

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 4 / 2024, Vol. 16, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/47SAVN424.pdf>

DOI: 10.15862/47SAVN424 (<https://doi.org/10.15862/47SAVN424>)

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)

2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Москалев, М. Б. Экспериментальные исследования узла «Сила» / М. Б. Москалев // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/47SAVN424.pdf> DOI: 10.15862/47SAVN424

For citation:

Moskalev M.B. Experimental studies of the «Sila» node. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(4): 47SAVN424. Available at: <https://esj.today/PDF/47SAVN424.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/47SAVN424

УДК 694.141.2

Москалев Михаил Борисович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия
Доцент кафедры «Металлических и деревянных конструкций»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: cosccc@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7810-6484>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=821085

Экспериментальные исследования узла «Сила»

Аннотация. В данной статье рассматриваются проблемы усушки древесины и связанные с этим деформации, приводящие к появлению трещин в срубных постройках. Особое внимание уделяется деформациям в домах из оцилиндрованного бруса. Эти деформации возникают из-за неравномерного изменения геометрии древесины при её высыхании, что приводит к высоким напряжениям и продольным трещинам. Для минимизации этих деформаций предложены различные методы, включая использование пружинных силовых компенсаторов типа узла «Сила».

Статья описывает экспериментальные исследования, проведенные с целью оценки несущей способности данных узлов. Эксперименты включали испытания на выдергивание и вдавливание, проведенные в лаборатории СПбГАСУ. Полученные результаты показали, что среднее разрушающее усилие для ПСК на выдергивание составило 2 267 кН, что значительно превышает теоретические значения по действующим нормам. При испытании на вдавливание среднее максимальное усилие составило 364 695 Н, что примерно на 10 % выше теоретических расчетов.

Авторы приходят к выводу о возможности повышения несущей способности ПСК путем использования более жестких пружин. В статье также приводится подробное обсуждение методик и результатов испытаний, анализируются причины расхождения экспериментальных данных с теоретическими расчетами. Теоретические обоснования и экспериментальные данные делают эту статью полезной для профессионалов в области деревянного строительства и инженерии, а также для тех, кто занимается разработкой и внедрением новых строительных технологий. Указанные данные и методы обеспечивают надёжное и долговечное соединение бревен, снижая вероятность появления трещин и улучшая эксплуатационные характеристики срубных конструкций.

Ключевые слова: влажность; влагопроводность; эксплуатация деревянных конструкций; влагосодержание; деревянные конструкции; пружинный силовой компенсатор; регулирование напряжений в древесине

Введение

Исторически срубные постройки были одним из первых типов здания. В связи с невысокой себестоимостью древесины в нашей стране они до сих пор достаточно распространены. Однако их особенностью является то, что древесина при сушке от естественной влажности до эксплуатационной влажности в 12 % изменяет свою геометрию неравномерно во всех направлениях [1], а больше всего в тангенциальном, направлении, меньше в радиальном, и еще меньше в продольном направлении. Это приводит к появлению высоких напряжений и как следствие к продольным трещинам. Также данное явление особо актуально в домах из оцилиндрованного бруса. В ходе оцилиндровки из бревна вырезается значительная его часть и смещается ось бревна, из-за чего при дальнейшей усушке с учетом анизотропии древесины¹, происходит коробление [2]. Большое влияние на данный процесс оказывают внутренние напряжения в древесине. Есть много способов избежать данных трещин или минимизировать их последствия. Испокон веков данные трещины заделывают различными материалами типа пакли.

Также известен способ управлению данными усушечными деформациями и напряжениями с помощью различных пружинных компенсаторов (ПСК) типа узла «Сила».² В области внутренних напряжений древесины работали такие ученые, как Глухих В.Н. [3], Лехницкий С.Г. [4], Кузнецов А.И. [5]. За рубежом по данной теме работали такие ученые как Llinen A. [6], Kübler H., Boyd J.D., Brown W.H. Данные ПСК следует отнести к управляемым конструкциям [7].

Более совершенным способом компенсации деформаций в бревенчатой стене являются различные силовые компенсаторы, одним из которых является узел «Сила», разработанный компанией «СИЛА-ЦЕНТР» в 2018 г.² Основная цель узла заключается в обеспечении надежного соединения бревен, минимизации трещин и компенсации усадочных деформаций, возникающих в процессе высыхания древесины.

