

М.Ю. ТРОШИН¹, А.В. ТУРКОВ¹, А.В. ЗАЕВ¹¹ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия

ВЛИЯНИЕ ШАГА ДОСОК В ПОПЕРЕЧНОМ СЛОЕ НА ДЕФОРМАТИВНОСТЬ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРЕХСЛОЙНОЙ CLT-ПАНЕЛИ, ЖЕСТКО ЗАЩЕМЛЕННОЙ С ДВУХ СТОРОН

Аннотация. Плиты из древесины перекрестно клееной, или CLT-панели, изготавливаются путем склеивания накрест нескольких слоев досок, что обеспечивает их высокой несущей способностью и устойчивостью на изгиб. Помимо количества слоев в панели, на деформативность и несущую способность оказывают влияние геометрические параметры плиты, состав и способ крепления слоев друг к другу, способ опирания конструкции и т.д. Ввиду того, что материал не так давно стал применяться в строительстве, многие вопросы остаются малоизученными, а потому существует возможность и необходимость оптимизировать некоторые аспекты как в самих CLT-панелях, так и в способе их взаимодействия с другими строительными конструкциями. В настоящей статье было изучено влияние шага досок в поперечном слое на деформативность и распределение напряжений в трехслойной CLT-панели, жестко защемленной с двух сторон. Были проведены численные исследования методом конечных элементов (МКЭ) с использованием вычислительного комплекса SCAD+. Расчетная модель плиты в настоящем исследовании представляет собой составную ортотропную пластину с жесткими связями между слоями. Результатом исследования являются числовые данные, отражающие зависимость распределения нормальных напряжений OX и OY и поперечной деформации плиты от шага ламелей (досок) в поперечном слое. Также получены проекции расчётной модели с изополями нормальных напряжений на растянутом и сжатом слое плиты. Это позволяет выделить общие закономерности распределения напряжений и изменения деформаций при вариации геометрических параметров при данном виде опирания для использования их при проектировании строительных конструкций с применением плит из древесины перекрестно клееной, или CLT-панелей, а также при оптимизации конструкции с целью увеличения эффективности затрат ресурсов.

Ключевые слова: деревянные конструкции, CLT-панели, древесина, распределение напряжений, прогиб, составные пластины.

M.YU. TROSHIN¹, A.V. TURKOV¹, A.V. ZAEV¹¹Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol, Russia

THE EFFECT OF THE PITCH OF THE BOARDS IN THE TRANSVERSE LAYER ON THE DEFORMABILITY AND STRESS DISTRIBUTION IN A THREE-LAYER CLT PANEL RIGIDLY CLAMPED ON BOTH SIDES

Abstract. CLT panels are made by gluing several layers of boards crosswise, which provides them with high load-bearing capacity and bending resistance. In addition to the number of layers in the panel, the deformability and bearing capacity are influenced by the geometric parameters of the plate, the way the layers are attached to each other, the way the structure is supported, etc. Due to the fact that the material has recently been used in construction, many issues remain poorly understood, and therefore there is an opportunity and need to optimize some aspects both in the CLT panels themselves and in the way they interact with other building structures.

In this article, the influence of the pitch of boards in the transverse layer on the deformability and stress distribution in a three-layer CLT panel rigidly pinched on both sides was studied. Numerical studies of the finite element method (FEM) were carried out using the computing complex SCAD+. The computational model of the plate in this study is a composite orthotropic plate with rigid connections between the layers. The result of the study is numerical data reflecting the dependence of the distribution of normal stresses O_X and O_Y and the transverse deformation of the plate on the pitch of the lamellae (boards) in the bottom layer. Projections of the computational model with normal stress isofields on the stretched and compressed plate layer are also obtained. This makes it possible to identify general patterns of stress distribution and deformation changes with variations in geometric parameters for this type of support for their use in the design of building structures using CLT panels as well as in the optimization of the structure in order to increase the cost efficiency of resources.

Keywords: *timber structures, CLT panels, timber, stress distribution, deflection, composite plates*

Введение

Плиты из древесины перекрестно клееной, или CLT-панели, изготавливаются путем склеивания перекрёстно нескольких слоев досок, что обеспечивает их высокую несущую способность при изгибе за счет выраженных анизотропных свойств отдельных слоев и их взаимным расположением [1].

