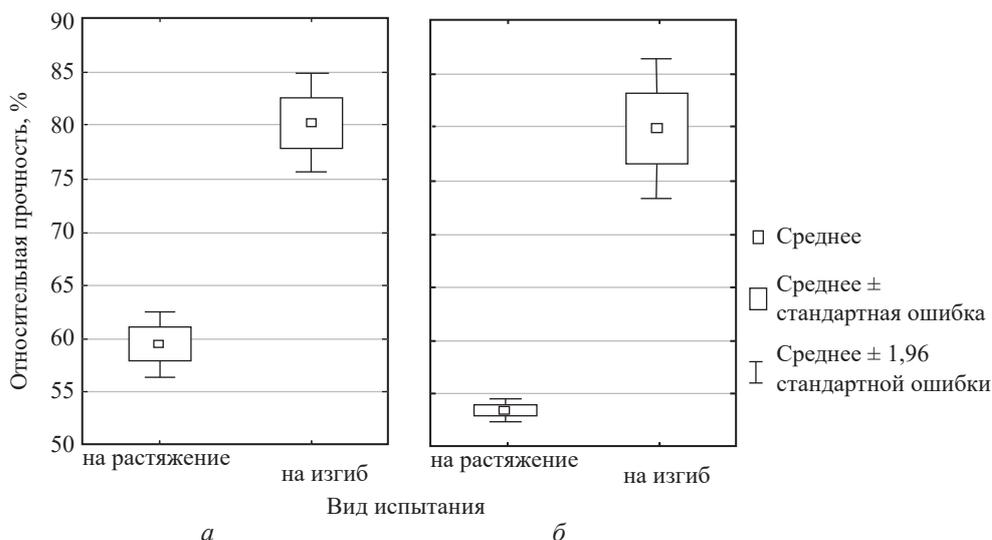


Рис. 7. Категоризированная диаграмма размаха для 4 групп, отличающихся видом испытания и типом соединения: *а* – тип А; *б* – тип Б

Fig. 7. Labeled box plot for 4 groups differing in the test type and joint type: *a* – type A; *b* – type B

Более высокая прочность на растяжение отмечена у соединения типа А с меньшими размерами шипов. В число возможных причин этого явления могут входить меньшие размеры деформированной зоны древесины под дном проушины (см. рис. 2, б). Этот уплотненный участок («пробка» из деформированной древесины [15, 23]) сходен по своему влиянию на прочность с сучками в пиломатериалах из массива древесины. Известно, что наличие сучков снижает прочность пиломатериалов до 60...75 %, а с увеличением размеров сучков возрастает их влияние на прочность [2]. Рост размеров деформированных зон под дном проушин может снижать прочность соединений подобным образом, поэтому меньшие размеры шипов могут быть более предпочтительны с точки зрения повышения прочности соединений. Проверка данной гипотезы является предметом дальнейших исследований. Другим требующим проверки фактором, влияющим на прочность, может быть площадь клеевого шва [13, 14, 38, 39], которая для соединения типа А будет больше. Кроме того, мелкие шипы выглядят более эстетично. Таким образом, в задачи дальнейших исследований входит изучение закономерностей поведения под нагрузкой соединений с мелкими (толщиной порядка 2 мм, длиной 10 мм) шипами.

Выводы

1. Установлена относительная прочность соединений типа А (на растяжение – 59,5 % (с доверительной вероятностью 95 % лежит в интервале 55,8...63,2 %), на изгиб – 80,7 % (75,1...86,2 %)) и типа Б – соответственно 53,2 % (52,0...54,5 %) и 79,8 % (71,9...87,7 %). Результаты испытаний колеблются в сравнительно узком диапазоне, что свидетельствует о стабильном качестве клеевых соединений на прямоугольные прессованные шипы.

2. Среди исследованных типов соединений, отличающихся геометрическими параметрами шипов, не выявлено существенного различия по степени

влияния на прочность, особенно при испытании на изгиб, но установлено существенное различие в прочности в зависимости от вида испытаний. Средняя прочность на растяжение может быть с достаточной достоверностью охарактеризована средним для двух типов соединений значением 56,4 %, при изгибе – 80,2 %.

3. Полученные результаты подтверждают возможность использования соединений на прямоугольные прессованные шипы для изготовления изделий, поскольку прочность этих соединений удовлетворяет требованиям стандартов.

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.].

2. 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.].

3. ГОСТ 15613.4–78. Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности зубчатых клеевых соединений при статическом изгибе. М.: Изд-во стандартов, 1999. 7 с. [GOST 15613.4–78. *Glued Massive Wood. Methods for Determining the Ultimate Strength of Serrate Glued Joints in Static Bending*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1999. 7 p.].