Конструкция узла «Сила» включает в себя несколько ключевых элементов: мощный саморез, две шайбы чашеобразной формы, распорную пружину и стопорную шайбу. Саморез с неполной резьбой и шестигранной головкой обеспечивает основное крепление. Пружина служит для создания постоянного прижимного усилия, которое компенсирует изменения в геометрии древесины при ее высыхании.

Для установки узла «Сила» необходимо предварительно просверлить отверстие в месте монтажа. Затем устанавливается саморез, закрепленный с одной стороны фигурной шайбой, и натягивается пружина, создающая необходимое усилие на соединение. Конструкция обеспечивает равномерное распределение нагрузки и устойчивость соединения.

Основные преимущества использования узла «Сила» включают снижение вероятности появления трещин, уменьшение количества требуемых крепежных элементов и повышение общей прочности конструкции. Экспериментальные исследования показали, что данный узел

¹ Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е.К. Ашкенази, под ред. Л. Промышленность, Москва: 1978.

² Патент РФ № 2018113182, 11.04.2018. Пружинный узел сила для сборки деревянных строений и конструкций // Патент России № 180 363 U1: МПК F16B 31/04. Бюл. № 16. / Гимадетдинов Р.А., Ненашев С.В.

может значительно увеличить несущую способность соединений, что делает его эффективным решением для современной деревянной архитектуры и строительства.

Технические характеристики узла могут быть изменены для улучшения его свойств: варьируется диаметр стержня, форма и размеры пружины, а также материал, из которого изготовлена пружина. Эти изменения позволяют адаптировать узел под различные условия эксплуатации и требования к конструкции. На данный момент есть рекомендации [8] по расстановке данных крепежных элементов, они задают достаточно невысокое допустимое усилие сжатие от одного элемента (2,0 кН) что приводит к большому перерасходу материала в виде большого требуемого количества данных узлов. Отсюда появилось идея провести экспериментальное исследование с целью понять, можно ли увеличить несущую способность данных узлов. Испытание проводилось на вдавливание ПСК и выдергивание ПСК из древесины. Испытание по пружине не проводилось, потому что на взгляд автора пружину относительно легко заменить на более жесткую, по сравнению с общей геометрией ПСК [9; 10].

Методы

Для испытания использовался узел «Сила» (рис. 1), который представляет собой мощный саморез и пружину, закрепленные с двух стороны фигурными шайбами. Перед установкой данного узла просверливается отверстие в месте установки.



Рисунок 1. Узел «Сила» (фото автора)

Испытание проводилось в лаборатории СПбГАСУ при температуре 20°C 25 апреля 2024 года.

Испытание состоит из двух частей: испытание на выдергивание и испытание на вдавливание.

Схему испытания на выдергивание смотреть на рисунке 2.

Испытание ПСК на выдергивание производилось с помощью измерителя прочности ПОС-МГ4 производства ООО «Специальное конструкторское бюро Стройприбор» (диапазон измерения силы от 5 до 60 кН, погрешность $\pm 2\%$).

Измеритель прочности ПОС-МГ4, разработанный ООО «Специальное конструкторское бюро Стройприбор», представляет собой специализированное устройство для измерения прочности различных материалов. Прибор используется в строительстве, машиностроении и других отраслях, где необходим контроль качества и надежности конструкций.

