

УДК 624.074.1

2.1.1 Строительные конструкции, здания
и сооружения (технические науки)

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОПЕРЕЧНОГО И ПРОДОЛЬНЫХ СЛОЕВ НА ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ В 3-СЛОЙНОЙ ПЛИТЕ ДПК (CLT), СМОДЕЛИРОВАННОЙ КАК СОСТАВНАЯ ПЛАСТИНА

М. Ю. Трошин, А. В. Турков, А. В. Заев

Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, Орел, Россия

EFFECT OF TRANSVERSE AND LONGITUDINAL LAYER THICKNESS ON DEFORMATIONS AND STRESSES IN A THREE-LAYER CLT PANEL MODELED AS A COMPOSITE PLATE

Mikhail Yu. Troshin, Andrei V. Turkov, Alexey V. Zaev

Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia

Аннотация. В исследовании рассмотрено влияние толщины поперечного и продольных слоев трехслойной плиты из древесины перекрестно-клееной на деформации и распределение возникающих растягивающих и сжимающих нормальных напряжений в слоях. В связи с тем, что в настоящее время нет единой методики расчета многослойных материалов с ортотропными свойствами в слоях, исследование проведено с использованием вычислительного комплекса SCAD+ с помощью метода конечных элементов. Исследуемая модель представляла собой составную ортотропную пластину. Были получены, систематизированы и наглядно показаны зависимости значений максимального прогиба и нормальных напряжений от изменения толщины поперечного и продольных ламелей в трехслойной плите из древесины перекрестно-клееной при различных граничных условиях. В результате исследования определено, что наибольшее влияние на величину прогиба и нормальных напряжений вдоль пролета оказывают продольные

Abstract. The study examines the effect of the transverse and longitudinal layers thickness of a three-layer CLT panel on the deformations and distribution of the resulting tensile and compressive normal stresses in the layers. Due to the current lack of a unified methodology for the calculation of multilayer materials with orthotropic properties in layers at present, we carried out the study with the SCAD+ computing complex using the finite element method. The studied model was a composite orthotropic plate. The authors obtained, systematized and clearly showed the dependences of the values of the maximum deflection and normal stresses on the thickness variation of transverse and longitudinal lamellae in a three-layer CLT panel under different boundary conditions. As a result of the study, we found that the greatest influence on the deflection and normal stresses along the span was caused by the longitudinal slab layers. The results provide a better insight into the relationship between deformability and stress distributions and the variation of transverse and longitudinal layer

слои плиты. Полученные результаты дают более глубокое понимание взаимосвязи деформативности и распределений напряжений и изменения толщины поперечного и продольного слоев, а полученные закономерности могут быть использованы при проектировании строительных конструкций с применением ДПК.

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

thicknesses. The obtained patterns can be used in the design of building structures using CLT panel.

Key words: timber structures, cross-laminated timber, CLT panel, stress distribution, deflection, composite plates, multilayer structures

Для цитирования: Трошин, М. Ю. Влияние толщины поперечного и продольных слоев на деформации и напряжения в 3-слойной плите ДПК (CLT), смоделированной как составная пластина / М. Ю. Трошин, А. В. Турков, А. В. Заев. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-2-30-41. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 2 (108). – С. 30–41.

For citation: Troshin, M. Yu., Turkov, A. V., & Zaev, A. V. (2024). Effect of transverse and longitudinal layer thickness on deformations and stresses in a three-layer CLT panel modeled as a composite plate. *Architecture, Construction, Transport*, (2(108)), pp. 30-41. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-2-30-41.

1. Введение

В последние десятилетия древесина перекрестноклееная (ДПК), или CLT-панель, широко используется как в малоэтажном, так и в среднеэтажном строительстве. Данный материал получил распространение в странах Западной Европы и России благодаря своей экологичности, технологичности, эстетичному внешнему виду, малому весу, а также высоким показателям несущей способности. Перспективы развития деревянного домостроения с применением плит из ДПК отражены в работе [1].