Строительные конструкции с применением плит из древесины перекрестно клееной стали применяться с середины 1990-х в странах западной Европы. Несмотря на это, такие плиты пока не стали широко распространёнными, а ввиду анизотропных свойств и многослойности создается большое количество конструктивных решений самих плит и их креплений к другим конструкциям. В связи с этим, существует необходимость изучения влияния различных видов опирания и изменений в слоях CLT-панели на деформативность и распределение напряжений в плите.

Ранее авторами проводились исследования плит из древесины перекрестно-клееной на деформативность и несущую способность с помощью вычислений с использованием метода конечных элементов (МКЭ), произведенных в SCAD+ [2-4]. В данных расчетах конструкция была смоделирована из объемных конечных элементов. В настоящей статье была смоделирована расчетная схема в виде ортотропной составной пластины, основываясь на исследованиях А.Р. Ржаницына [5]. Также в работах различных авторов изучались соединения [6], нагружения [7-8] и методы расчета [9-14] CLT-панелей.

Целью исследования является оценка влияния шага в поперечном слое плиты, жестко защемленной с двух сторон на распределение напряжений и деформативность в слоях. Результаты исследования позволяют выделить общие закономерности изменения поперечных деформаций и распределения нормальных напряжений в продольных и поперечном слоях трехслойной плиты из древесины перекрестно клееной, жестко защемленной с двух сторон, в зависимости от шага ламелей в поперечном слое.

Материалы и методы

Исследования были проведены в вычислительном комплексе SCAD+. Расчетная схема определена как составная пластина с ортотропными свойствами в перекрестных слоях. Для обеспечения высокой точности вычислений были выбраны пластинчатые КЭ размером 50x50 мм. Связи между слоями представляют собой стержни с очень высокой жесткостью $E_A = 5 \cdot 10^4$ кН во избежание их влияния на прогиб плиты и разделены на два вида: связи сдвига, препятствующие сдвигающим деформациям слоёв, и поперечные связи, не позволяющие сближаться или отдаляться слоям друг от друга. Общий вид КЭ в слоях составной пластинки представлен на рисунке 1.

Плиты жестко заделаны на опорах. Нагружение плиты задается равномерно-распределенной нагрузкой на верхний слой составной пластины равной 2,85 кН/м. Конструкция имеет длину 5890 мм и ширину 1140 мм. Ламели в слоях имеют ширину 190мм

и толщину 42 мм. Расчетная схема представляет собой статически неопределимую балку, изображенную на рисунке 2.

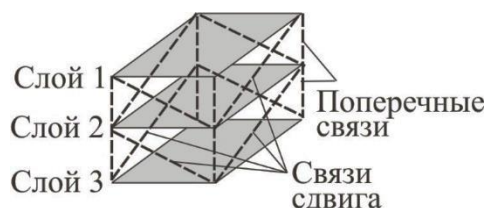


Рисунок 1 – Конечные элементы в слоях составной пластинки в трехслойной CLT-панели

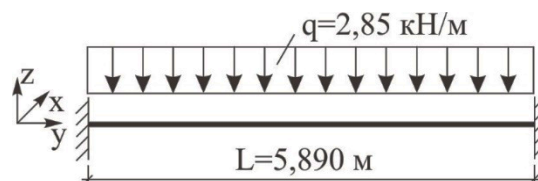


Рисунок 2 – Расчетная схема жестко защемленной CLT панели

CLT-панель является конструкцией с ортотропными свойствами слоёв, поэтому слоям составной пластинки назначены жесткости с различным значением модулей упругости вдоль осей ОХ и ОУ, модуля сдвига и коэффициентов Пуассона, числовые значения которых приняты в соответствии с нормативной документацией СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции»:

1) В продольном направлении: $E_x=4 \times 10^5$ кН/м², $E_y=1 \times 10^7$ кН/м², $G_{xy}=5 \times 10^5$ кН/м², $\nu_{xy}=0,45$, $\nu_{yx}=0,018$.

2) В поперечном направлении: $E_{x90}=1 \times 10^7$ кН/м², $E_{y90}=4 \times 10^5$ кН/м², $G_{xy90}=5 \times 10^5$ кН/м², $\nu_{xy90}=0,018$, $\nu_{yx90}=0,45$.