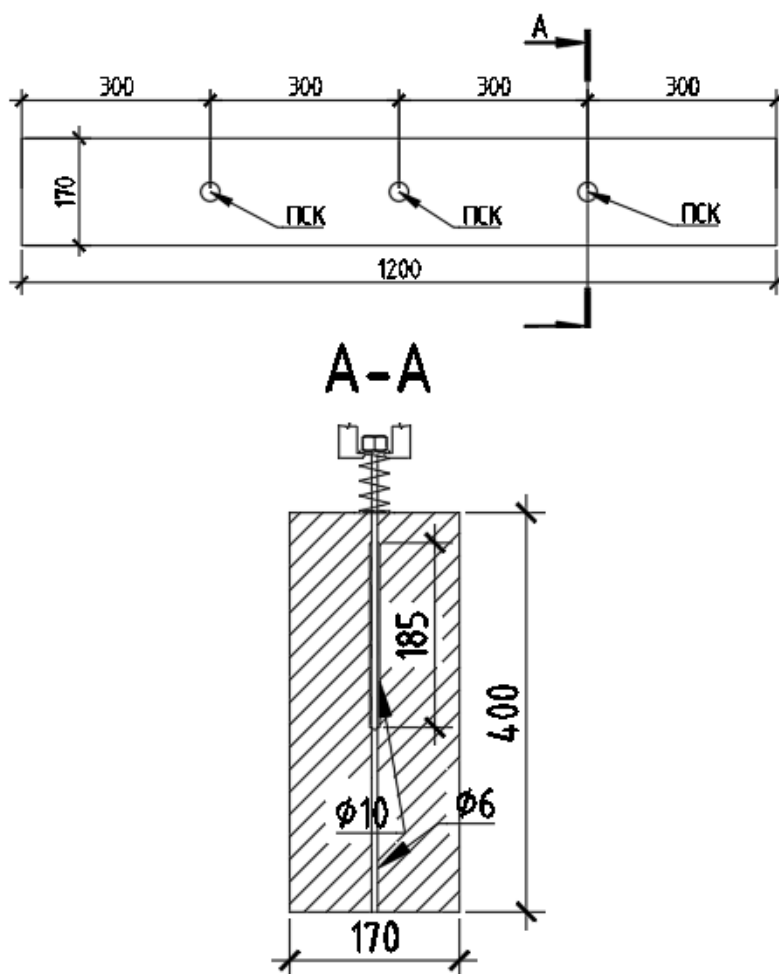


Рисунок 2. Схема испытания на выдергивание (разработано автором)

ПОС-МГ4 оснащен высокоточным датчиком, позволяющим измерять усилия в диапазоне от 5 до 60 кН с погрешностью $\pm 2\%$. Устройство состоит из прочного корпуса, цифрового дисплея для отображения результатов, и системы управления, которая позволяет настроить параметры измерений в соответствии с требуемыми условиями. Для повышения удобства работы прибор может быть оснащен дополнительными аксессуарами, такими как сменные насадки и адаптеры.

Прибор ПОС-МГ4 используется для проведения испытаний на выдергивание и сжатие, что особенно важно при проверке соединительных элементов, таких как болты, шурупы и другие крепежные детали. Он обеспечивает точные и надежные данные, что позволяет принимать обоснованные решения по качеству материалов и конструкций.

ПСК был закручен в брус, склеенный из отдельных досок. Размер бруса для испытаний 170 на 400 мм, длиной 1 200 мм (рис. 3). Материал — сосна. Для статистики было закручено 3 ПСК с шагом 300 мм в соответствии с рисунком 3. Диаметр ПСК 10 мм. Длина резьбовой части 185 мм, высота резьбы 2 мм. Перед вкручиванием каждого ПСК с помощью сверла было просверлено отверстие диаметром 6 мм, глубиной 400 мм.

Испытание на вдавливание образца проводилось в той же лаборатории 26 апреля 2024 года при температуре 20°C.

Испытание на вдавливание проводилось на универсальной электромеханической машине Instron-5969, 50 кН (5 т) производства США, 2014. Эта машина используется для тестирования материалов на растяжение, сжатие, изгиб и другие виды механических нагрузок.