4. ГОСТ 15613.5–79. Древесина клееная массивная. Метод определения предела прочности зубчатых клеевых соединений при растяжении. М.: Изд-во стандартов, 1999. 7 с. [GOST 15613.5–79. *Glued Massive Wood. Method for Determination of Ultimate Tensile Strength of Finger Glued Joints*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1999. 7 p.].

5. ГОСТ 16483.23–73. Древесина. Метод определения предела прочности при растяжении вдоль волокон. М.: Изд-во стандартов, 1999. 4 с. [GOST 16483.23–73. *Wood. Method for Determination of Ultimate Strength in Tension along the Grain*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1999. 4 p.].

6. ГОСТ 16483.3–84 (СТ СЭВ 390–76). Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе. М.: Изд-во стандартов, 1999. 7 с. [GOST 16483.3–84 (ST SEV 390–76). *Wood. Method of Static Bending Strength Determination*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1999. 7 p.].

7. ГОСТ 16588–91 (ИСО 4470–81). Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности. М.: Стандартиформ, 2009. 6 с. [GOST 16588–91 (ISO 4470–81). *Sawn Products and Wooden Details. Methods for Determining Moisture Content*. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 6 p.].

8. ГОСТ 20850–2014. Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2015. 18 с. [GOST 20850–2014. *Wooden Glued Load Bearing Structures. General Specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 18 p.].

9. ГОСТ 24700–99. Блоки оконные деревянные со стеклопакетами. Технические условия. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000. 55 с. [GOST 24700–99. *Windows of Wood with Glassing Units. Specifications*. Moscow, Gosstroy Rossii, GUP TsPP Publ., 2000. 55 p.].

10. ГОСТ 30972–2002. Заготовки и детали деревянные клееные для оконных и дверных блоков. Технические условия. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. 30 с. [GOST 30972–2002. *Glue Wood Billets and Details for Windows and Doors. Specifications*. Moscow, Gosstroy Rossii, GUP TsPP Publ., 2003. 30 p.].

11. ГОСТ 33080–2014. Конструкции деревянные. Классы прочности конструкционных пиломатериалов и методы их определения. М.: Стандартиформ, 2015. 14 с. [GOST 33080–2014. *Timber Structures. Strength Classes of Structural Sawn Timber and Methods of Its Determination*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 14 p.].

12. ГОСТ 33081–2014. Конструкции деревянные клееные несущие. Классы прочности элементов конструкций и методы их определения. М.: Стандартинформ, 2015. 10 с. [*GOST 33081–2014. Wooden Glued Bearing Structures. Strength Classes of Structures Elements and Methods for Its Determination*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 10 p.].
13. Жуков В.П. Технология склеивания древесины. Воронеж: ВГЛТИ, 1981. 79 с. [Zhukov V.P. *Wood Gluing Technology*. Voronezh, VGLTI Publ., 1981. 79 p.].
14. Патент 2741614 Российская Федерация. 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].
15. 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.].
16. 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. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2013, no. 4(12), pp. 126–133]. DOI: [10.12737/2191](https://doi.org/10.12737/2191)
17. 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.].
18. Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины. СПб.: СПбГУ, 1992. 168 с. [Chubinskiy A.N. *Formation of Adhesive Joints of Wood*. Saint Petersburg, SPbGU Publ., 1992. 168 p.].
19. Ahmad Z., Lum W.C., Lee S.H., Razlan M.A., Wan Mohamad W.H. Mechanical Properties of Finger Jointed Beams Fabricated from Eight Malaysian Hardwood Species. *Construction and Building Materials*, 2017, vol. 145, pp. 464–473. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2017.04.016](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.016)
20. Barboutis I., Vasileiou V. Strength of Finger-Jointed Beech Wood (*Fagus sylvatica*) Constructed with Small Finger Lengths and Bonded with PU and PVAC Adhesives. *PRO-Ligno*, 2013, vol. 9, iss. 4, pp. 359–364.
21. Biechele T., Chui Y.H., Gong M. Assessing Stiffness on Finger-Jointed Timber with Different Non-Destructive Testing Techniques. *The Future of Quality Control for Wood & Wood Products: Proceedings of the Final Conference of COST Action E53, Edinburgh, May 4–7, 2010*. Edinburgh, Edinburgh Napier University. 2010, pp. 522–528.
22. 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.
23. Hesselbach J., Hoffmeister H.-W., Looß T. Punching in Industrial Wood Machining: An Alternative Production Process to Drilling. *Production Engineering*, 2007, vol. 1, iss. 4, pp. 365–370. DOI: [10.1007/s11740-007-0061-5](https://doi.org/10.1007/s11740-007-0061-5)
24. Hu W., Guan H., Zhang J. Finite Element Analysis of Tensile Load Resistance of Mortise-and-Tenon Joints Considering Tenon Fit Effects. *Wood and Fiber Science*, 2018, vol. 50, no. 2, pp. 121–131.
25. Jakerst R.W. *Finger-Jointed Wood Products*. Research Paper FPL 382. Forest Products Laboratory. 1981. 26 p.
26. Khelifa M., Celzard A., Oudjene M., Ruelle J. Experimental and Numerical Analysis of CFRP-Strengthened Finger-Jointed Timber Beams. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2016, vol. 68, pp. 283–297. DOI: [10.1016/j.ijadhadh.2016.04.007](https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.04.007)
27. Kishan Kumar V.S., Sharma C.M., Gupta S. Compression and Flexural Properties of Finger Jointed Mango Wood Sections. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 2015, vol. 17, no. 1, pp. 151–160. DOI: [10.4067/s0718-221x2015005000015](https://doi.org/10.4067/s0718-221x2015005000015)