Результаты и обсуждение

Исследованы трехслойной плиты из перекрестной древесины с продольным расположением досок в наружных слоях (слои 1 и 3 по порядковому номеру) с шагом ламелей 0, 50, 100, 150 мм в поперечном слое (слой 2 по порядковому номеру). Был произведен линейный расчет с точностью контроля 10% в SCAD+, и полученные данные по максимальным прогибам, а также максимальным растягивающим и сжимающим нормальным напряжениям вдоль ОУ и ОХ. Значения вынесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Трехслойная плита из древесины перекрестно-клееной с изменяемым шагом ламелей в поперечном слое

Номера исследуемых слоев	Шаг в поперечном слое, мм	u, мм	$\sigma_{хрст.}$, кН/м ²	$\sigma_{хсжат.}$, кН/м ²	$\sigma_{урст.}$, кН/м ²	$\sigma_{усжат.}$, кН/м ²
1,3	0	-4,90	35,40	-35,40	1969,75	-1969,73
	50	-4,95	35,34	-34,55	1969,07	-1924,63
	100	-5,02	35,32	-36,08	1967,96	-2008,53
	150	-5,10	35,27	-34,41	1965,20	-1917,49
2	0	-4,90	29,02	-29,01	39,12	-39,13
	50	-4,95	28,72	-30,04	39,48	-42,19
	100	-5,02	29,66	-28,29	39,64	-35,75
	150	-5,10	33,26	-36,71	41,62	-65,41

По полученным данным построен график зависимости максимального прогиба плиты при изменении расстояния между досками в среднем (поперечном) слое (рисунок 3).

Так же построены графики зависимости растягивающих и сжимающих нормальных напряжений в слоях плиты при изменении шага досок. Анализ данной зависимости позволяет зафиксировать, каким образом распределяются напряжения в теле плиты. Графики изображены на рисунках 4-5.

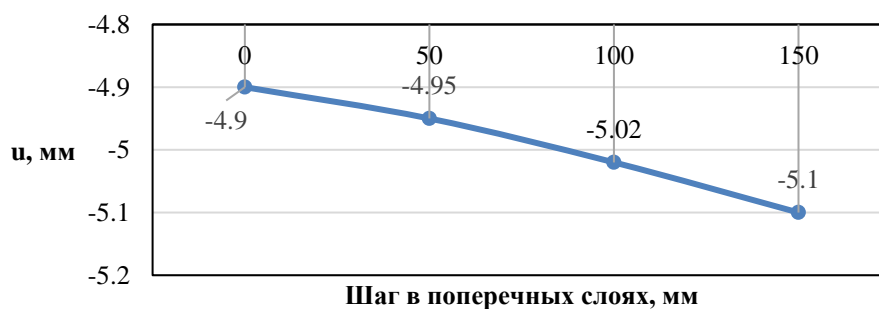


Рисунок 3 – Зависимость максимального прогиба от шага досок в поперечном слое CLT панели при жестком защемлении

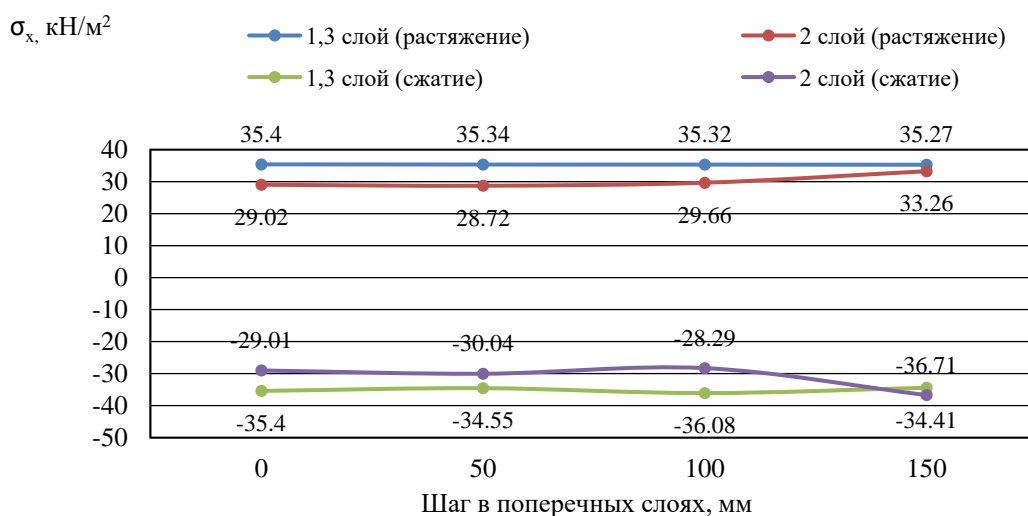


Рисунок 4 – Зависимость растягивающих и сжимающих нормальных напряжений σ_x от шага досок в поперечном слое