Характерной особенностью древесины всех пород является анизотропия, поэтому перекрестная склейка способствует не только увеличению сдвиговой жесткости конструкции за счет клеевого слоя между слоями досок, но и увеличению жесткости при поперечном изгибе за счет перекрестного расположения досок [2]. Ввиду того, что вариаций конструктивных решений плит на основе древесины существует большое количество, актуальным остается вопрос исследования несущей способности и деформа-

тивности плит из ДПК при изменении толщины слоев конструкции. Кроме того, важным является изучение данного влияния при различных видах опирания конструкции, так как они могут оказывать значительное воздействие на максимальные прогибы и распределение нормальных напряжений.

Ранее авторами проводились исследования плит из древесины перекрестноклееной на деформативность и несущую способность. Вычисления производились в SCAD+ с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Конструкция была смоделирована из объемных конечных элементов с шарнирным опиранием с двух сторон плиты [3–4]. В настоящей статье на основании [5] была смоделирована расчетная схема в виде ортотропной составной пластины. Исследование данной схемы при других геометрических изменениях описано в работе [6]. Научный интерес к плитам из ДПК подтверждается большим пластом работ, посвященным различным аспектам: соединениям [7], поведению при нагрузках [8, 9], способам расчета [10–13] и т. д. Исследованию

несущей способности посвящены в частности работы [14, 15], в которых представлен большой объем данных для установления нормативных и расчетных значений упругих характеристик ДПК. Отличительной особенностью настоящего исследования является рассмотрение влияния изменения геометрических параметров слоев плиты при различных видах опирания плиты и применение расчетной схемы в виде составной ортотропной пластины.

Целью данного исследования являлось определение влияния толщины поперечного и продольных слоев трехслойной плиты из ДПК на распределение напряжений и деформативность в слоях при различных условиях опирания. Результаты исследования позволяют выделить общие закономерности изменения максимальных прогибов и напряжений при вариации толщины поперечного и продольных слоев ламелей.

2. Материалы и методы

Исследования были проведены численным методом в вычислительном комплексе SCAD+. Расчетная схема определена как составная пластина с ортотропными свойствами в перекрестных слоях. Была смоделирована трехслойная плита из ДПК с продольными наружными и поперечным внутренним слоями. Для обеспечения высокой точности вычислений были выбраны пластинчатые КЭ размером 50 × 50 мм. Связи между слоями представляли собой стержни с очень высокой жесткостью $EA = 5 \cdot 10^4$ кН во избежание их влияния на прогиб плиты и были разделены на два вида: связи сдвига, препятствующие сдвигающим деформациям слоев, и поперечные связи, не позволяющие сближаться или отдаляться слоям друг от друга. Общий вид КЭ в слоях составной пластины представлен на рис. 1.

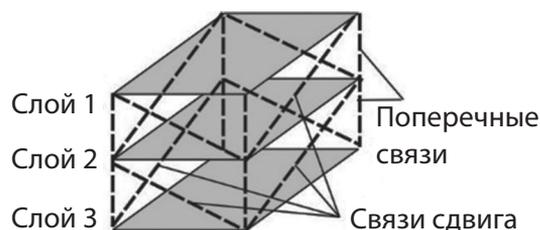


Рис. 1. Конечные элементы в слоях составной пластины в трехслойной плите из ДПК
Fig. 1. Finite elements in composite plate layers in a three-layer CLT panel

Для расчета были смоделированы три вида граничных условий: шарнирно-подвижная опора с одной стороны и шарнирно-неподвижная с другой (шарнирное опирание); жесткое защемление с двух сторон; жесткое защемление с одной стороны и шарнирно-подвижная опора с другой (жесткое защемление с шарниром). Нагружение плиты задавалось равномерно распределенной нагрузкой на верхний слой составной пластины равной 0.285 кН/м. Конструкция имела пролет 5 890 мм и ширину 1 140 мм. Ширина ламелей в слоях – 190 мм, толщина – 42 мм. Расчетные схемы конструкции изображены на рис. 2.