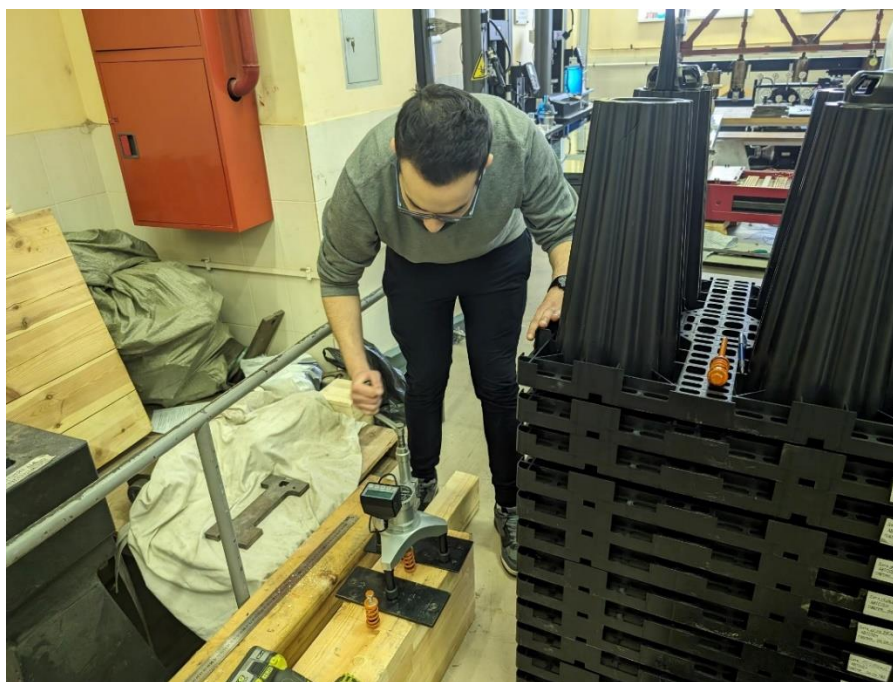


Рисунок 3. Проведение испытаний на выдергивание (фото автора)

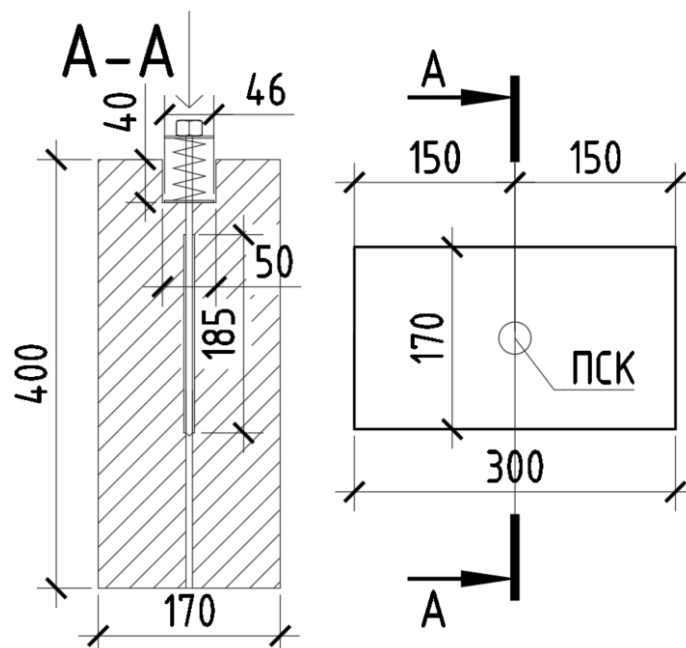


Рисунок 4. Схема испытания на вдавливание (разработано автором)

Instron-5969 оснащена цифровой системой управления и программным обеспечением Bluehill, которое позволяет автоматически записывать и анализировать результаты испытаний. Высокая точность и повторяемость измерений обеспечиваются за счет применения современных датчиков и надежной конструкции машины.

Машина имеет двухколонную раму, что обеспечивает устойчивость и возможность проведения испытаний на образцах различной длины и размеров. Благодаря модульной конструкции, Instron-5969 может быть легко адаптирована для различных типов испытаний, что делает её универсальным инструментом в лабораториях и исследовательских центрах.

Схему проведения испытаний смотреть на рисунке 4.