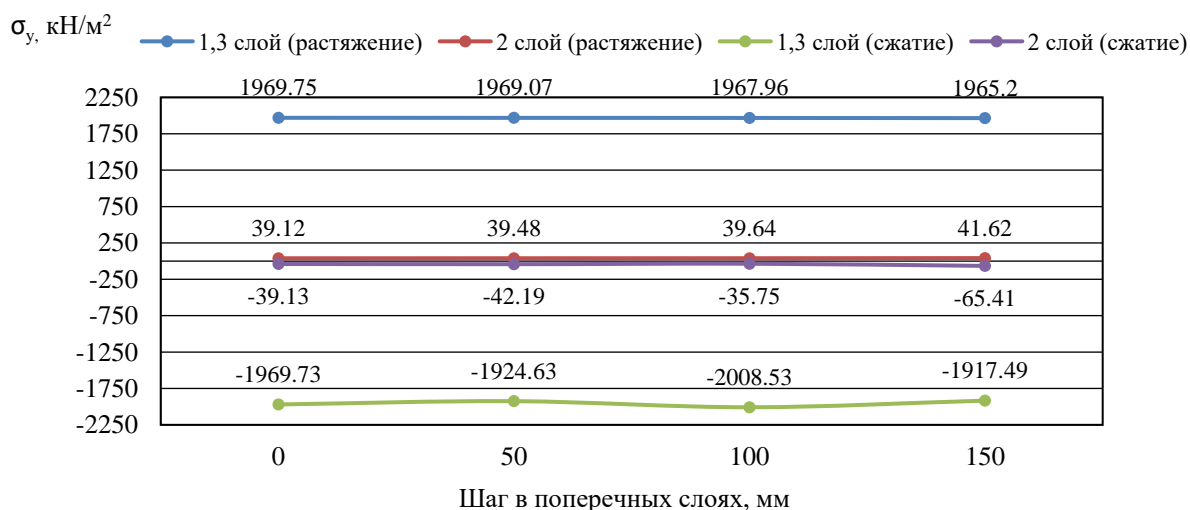


Рисунок 5 – Зависимость растягивающих и сжимающих нормальных напряжений σ_y от шага досок в поперечном слое

Для оценки распределения напряжений в слоях плиты с помощью программного комплекса SCAD+ были получены проекции на плоскость XOY с отображенными изополями напряжений. Ввиду того, что напряжения σ_y значительно выше напряжений σ_x , изополя получены только для σ_y на растянутом и сжатом слое (см. рисунок 6).