Плита из ДПК является конструкцией с ортотропными свойствами слоев, 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 64.13330.2017¹:

- в продольном направлении: $E_x = 4 \cdot 10^5$ кН/м², $E_y = 1 \cdot 10^7$ кН/м², $G_{xy} = 5 \cdot 10^5$ кН/м², $\nu_{xy} = 0.45$, $\nu_{yx} = 0.018$.
- в поперечном направлении: $E_{x90} = 1 \cdot 10^7$ кН/м², $E_{y90} = 4 \cdot 10^5$ кН/м², $G_{xy90} = 5 \cdot 10^5$ кН/м², $\nu_{xy90} = 0.018$, $\nu_{yx90} = 0.45$.

¹ Деревянные конструкции = Timber structures : СП 64.13330.2017 : Актуализированная редакция СНиП II-25-80 : утвержден приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 27 февраля 2017 г. № 129/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г. / Исполнитель – АО «НИЦ «Строительство» – ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456082589> (дата обращения: 14.07.2023).

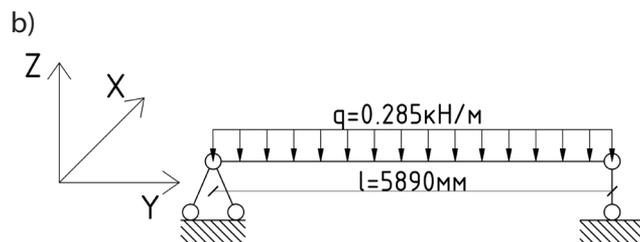
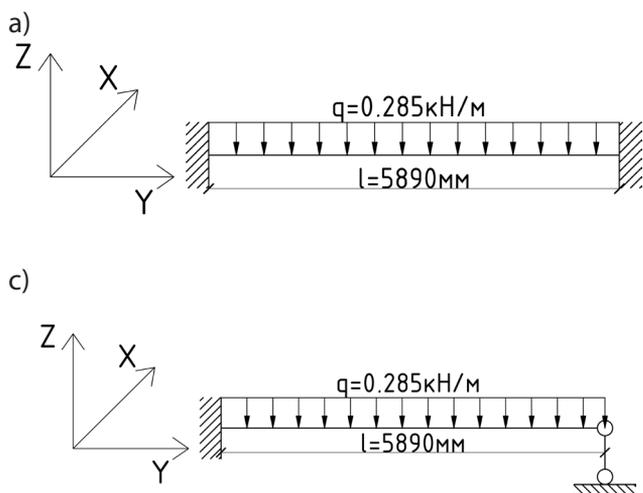


Рис. 2. Расчетные схемы трехслойной плиты из ДПК с граничными условиями: а) жесткое защемление; б) шарнирное опирание; в) жесткое защемление с шарниром

Fig. 2. Calculation diagrams of a three-layer CLT panel with boundary conditions: a) rigid restraint; b) hinged bearing; c) rigid restraint with a hinge

3. Результаты

Для изучения основных зависимостей деформаций и напряжений от изменения толщины поперечных и продольных слоев были рассмотрены конструкции плиты из ДПК при постоянной толщине продольных слоев с варьируемой толщиной поперечного слоя, составляющей 9, 12, 18, 25, 32 и 42 мм. Также были рассмотрены конструкции с постоянной толщиной поперечного слоя и варьируемой толщиной продольных слоев, составляющей 9, 12, 18, 25, 32 и 42 мм.

Для подробного изучения распределения нормальных напряжений конечные элементы были организованы по группам в соответствии со слоем, которому принадлежит данный КЭ. На-

ружным продольным слоям присвоены номера 1 и 3, внутреннему поперечному – 2.