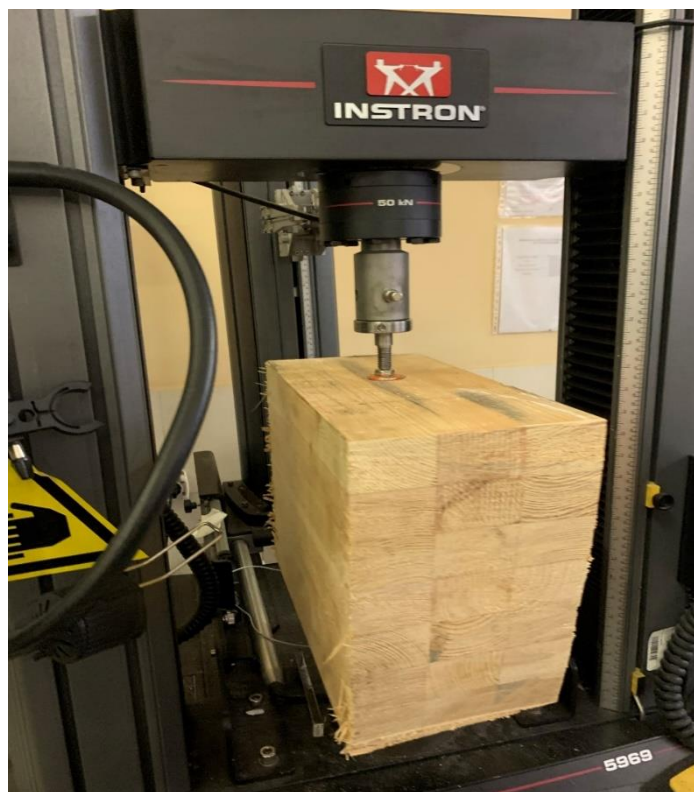


Рисунок 5. Проведение испытания (фото автора)

При испытании использовался аналогичный ПСК с резьбовой частью 185 мм. Под головку ПСК для имитации реальной работы делалась выборка сверлом диаметром 40 мм глубиной 40 мм. ПСК вкручивался в бруски из клееного бруса размерами 300×170×400 мм. Перед вкручиванием ПСК просверливалось отверстие диаметром 6 мм и глубиной 400 мм (рис. 5).

Результаты

При испытании на выдергивание усилие создавалось вращением рукоятки (рис. 3). После достижения разрушающего усилия на шкале прибора фиксировалось максимально достигнутое усилие (рис. 6).



Рисунок 6. Снятие показаний (фото автора)

По итогам выполненной серии из 3 испытания были получены следующие данные:

Таблица 1

Результаты испытаний ПСК на выдергивание

№ испытания	Разрушающее усилие, кН
1	19,02
2	24,25
3	24,75
Среднее значение	22,67

Составлено автором

Также была выполнена статистическая обработка и получено среднее значение, которое составило 22,67 кН.



Рисунок 7. Подготовка образца к испытаниям на вдавливание (фото автора)



Рисунок 8. Разрушение образца после проведения испытания (фото автора)

При испытании на вдавливание усилие создавалось давлением испытательной универсальной электромеханической машины Instron-5969. Испытание проводилось до разрушения образца (рис. 7, 8). В ходе испытания был автоматически построен график нагрузки от перемещения (рис. 9), также по полученным данным автором была построена таблица максимальных нагрузок и максимальных перемещений (табл. 2).

Образцы с 1 по 3

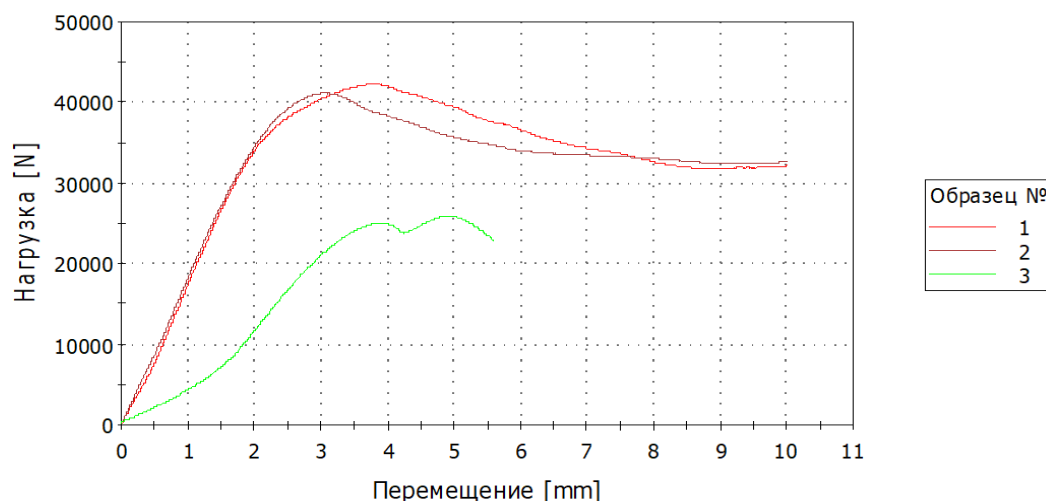


Рисунок 9. График зависимости нагрузки от перемещения при испытании (фото автора)