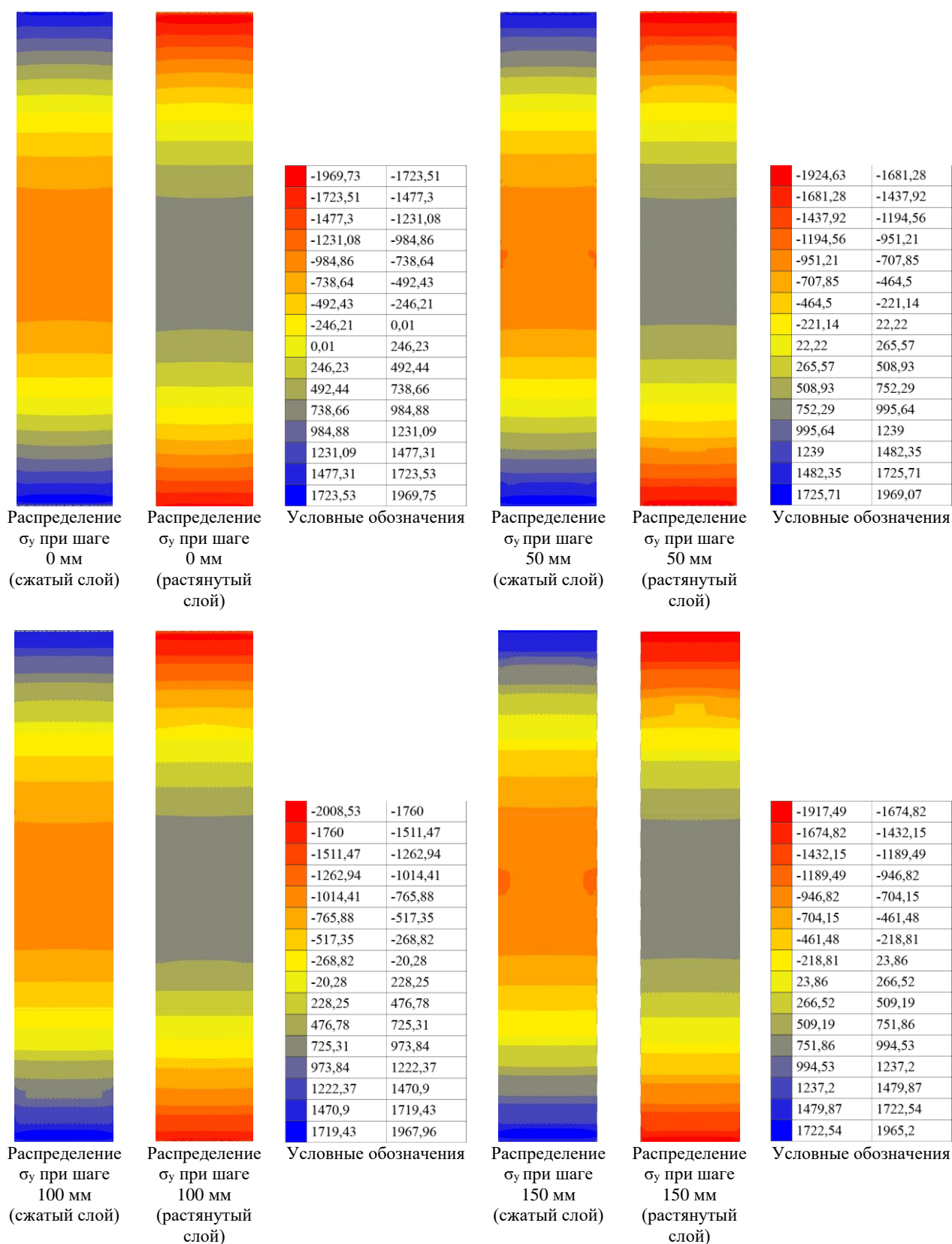


Рисунок 6 – Распределение нормальных напряжений σ_y в зависимости от шага досок в поперечном слое

Выводы

По результатам расчета трехслойной плиты из древесины перекрестно-клееной, смоделированной, жёстко защемленной с двух сторон, при действии статической равномерно-распределенной нагрузки выявлено, что:

- при увеличении расстояний между ламелями в поперечном слое величина прогибов плиты практически не изменялась. Это вызвано малым влиянием шага в среднем слое на момент инерции плиты, а, соответственно, на ее жесткость;
- наибольшие нормальные напряжения вдоль пролёта возникают в слоях с продольным расположением досок (наружные). При этом, шаг досок в среднем слое не оказывает существенного влияния ни на растягивающие, ни на сжимающие значения напряжений;
- при изменении шага досок в поперечном слое вид распределения нормальных напряжений вдоль пролёта практически не изменяется. При этом, наибольшие значения при данном виде опирания регистрируются ближе к опорам;
- нормальные напряжения вдоль пролёта возрастают в поперечном слое с увеличением шага досок, однако величина мала по сравнению с величиной в наружных слоях (разница в 30 раз);
- изменение шага в поперечном слое не оказывает значительного влияния на нормальные напряжения поперёк пролёта в слоях;
- распределение нормальных напряжений поперёк пролёта незначительно меняется с увеличением шага досок в поперечном слое. Максимальные значения при заделках на опорах так же, как и в случае с нормальными напряжениями вдоль пролёта, сосредоточены в месте защемления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. М.: Лесная промышленность, 1978. 224 с.
2. Трошин М.Ю., Турков А.В. Влияние шага поперечных слоев на деформативность и распределение напряжений в трехслойных плитах древесины перекрестно-клееной // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: VII Международная научно-практическая конференция, приуроченная к проведению в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий 24-25 ноября 2022 года – Омск, 2022 – С.515-519.
3. Трошин М.Ю., Турков А.В. Влияние толщины поперечных и продольных слоев на деформативность и распределение напряжений в трехслойных плитах древесины перекрестно-клееной // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 3. С. 391–400. <https://doi.org/doi:10.22227/1997-0935.2023.3.391-400>.
4. Трошин М.Ю., Турков А.В. Влияние шага поперечных слоев на деформативность и распределение напряжений в пятислойных плитах древесины перекрестно-клееной. Строительство и реконструкция. 2023;(3):35-41. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-107-3-35-41>.
5. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. – Москва: Стройиздат, 1986. – 316 с.
6. Yinlan Shen, Schneider Johannes, Stierner Siegfried F., Xueyong Ren. Failure Modes and Mechanical Properties of Bracket Anchor Connections for Cross-Laminated-Timber // MATEC Web of Conferences 275. 2019. Pp. 1-7. doi:10.1051/mateconf/201927501011.
7. Ioannis P. Christovasilis, Michele Brunetti, Maurizio Follesa, Michela Nocetti, Davide Vassallo. Evaluation of the Mechanical Properties of Cross Laminated Timber with Elementary Beam Theories compression // Engineering Structures. 2016. V. 122. Pp. 202-213. <https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.06.082>.
8. Бубис А.А., Гизятуллин И.Р., Хворова А.Н., Петров И.Ю. Особенности поведения древесины перекрёстно-клееной (ДПК/CLT) при статических и динамических нагрузках, моделирующих сейсмические воздействия // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2022. № 2. С. 62-80. <https://doi:10.37153/2618-9283-2022-2-62-80>.
9. Рогожина А.В. Расчет деформативности CLT-панели перекрытия // Инженерный вестник Дона. 2022. № 6. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_89_5_Rogozhina.pdf_10c4252bae.pdf (дата обращения: 30.11.2023).
10. Филимонов М.А., Смирнов П.Н. Исследования прочностных и упругих характеристик плит из

