

М.Ю. ТРОШИН¹, А.В. ТУРКОВ¹¹ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, Россия

ВЛИЯНИЕ ШАГА ПОПЕРЕЧНЫХ СЛОЕВ НА ДЕФОРМАТИВНОСТЬ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЯТИСЛОЙНЫХ ПЛИТАХ ДРЕВЕСИНЫ ПЕРЕКРЕСТНО-КЛЕЕНОЙ

Аннотация. Рассматривается влияние шага поперечных слоев пятислойных плит из древесины перекрестно-клееной (CLT-панелей) на деформации и распределение возникающих нормальных и касательных напряжений в слоях конструкции. Исследования выполнены в вычислительном комплексе SCAD+ методом конечных элементов (МКЭ). В результате проведенного исследования получены, систематизированы и наглядно показаны зависимости прогиба и напряжений от варьирования шага поперечных ламелей перекрестно-клееной плиты, состоящей из 5 слоев. Выявлено, что при увеличении расстояний между ламелями в поперечных слоях увеличиваются прогибы и значительно возрастают нормальное напряжение вдоль пролёта. При этом, в среднем слое напряжение растет незначительно, что свидетельствует о том, что основную нагрузку при изгибе воспринимают верхние и нижние слои, работающие на сжатие и растяжение соответственно.

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

M.Y. TROSHIN¹, A.V. TURKOV¹¹Orel state University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia

THE EFFECT OF THE STEP OF TRANSVERSE LAYERS ON THE DEFORMABILITY AND STRESS DISTRIBUTION IN FIVE-LAYER SLABS OF CLT-PANELS

Abstract. The influence of the step of the transverse layers of five-layer slabs of cross-glued wood (CLT panels) on the deformation and distribution of the resulting normal and tangential stresses in the layers of the structure is considered. The research was carried out in the SCAD+ computing complex by the finite element method (FEM). As a result of the conducted research, the dependences of deflection and stresses on the variation of the pitch of the transverse lamellae of a cross-glued plate consisting of 5 layers are obtained, systematized and clearly shown. It is revealed that with increasing distances between lamellae in transverse layers, deflections increase and the normal stress along the span increases significantly. At the same time, the stress increases slightly in the middle layer, which indicates that the upper and lower layers, working for compression and stretching, respectively, perceive the main load during bending.

Keywords: wooden structures, CLT-panels, wood, stress distribution, thickness, deflection.

Введение

Древесина является одним из древнейших строительных материалов благодаря своим прочностным характеристикам. Одной из ключевых особенностей древесных материалов и производных изделий является их сильно выраженная анизотропия свойств, характерная для древесины всех пород. Модули упругости и сдвига древесины для продольных и поперечных направлений волокон могут отличаться в десятки раз. [1]

В конце XX века Австрийская ассоциация деревянной промышленности начала исследования по развитию новой технологии производства CLT-панелей (Cross Laminated Timber), в отечественной нормативной базе именуемой ДПК (древесина перекрестно-клееная

© Трошин М.Ю., Турков А.В., 2023

по ГОСТ Р 56706–2022 «Плиты клеенные из пиломатериалов с перекрестным расположением слоев. Технические условия»). Данная конструкция представляет из себя массивную многослойную плиту, состоящую из нечетного количества накрест склеенных (или зубчато соединенных) деревянных досок (ламелей). [2] Перекрестное расположение слоев позволило значительно увеличить жесткость и несущую способность плит, что позволяет использовать материал в качестве несущих конструкций стен и перекрытий в многоэтажных многопролетных зданиях.

Исследованием механических свойств плит из древесины перекрестно-клееной (CLT-панелей) при разных условиях занимались как зарубежные [1-8], так и отечественные авторы [9-18].

Целью настоящей статьи является исследование несущей способности и деформативности плит из древесины перекрестно-клееной, или CLT-панелей, при изменении шага расположения ламелей в поперечных слоях (2-ой и 4-ый слой). Результаты данного исследования позволяют выделить общие закономерности изменения прогибов, нормальных и тангенциальных (касательных) напряжений в продольных и поперечных слоях пятислойных плит.

Для достижения поставленной цели необходимо решить стандартные задачи:

- выбрать шаг изменения толщин продольных и поперечных слоев;
- смоделировать расчетную конструкцию в соответствии с выбранной расчетной схемой в программном комплексе SCAD+;
- провести численные исследования конструкций и систематизировать полученные данные;
- провести анализ результатов расчетов и сделать по результатам исследований выводы.