Был произведен линейный расчет многофронтальным методом в SCAD+, в результате которого получены данные с результатами вычислений при изменяемой толщине поперечного слоя (таблица 1). Для получения более полной картины были отобраны выборки максимальных растягивающих (со знаком +) и максимальных сжимающих (со знаком -) нормальных напряжений. Для наглядности построены графики влияния толщины поперечного слоя плиты из ДПК на максимальный прогиб и напряжения σ_y (вдоль пролета) и σ_x (поперек пролета) в плите при различных видах опирания конструкции (рис. 3–5).

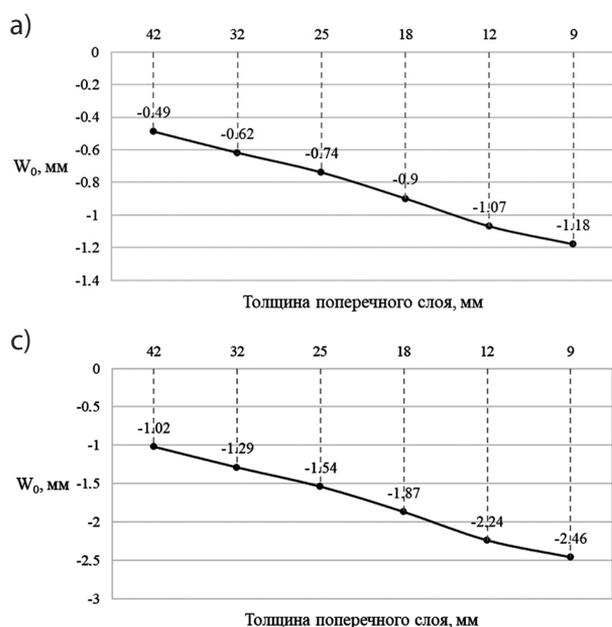
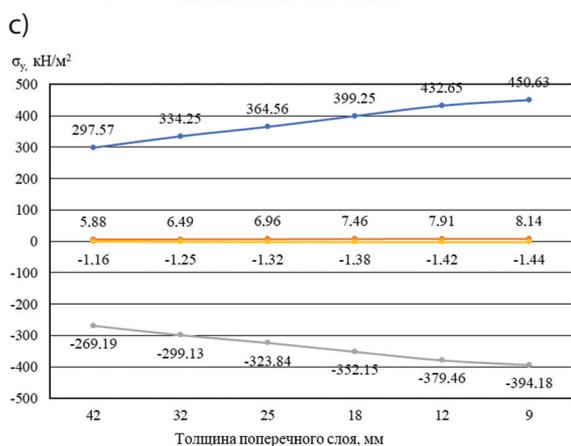
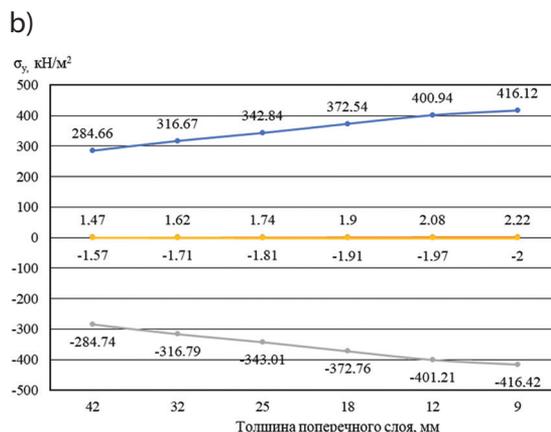
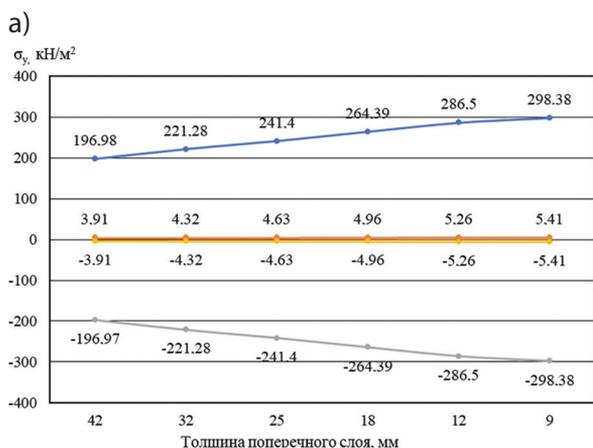