- древесины перекрестно-клееной (ДПК/CLT) Российского производства // Сейсмическое строительство. Безопасность сооружений. 2022. № 2. С. 81-97. <https://doi:10.37153/2618-9283-2022-2-81-97>.
11. Мамедов Ш.М., Шабикова Е.Г., Нижегородцев Д.В., Казакевич Т.Н. Методика расчета панелей из перекрестно-клееной древесины / Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5(82). С. 66-71. <https://doi:10.23968/1999-5571-2020-17-5-66-71>.
 12. Чебыкин А.А., Фрицлер Ю.А., Кудрявцев С.В. Определение расчетных характеристик сечений древесных клееных плит из перекрестных досок // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2017. № 2. С. 83-85. URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-raschetnyh-harakteristik-secheniy-drevesnyh-kleenyh-plit-iz-perekrestnyh-dosok/viewer> (дата обращения: 28.11.2023).
 13. Погорельцев А.А., Филимонов М.А., Смирнов П.Н. Определение прочностных и упругих характеристик древесины перекрестно клееной (ДПК/CLT) и классификация по классам прочности. М.: Научно-исследовательский центр "Строительство", 2020. 175 с.
 14. Погорельцев А.А., Смирнов П.Н., Филимонов М.А. Проведение исследований по определению несущей способности стеновых панелей и плит перекрытия из древесины перекрестно клееной (ДПК/CLT) и разработка методики. М.: Научно-исследовательский центр "Строительство", 2020. 268 с.
 15. Филатов В.В. К расчету составных пластин по теории А.Р.Ржаницына. // Труды международной научно-технической конф. «Вычислительная механика деформируемого твердого тела». Москва: МИИТ, 2006. Том 2. С. 414-416.
 16. Gagnon, S. and M. Popovski. Structural Design of Cross-Laminated Timber Elements. In: Chapter 3, CLT Handbook. FPInnovations. Québec, Québec, Canada. 2011.
 17. Abejón R., Moya L. Cross-laminated timber: Perspectives from a bibliometric analysis (2006–2018) / Wood Material Science & Engineering. 2021. V.17. Issue 6. Pp. 429-450. <https://doi:10.1080/17480272.2021.1955295>.
 18. Alexander Opazo-Vega, Franco Benedetti, Mario Nuñez-Decap, Nelson Maureira-Carsalade, Claudio Oyarzo-Vera. Non-Destructive Assessment of the Elastic Properties of Low-Grade CLT Panels // Forests. 2021. No. 12. <https://doi.org/10.3390/f12121734>.
 19. Змеев М.В. Определение толщины перекрытия из перекрестно-клееных досок на примере CLT-плит Binderholz (Austria) из условия жесткости // Инженерный вестник Дона. 2020. № 11. URL:http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_35_10_Zmeev.pdf_91b8606af3.pdf (дата обращения: 30.11.2023).
 20. Щелокова Т.Н. Современные тенденции улучшения свойств древесины и деревянных строительных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 6. С. 39-45. URL: <http://dspace.bstu.ru/bitstream/123456789/1514/1/6.%20Щелокова.pdf> (дата обращения: 27.11.2023).