Материалы и методы

Исследования были проведены численными методами при помощи программно-вычислительного комплекса SCAD+. Расчетная схема определена как система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X, Y, Z и поворотами вокруг этих осей.

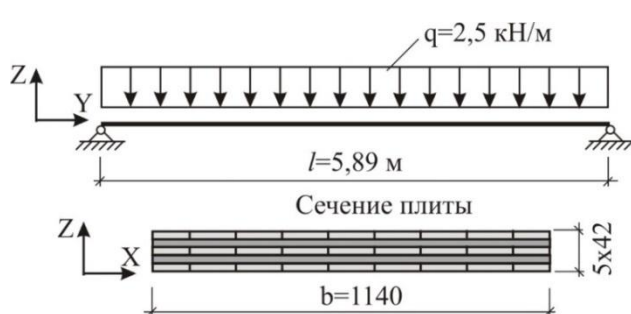


Рисунок 1 – Расчетная схема и сечение пятислойной плиты из древесины перекрестно-клееной

Расчетная конструкция - пятислойная плита из древесины перекрестно-клееной, шарнирно опёртая на опорах. Расчетная схема и сечение конструкции приведены на рисунке 1.

Нагружение плиты из перекрестной древесины задается равномерно-распределенной нагрузкой на грани объемных элементов интенсивностью $2,5 \text{ кН/м}^2$. Конструкция имеет длину 5890 мм и ширину 1140 мм. Остроганные по 4 сторонам доски толщиной 42 мм в слоях

имеют ширину 190 мм. В нечётных слоях (1, 3 и 5) волокна расположены вдоль пролёта, в чётных (2 и 4) – поперёк пролёта плиты. Модули упругости и модуль сдвига древесины приняты в соответствии с СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции»: вдоль волокон $E=1000 \text{ кН/см}^2$, поперёк волокон $E_{90}=400 \text{ кН/см}^2$, модуль сдвига принят $G=500 \text{ кН/см}^2$.

Численные исследования проводились в программном комплексе SCAD+, который позволяет определять механические свойства за счет присвоения расчетной модели параметров, соответствующих реальному материалу. Учитывая анизотропные свойства древесины, поперечным и продольным слоям были заданы разные модули упругости вдоль OX и OY.

Результаты и обсуждение

Для выявления основных зависимостей деформаций и напряжений от шага досок в чётных слоях была рассмотрена конструкция пятислойной плиты из перекрестной древесины.

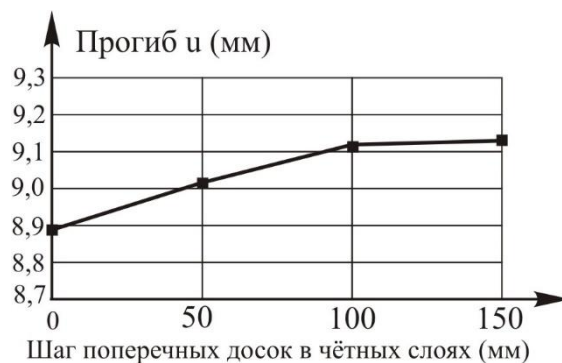


Рисунок 2 – Прогибы плиты в зависимости от шага досок в нечётных слоях

Шаг досок в чётных слоях принимался 0, 50, 100 и 150 мм. По результатам численных исследований определялись прогибы плиты, а также нормальные и касательные напряжения в конечных плитах с заданными характеристиками в программном комплексе SCAD+, был получен массив данных с результатами вычислений для каждого слоя при изменении шага досок в чётных слоях. Полученные значения внесены в таблицу 1.

По данным таблицы 1 построены графики изменения прогибов (рисунок 2).

Таблица 1 – Прогибы и напряжения в пятислойной плите из древесины перекрестно-клееной