28. Konopka D., Gebhardt C., Kaliske M. Numerical Modelling of Wooden Structures. *Journal of Cultural Heritage*, 2017, vol. 27, pp. S93–S102. DOI: [10.1016/j.culher.2015.09.008](https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.09.008)
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. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2017.01.004](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., Ozcifci 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, no. 4, pp. 462–469.
32. Mackerle J. Finite Element Analyses in Wood Research: A Bibliography. *Wood Science and Technology*, 2005, vol. 39, no. 7, pp. 579–600. DOI: [10.1007/s00226-005-0026-9](https://doi.org/10.1007/s00226-005-0026-9)
33. Özçifçi 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, iss. 7, pp. 1543–1550. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2007.03.020](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 Finger-Jointing in Rubberwood Processing. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2009, vol. 67, iss. 2, pp. 241–242. DOI: [10.1007/s00107-008-0295-8](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, no. 4, pp. 66–73.
37. 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. DOI: [10.1016/j.ijadhadh.2014.03.007](https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2014.03.007)
38. Vrazel M., Sellers 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. 66–75.
39. Wilczyński A., Warmbier K. Effect of Joint Dimensions on Strength and Stiffness of Tenon Joints. *Folia Forestalia Polonica. Series B – Wood Science*, 2003, vol. 34, pp. 53–66.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF STRENGTH OF END JOINTS WITH RECTANGULAR PRESSED FINGERS

O.A. Rubleva¹, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [Q-7239-2017](https://orcid.org/0000-0003-0756-6130),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0756-6130>

A.G. Gorokhovskiy², Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [O-6030-2018](https://orcid.org/0000-0001-8847-8217),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8847-8217>

¹Vyatka State University, ul. Moskovskaya, 36, Kirov, 610000, Russian Federation;
e-mail: olga_ru@vyatsu.ru

²Ural State Forest Engineering University, ul. Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: goralegr@yandex.ru

End jointing of wooden blanks is widely distributed in the manufacture of wood products. The most commonly used splicing technology on finger joints with pointy fingers has a number of drawbacks, including the presence of waste and an expensive cutting tool. We proposed an alternative type of end jointing with multiple rectangular tenons made by pressing.

Commercialization of the new splicing method requires confirmation of its high quality. The main quality indicator of adhesive joint is its strength. The aim of the study is an experimental evaluation of the bending strength and tensile strength of end joints with rectangular pressed fingers (case study of pine wood blanks). The joints of two types: A and B, with a pitch of 4.2 and 8.2 mm and depth of mortises of 10 and 20 mm, respectively, were studied. The strength of the samples was determined taking into account the requirements of the Russian State Standards GOST 15613.4 and GOST 15613.5. In order to evaluate the quality of joints, we used the indicator “relative strength”; it is the ratio of the joint strength to the solid wood strength. Statistical processing was carried out both by data groups, and for each size and each test type separately. This allowed us to establish the average values of strength for each individual group of samples, as well as to obtain a statistically valid joint evaluation of some indicators. Joints of type A with small fingers showed better results in tensile strength (59.5 %) compared to joints of type B (53.2 %). No statistically significant effect of the joint type was revealed, when processing the results of bending tests in the studied range. Therefore, the average bending strength (80.2 %) characterizes both types of joints. Moreover, the strength of these two types of joints with sufficient reliability can be characterized by the average tensile strength (56.4 %). At the same time, both types of joints correspond in strength to the standard requirements to the products with adhesive end joints. The test results vary in a relatively narrow range, which indicates a stable quality of adhesive joints with rectangular fingers made by pressing. This study demonstrates the possibility of using rectangular pressed fingers for the manufacture of joints based on them.

For citation: 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. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-128-142

Keywords: finger joints, splicing, rectangular finger, wood pressing, bond strength of a joint.

Поступила 06.06.19 / Received on June 6, 2019