REFERENCES

1. Ashkenazi E.K. Anizotropiya drevesiny i drevesnyh materialov [Anisotropy of wood and wood materials]. М.: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1978. 224 p. (rus)
2. Turkov, A. V., & Troshin, M. Y. (2022). The effect of the step of transverse layers on the deformability and stress distribution in three-layer slabs of cross-laminated timber. *Arkhiturno-stroitel'nyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii. Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, priurochennoy k provedeniyu v Rossiyskoy Federatsii Desyatiletia nauki i tekhnologii*, November, 24-25. Omsk, Siberian state automobile and highway university Publ., 515-519 pp. (rus).
3. Troshin, M. Yu., & Turkov, A. V. (2023). The effect of thickness of transverse and longitudinal layers on deformability and stress distribution in three-layer panels made of cross-laminated timber. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*, 18(3), 391-400 pp. <https://doi.org/doi:10.22227/1997-0935.2023.3.391-400>. (rus).
4. Troshin M.Y., Turkov A.V. The effect of the step of transverse layers on the deformability and stress distribution in five-layer slabs of CLT-panels. *Building and Reconstruction*. 2023;(3):35-41. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-107-3-35-41/> (rus).
5. Rzhantsyn, A. R. (1986). *Sostavnye sterzhni i plastinki*. Moscow, Stroyizdat Publ., 316 p. (rus).
6. Yinlan Shen, Schneider Johannes, Stierner Siegfried F., Xueyong Ren. Failure Modes and Mechanical Properties of Bracket Anchor Connections for Cross-Laminated-Timber. *MATEC Web of Conferences* 2019. 275. Pp. 1-7. doi:10.1051/mateconf/201927501011
7. Ioannis P. Christovasilis, Michele Brunetti, Maurizio Follesa, Michela Nocetti, Davide Vassallo. Evaluation of the Mechanical Properties of Cross Laminated Timber with Elementary Beam Theories compression. *Engineering Structures*. 2016. V. 122. Pp. 202-213. <https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.06.082>.
8. Bubis A.A., Giziattullin I.R., Hvorova A.N., Petrov I.Yu. Osobennosti povedeniya drevesiny perekryostno-kleenoy (DPK/CLT) pri staticheskikh i dinamicheskikh nagruzkah, modeliruyushchih sejsmi-cheskie vozdeystviya [Peculiarities of behavior of cross-laminated timber (CLT) under static and dynamic loads simulating seismic impacts]. *Sejsmicheskoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Construction safety]*.

2022. No. 2. Pp. 62-80. <https://doi:10.37153/2618-9283-2022-2-62-80>. (rus).

9. Rogozhina A.V. Raschet deformativnosti CLT-paneli perekrytiya [Calculation of the deformability of the CLT overlap panel]. *Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Journal of Don]*. 2022, No. 6. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_89_5_Rogozhina.pdf_10c4252bae.pdf (date of application: 30.11.2023). (rus).

10. Filimonov M. A., Smirnov P.N. Issledovaniya prochnostnyh i uprugih harakteristik plit iz drevesiny perekrestno-kleenoy (DPK/CLT) Rossijskogo proizvodstva [Research of strength and elastic characteristics of russian-made cross laminated timber slabs]. *Seismicheskoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij [Earthquake engineering. Construction safety]*. 2022, No. 2. 81-97. <https://doi:10.37153/2618-9283-2022-2-81-97> (rus).

11. Mamedov SH.M, SHabikova E.G., Nizhegorodcev D.V., Kazakevich T.N. Metodika rascheta panelej iz perekrestno-kleenoy drevesiny [Method for calculating cross laminated timber panels]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Bulletin of civil engineers]*. 2020. No. 5(82). Pp. 66-71. <https://doi:10.23968/1999-5571-2020-17-5-66-71> (rus).