№ слоев	Шаг досок в поперечных слоях, мм	Прогиб плиты u, мм	Максимальные нормальные напряжения			Максимальные касательные напряжения		
			N_x , кН/м ²	N_y , кН/м ²	N_z , кН/м ²	τ_{xy} , кН/м ²	τ_{xz} , кН/м ²	τ_{yz} , кН/м ²
1,5	0	8,88	-44,58	-2058,63	-198,59	-5,96	-7,18	-128,76
	50	9,05	-56,00	-2084,47	-247,22	-6,79	-7,88	-130,25
	100	9,16	-52,51	-2086,00	-233,54	-7,89	-8,10	-129,20
	150	9,17	-63,20	-2091,11	-278,83	-12,31	-8,63	-128,02
2,4	0	8,88	-49,04	-40,36	-123,43	-2,78	-3,09	-93,89
	50	9,05	-61,83	-40,38	-138,15	-2,82	-3,63	-97,12
	100	9,16	-72,18	-40,58	-136,31	-2,93	-4,24	-109,65
	150	9,17	-81,67	-40,82	-152,91	-3,51	-4,71	-129,41
3	0	8,88	-14,26	-112,95	-63,91	-1,56	-7,95	-75,15
	50	9,05	-14,75	-115,21	-67,53	-1,53	-9,22	-117,09
	100	9,16	-15,37	-101,43	-70,64	-1,91	-10,29	-108,03
	150	9,17	-15,45	-98,91	-71,74	-1,52	-11,28	-102,30

По данным таблицы 1 построены также графики нормальных (рисунки 3, 4 и 5) и касательных напряжений (рисунки 6, 7 и 8).

Как показали исследования, максимальные прогибы плиты при изменении шага слоёв с поперечным расположением досок от 0 до 150 мм (чётные слои) изменяются весьма незначительно в пределах 3,3%. Это объясняется весьма небольшой жёсткостью чётных слоёв при ориентации волокон древесины поперёк пролёта и близким их расположением к

нейтральной оси сечения. Таким образом, эти слои не могут оказать сколько-нибудь существенного влияния на прогибы плиты.

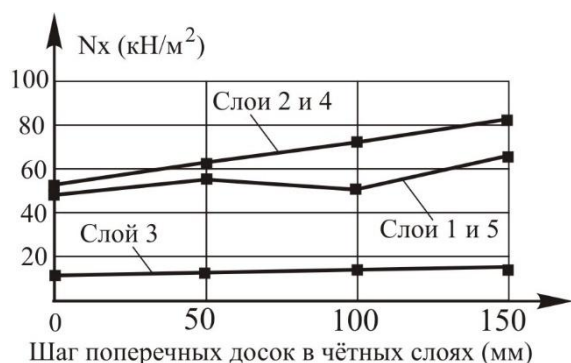


Рисунок 3 – Нормальные напряжения N_x в зависимости от шага досок в нечётных слоях

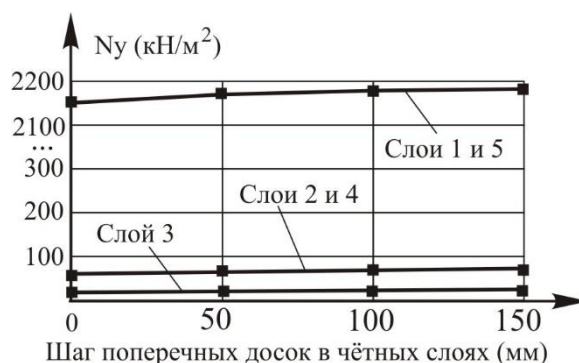


Рисунок 4 – Нормальные напряжения N_y в зависимости от шага досок в нечётных слоях

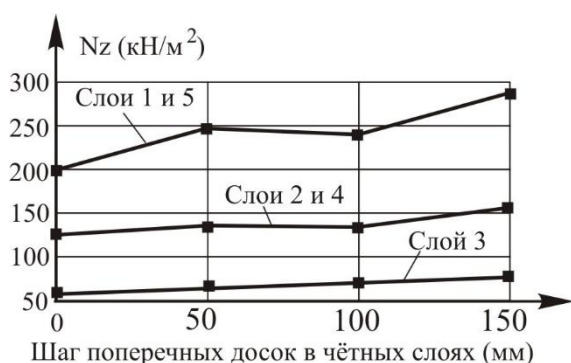


Рисунок 5 – Нормальные напряжения N_z в зависимости от шага досок в нечётных слоях

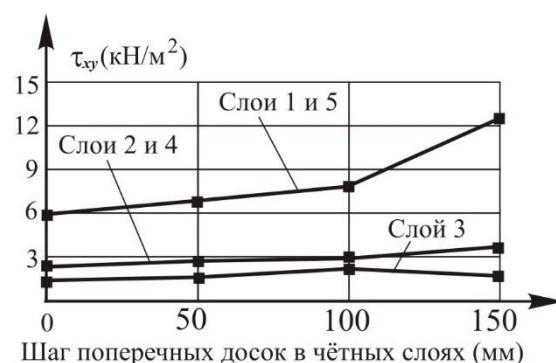


Рисунок 6 – Касательные напряжения τ_{xy} в зависимости от шага досок в нечётных слоях