Таблица 2

Результаты испытаний ПСК на выдергивание

№ испытания	Разрушающее усилие, Н	Перемещение при Максимум Нагрузка, мм
1	42 306,68750	3,81112
2	41 139,63281	3,06179
3	25 962,19727	4,92099
Среднее	36 469,5	3,93

Составлено автором

Обсуждение

Для анализа полученных значений при испытании на выдергивание найдем теоретические значения в соответствии с действующим нормами³:

$$T_{в.ш} = R_{в.ш} \cdot \pi d l_1 \sum m_i. \quad (1)$$

Где $R_{в.ш} = 1 \text{ МПа}$ — расчетное сопротивление выдергиванию шурупа на единицу поверхности соприкасания нарезной части шурупа с древесиной, которое принимаем 1 МПа, как для воздушно-сухой древесины с учетом коэффициентов условий эксплуатации⁴; $d = 10 \text{ мм}$ — наружный диаметр нарезной части; $l_1 = 185 \text{ мм}$ — длина нарезной части шурупа, сопротивляющаяся выдергиванию; $\sum m_i = 1$ — в соответствии с нормами.⁵

³ Акт министерств и ведомств "СП 64.13330.2017 "СНиП II-25-80 Деревянные конструкции" от 24.02.2017 № 129/пр // Собрание законодательства Российской Федерации. 2017 г. — п. 8.31.

⁴ Акт министерств и ведомств "СП 64.13330.2017 "СНиП II-25-80 Деревянные конструкции" от 24.02.2017 № 129/пр // Собрание законодательства Российской Федерации. 2017 г. — п. 6.9 и табл. 4.

⁵ Акт министерств и ведомств "СП 64.13330.2017 "СНиП II-25-80 Деревянные конструкции" от 24.02.2017 № 129/пр // Собрание законодательства Российской Федерации. 2017 г. — п. 6.1.

После подстановки всех вышеприведенных величин в выражение (1) получается следующее значение:

$$T_{в.ш} = 1 \text{ МПа} \cdot 10 \text{ мм} \cdot 185 \text{ мм} \cdot 1 = 5,812 \text{ кН}. \quad (2)$$

Что существенно меньше полученных экспериментальных значений. Это может быть следствием больших коэффициентов запаса по существующим нормам.

Для анализа полученных значений при испытании на вдавливании найдем теоретическое значение максимального вдавливающего усилия $F_{вд}$ в соответствии с действующими нормами. Данное значение складывается из суммы максимального усилия на вдавливание нарезной части F_n и максимального усилия для вдавливания шайбы $F_{ш}$. Максимальное усилие на вдавливание нарезной части можно принять по выражению (2) равным $T_{в.ш}$. Максимальное усилие для вдавливания шайбы $F_{ш}$ найдем в соответствии с действующими нормами⁶:

$$F_{ш} = d^2 \cdot \pi \cdot \sigma_{см} = 29,914 \text{ кН}. \quad (3)$$

Где $d = 46 \text{ мм}$ — диаметр шайбы; $\sigma_{см} = 4,5 \text{ МПа}$ — расчетное сопротивление на смятие поперек волокон в опорных частях конструкций.

$$F_{вд} = F_n + F_{ш} = 29,914 \text{ кН} + 5,812 \text{ кН} = 35,726 \text{ кН}. \quad (4)$$

Где $d = 32 \text{ мм}$ — диаметр шайбы.

Полученное теоретическое значение максимального вдавливающего усилия примерно на 10 % меньше среднего экспериментального значения. При этом одно из полученных экспериментальным путем значений (25,9 кН) меньше теоретического значения, что недопустимо с точки зрения эксплуатации конструкции.