12. Chebykin A.A., Fricler YU.A., Kudryavcev S.V. Opredelenie raschetnyh harakteristik sechenij drevesnyh kleenyyh plit iz pere-krestnyh dosok [Evaluation of cross section design properties for plates from cross laminated timber]. *Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN [Academic Bulletin of UralNIiproekt RAASN]*. 2017. No. 2. Pp. 83-85. URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-raschetnyh-harakteristik-secheniy-drevesnyh-kleenyyh-plit-iz-perekrestnyh-dosok/viewer> (date of application: 28.11.2023). (rus).

13. Pogorel'cev A.A. Opredelenie prochnostnyh i uprugih harakteristik drevesiny perekrestno kleenoy (DPK/CLT) i klassifi-kaciya po klassam prochnosti [Determination of strength and elastic characteristics of cross-glued wood (WPC/CLT) and classification by strength classes] / A.A. Pogorel'cev, M.A. Filimonov, P.N. Smirnov – M.: Nauchno-issledovatel'skij centr "Stroitel'stvo" [Scientific Research Center "Construction"], 2020. 175 p. (rus).

14. Pogorel'cev A.A., Smirnov P.N., Filimonov M.A. Provedenie issledovaniy po opredeleniyu nesushchej sposobnosti stenovyh panelej i plit perekrytiya iz drevesiny perekrestno kleenoy (DPK/CLT) i razrabotka metodiki rascheta [Conducting research to determine the bearing capacity of wall panels and floor slabs made of cross-glued wood (WPC/CLT) and developing a calculation methodology]. Moscow: Nauchno-issledovatel'skij centr "Stroitel'stvo" [Scientific Research Center "Construction"], 2020. 268 p. (rus).

15. Filatov V.V. K raschetu sostavnykh plastin po teorii A.R.Rzhanitsyna [Calculation of composite plates according to the theory of A.R.Zhanitsyn]. Trudy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konf. "Vychislitel'naya mekhanika deformiruyemogo tverdogo tela" [Proceedings of the international scientific and technical conf. "Computational mechanics of a deformable solid"]. Moscow: MIIT, 2006. Vol. 2. Pp. 414-416. (rus).

16. Gagnon S., Popovski M. Structural Design of Cross-Laminated Timber Elements. In: Chapter 3, CLT Handbook. *FPIinnovations. Québec*, Québec, Canada. 2011.

17. Abejón R., Moya L. Cross-laminated timber: Perspectives from a bibliometric analysis (2006–2018) / Wood Material Science & Engineering. 2021. V.17. Issue 6. Pp. 429-450. <https://doi:10.1080/17480272.2021.1955295>.

18. Alexander Opazo-Vega, Franco Benedetti, Mario Nuñez-Decap, Nelson Maureira-Carsalade, Claudio Oyarzo-Vera. Non-Destructive Assessment of the Elastic Properties of Low-Grade CLT Panels. *Forests*. 2021. No. 12. <https://doi.org/10.3390/f12121734>.

19. Zmeev M.V. Opredelenie tolshchiny perekrytiya iz perekrestno-kleenyyh dosok na primere CLT-plit Binderholz (Austria) iz uslo-viya zhestkosti [Determination of the floor thickness of cross-glued boards on example of CLT-plates Binderholz (Austria)]. *Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Journal of Don]*. 2020. No. 11. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_35_10_Zmeev.pdf_91b8606af3.pdf (date of application: 30.11.2023). (rus).

20. Shchelokova T.N. Sovremennye tendencii uluchsheniya svoystv drevesiny i derevyannyh stroitel'nyh konstrukcij [Modern trends of improvement of wood properties and wood constructions]. *Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]*. 2018. No.6. 39-45. URL: <http://dspace.bstu.ru/bitstream/123456789/1514/1/6.%20Шелокова.pdf> (date of application: 27.11.2023). (rus).

Информация об авторах:

Трошин Михаил Юрьевич

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия, аспирант кафедры строительных конструкций и материалов.
E-mail: mtr997@mail.ru

Турков Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций и материалов.
E-mail: aturov@bk.ru

Заев Алексей Владимирович

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия,
аспирант кафедры строительных конструкций и материалов
E-mail: alexvzj@yandex.ru

Information about authors:

Troshin Mikhail Yr.

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia,
postgraduate student, of the department of Building Structures and Materials
E-mail: mtr997@mail.ru

Turkov Andrey V.

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia,
doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department of Building Structures and Materials
E-mail: aturkov@bk.ru

Zaev Alexey V.

Oryol state University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia,
postgraduate student, of the department of Building Structures and Materials
E-mail: alexvzj@yandex.ru