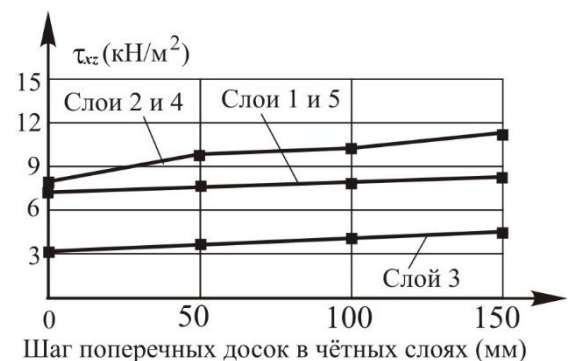


Рисунок 7 – Касательные напряжения τ_{xz} в зависимости от шага досок в нечётных слоях

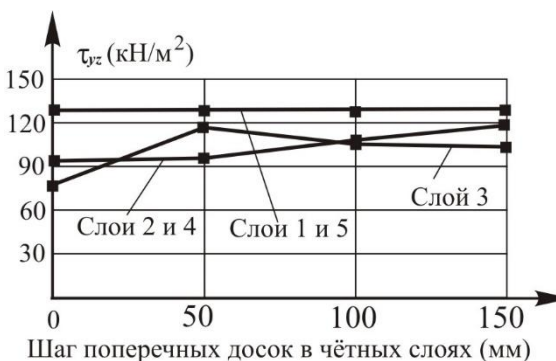


Рисунок 8 – Касательные напряжения τ_{zy} в зависимости от шага досок в нечётных слоях

Нормальные напряжения вдоль пролёта плиты N_y возрастают в крайних слоях 1 и 5 также незначительно, что объясняется незначительным влиянием чётных слоёв на перераспределение напряжений и их невысокой жёсткостью.

Касательные напряжения играют небольшое влияние на общее напряжённое состояние в слоях плиты.

Выводы

По результатам расчета при действии статической равномерно-распределенной нагрузки выявлено, что:

– при увеличении расстояний между ламелями в поперечных слоях предсказуемо увеличивается величина прогибов. При этом, разница между наименьшим и наибольшим значением составляет порядка 3,3 %. Это связано с тем, что поперечные слои не оказывают существенного влияния на момент инерции сечения плиты, что способствует несущественному влиянию шага ламелей на прогиб плиты;

– при увеличении шага досок в поперечных слоях незначительно увеличиваются напряжения в крайних слоях, что свидетельствует о слабом влиянии шага поперечных слоёв на нормальные напряжения изгиба. При этом, в среднем слое с увеличением шага ламелей чётных слоёв напряжения незначительны и возрастают примерно на 12%, что свидетельствует о том, в среднем слое возможно использование древесины с меньшей несущей способностью, чем в наружных слоях;

– анализ всего массива полученных данных показывает, что основную нагрузку несут на себе наружные слои 1 и 5, из-за чего можно предположить, что первичное разрушение плиты при сверхнормативном нагружении произойдет именно в этих слоях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. М.: Лесная промышленность, 1978. 224 с.
2. Крестьянникова А.Ю., Юминова М.О. Материалы и конструкции для строительства деревянных домов // Наука через призму времени. 2017. № 9. С. 42–51. URL: <http://naupri.ru/journal/465>
3. 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
4. Václav Sebera, Lech Muszyński, Jan Tippner, Melanie Noyel, Thomas Pisaneschi & Benjamin Sundberg. FE analysis of CLT panel subjected to torsion and verified by DIC / Materials and Structures. 2015. No. 48. Pp. 451-459. doi:10.1617/s11527-013-0195-1
5. ZiruiHuang, DongshengHuang, Ying-HeiChui, YurongShen, HosseinDaneshvar, BaoluSheng, ZhongfanChen. Modeling of Cross-Laminated Timber (CLT) panels loaded with combined out-of-plane bending and compression / Engineering Structures. 2022. V. 250. doi:10.1016/j.engstruct.2022.115262
6. 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. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.06.082
7. Weidong Lu, Jiahui Gu, Bibo Wang. Study on Flexural Behavior of Cross-Laminated Timber Based on Different Tree Species // Advances in Materials Science and Engineering. 2019. V. 2019, Article ID 1728258. <https://doi.org/10.1155/2019/1728258>
8. 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>
9. Gagnon S., Popovski M.. Structural Design of Cross-Laminated Timber Elements. In: Chapter 3, CLT Handbook. FPIInnovations. Québec, Québec, Canada. 2011.
10. 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.
11. Погорельцев А.А. Проведение исследований по определению несущей способности стеновых панелей и плит перекрытия из древесины перекрестно клееной (ДПК/CLT) и разработка методики расчета / А.А. Погорельцев, П.Н. Смирнов, М.А. Филимонов - М.: Научно-исследовательский центр "Строительство", 2020. 268 с.
12. 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
13. 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. doi:10.37153/2618-9283-2022-2-81-97
14. 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. doi:10.23968/1999-