Заключение

На практике самым важным для ПСК является максимальное выдергивающее усилие из древесины. На вдавливание данный узел в ходе эксплуатации конструкции практически не работает. Что касается используемой пружины, то тут целесообразно провести дополнительные исследования более жестких пружин. Как показали проведенные исследования, рекомендуемая величина выдергивающего усилия одного ПСК (2 кН) сильно занижена, что приводит к перерасходу ПСК и слишком маленькому шагу их расстановки. Из приведенных исследований, средняя несущая способность данного ПСК составила 22 кН, автор считает с учетом коэффициента запаса целесообразным взять число ближе к 15 кН.

Подводя итог проведенным исследованиям, стоит сказать о том, что есть значительные резервы повышения несущей способности ПСК типа узла «Сила» при условии применения более жестких пружин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глухих В.Н. Анизотропия коэффициента усушки и постоянных упругости древесины поперек волокон // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2005. (176). С. 126–135.

⁶ Акт министерств и ведомств "СП 64.13330.2017 "СНиП II-25-80 Деревянные конструкции" от 24.02.2017 № 129/пр // Собрание законодательства Российской Федерации. 2017 г. — табл. 3.

2. Мамедов, Ш.М. Анализ усилий, приводящих к кривизне и выпучиванию брёвен в деревянном домостроении / Ш.М. Мамедов, Ш.М. Мамедов, Д.В. Нижегородцев, А.В. Галяутдинов // Научный аспект 2020. — Т. 6, № 3. — С. 841–850.
3. Глухих В.Н. Начальные напряжения / В.Н. Глухих, А.Л. Акопян // Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2016. 116 с.
4. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела / Лехницкий С.Г. // Москва: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука» 1977. 416 с.
5. Кузнецов А.И. Внутренние напряжения в древесине. / Кузнецов А.И. // Москва; Ленинград: изд-во и тип. Гослесбумиздата. 1950. 59 с.
6. A. Jlinen. Uber die mechanische Schaltformtheorie der Baume [О механической теории формы переключения деревьев] / Jlinen A. / Technic Hochschule in Finnland, Helsinki [Технический колледж в Финляндии, Хельсинки] 1952 — № 6 — 51 с.
7. Абовский Н.П. [и др.]. Некоторые принципы конструктивной безопасности и примеры их реализации // Известия орловского государственного технического университета. серия: строительство и транспорт. 2007. (2–14). С. 146–150.
8. Галяутдинов А.В. Разработка методики расчета и расстановки пружинных силовых компенсаторов в срубовых конструкциях деревянного домостроения / А.В. Галяутдинов // Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2021. 168 с.
9. Шубин Г.С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины / Шубин Г.С. // Москва: Лесная пром-сть, 1973. 248 с.
10. Терещенко, В.П. Сушка древесины и внутренние напряжения при сушке / В.П. Терещенко // Молодой ученый. — 2022. — № 27(422). — С. 49–51.

Moskalev Mihail Borisovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

E-mail: cosccc@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7810-6484>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=821085

Experimental studies of the «Sila» node

Abstract. This article addresses the issues of wood shrinkage and the associated deformations that lead to cracks in log structures. Special attention is given to deformations in houses made of rounded logs. These deformations occur due to uneven changes in the geometry of the wood during drying, leading to high stresses and longitudinal cracks. Various methods are proposed to minimize these deformations, including the use of spring-loaded compensators like the «Sila» node.

The article describes experimental studies conducted to assess the load-bearing capacity of these nodes. The experiments included pull-out and compression tests conducted in the laboratory of SPbGASU. The results showed that the average destructive force for the pull-out test was 2 267 kN, significantly exceeding theoretical values according to current standards. In the compression test, the average maximum force was 364 695 N, approximately 10 % higher than theoretical calculations.

The authors conclude that it is possible to increase the load-bearing capacity of these nodes by using stiffer springs. The article also provides a detailed discussion of the methodologies and results of the tests, analyzing the reasons for discrepancies between experimental data and theoretical calculations. Theoretical justifications and experimental data make this article useful for professionals in the field of wooden construction and engineering, as well as for those involved in the development and implementation of new construction technologies. The provided data and methods ensure reliable and durable log connections, reducing the likelihood of cracks and improving the operational characteristics of log structures.

Keywords: humidity; hydraulic conductivity; operation of wooden structures; moisture content; wooden structures; spring-loaded compensators; regulation of stress in wood