5571-2020-17-5-66-71

15. 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. doi:10.37153/2618-9283-2022-2-62-80

16. 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>

17. 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

18. 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>

REFERENCES

1. Ashkenazi E.K. Anizotropiya drevesiny i drevesnyh materialov [Anisotropy of wood and wood materials]. M.: *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 1978. 224 p. (In Russian)
2. Krestyanikova A.Yu., Yuminova M.O. Materialy i konstrukcii dlya stroitel'stva derevyannykh domov [Materials and structures for the construction of wooden houses] // *Nauka cherez prizmu vremeni* [Science through the prism of time]. 2017. No. 9. С. 42–51. URL: <http://naupri.ru/journal/465>
3. 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
4. Václav Sebera, Lech Muszyński, Jan Tippner, Melanie Noyel, Thomas Pisaneschi & Benjamin Sundberg. *FE analysis of CLT panel subjected to torsion and verified by DIC* // *Materials and Structures*. 2015. No. 48. Pp. 451-459. doi:10.1617/s11527-013-0195-1
5. ZiruiHuang, DongshengHuang, Ying-HeiChui, YurongShen, HosseinDaneshvar, BaoluSheng, ZhongfanChen. Modeling of Cross-Laminated Timber (CLT) panels loaded with combined out-of-plane bending and compression // *Engineering Structures*. 2022. V. 250. doi:10.1016/j.engstruct.2022.115262
6. 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. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.06.082
7. Weidong Lu, Jiahui Gu, Bibo Wang. Study on Flexural Behavior of Cross-Laminated Timber Based on Different Tree Species // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019. V. 2019, Article ID 1728258. <https://doi.org/10.1155/2019/1728258>
8. 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>
9. Gagnon S., Popovski M. Structural Design of Cross-Laminated Timber Elements. In: Chapter 3, CLT Handbook. *FPInnovations. Québec*, Québec, Canada. 2011.
10. 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. (In Russian)
11. Pogorel'cev A.A. Provedenie issledovaniy po opredeleniyu nesushchej sposobnosti stenovykh 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] / A.A. Pogorel'cev, P.N. Smirnov, M.A. Filimonov - M.: *Nauchno-issledovatel'skij centr "Stroitel'stvo"* [Scientific Research Center "Construction"], 2020. 268 p. (In Russian)
12. 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 (In Russian)
13. 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. doi:10.37153/2618-9283-2022-2-81-97 (In Russian)
14. 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. doi:10.23968/1999-5571-2020-17-5-66-71 (In Russian)

15. 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 vozdejstviya [Peculiarities of behavior of cross-laminated timber (CLT) under static and dynamic loads simulating seismic impacts]. *Seismicheskoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij* [Earthquake engineering. Construction safety]. 2022. No. 2. Pp. 62-80. doi:10.37153/2618-9283-2022-2-62-80 (In Russian)

16. Chebykin A.A., Fricler YU.A., Kudryavcev S.V. Opredelenie raschetnykh harakteristik sechenij drevesnykh kleenyykh plit iz pere-krestnykh 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-raschetnykh-harakteristik-secheniy-drevesnykh-kleenyykh-plit-iz-perekrestnykh-dosok/viewer> (In Russian)

17. Zmeev M.V. Opredelenie tolshchiny perekrytiya iz perekrestno-kleenyykh 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 (In Russian)

18. Shchelokova T.N. Sovremennye tendencii uluchsheniya svoystv drevesiny i derevyannykh stroitel'nykh 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.%20Шелочкова.pdf> (In Russian)

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: aturkov@bk.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