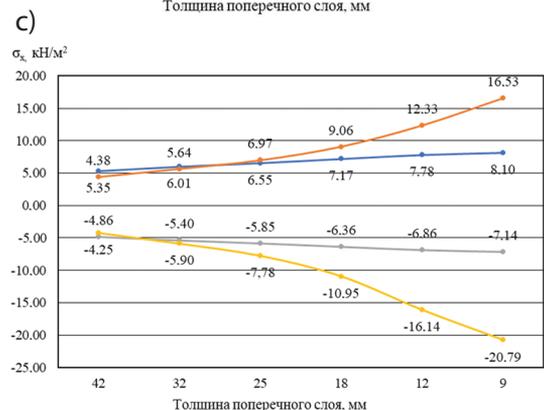
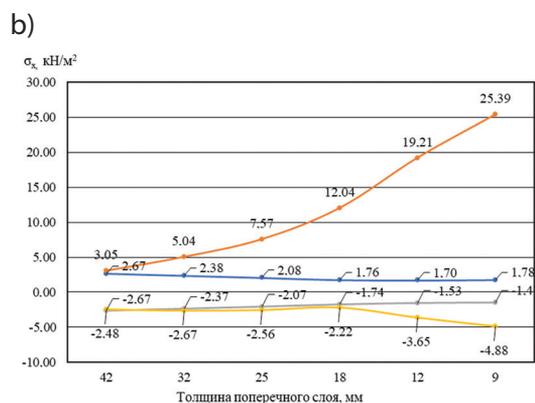
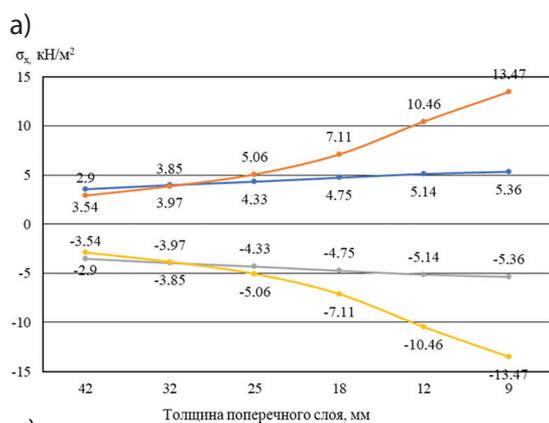
Рис. 3. Зависимость максимального прогиба от толщины поперечного слоя: а) жесткое защемление на обеих опорах; б) шарнирное опирание на обеих опорах; в) жесткое защемление с шарниром

Fig. 3. Dependence of maximum deflection on the transverse layer thickness: a) rigid restraint on both supports; b) hinged bearing on both supports; c) rigid restraint with a hinge



— 1,3 слой (растяжение) — 1,3 слой (сжатие)
 — 2 слой (растяжение) — 2 слой (сжатие)

Рис. 4. Зависимость растягивающих и сжимающих нормальных напряжений σ_y от толщины поперечного слоя: а) жесткое защемление на обеих опорах; б) шарнирное опирание на обеих опорах; в) жесткое защемление с шарниром
 Fig. 4. Dependence of tensile and compressive normal stresses σ_y on the transverse layer thickness: a) rigid restraint on both supports; b) hinged bearing on both supports; c) rigid restraint with a hinge



— 1,3 слой (растяжение) — 1,3 слой (сжатие)
 — 2 слой (растяжение) — 2 слой (сжатие)

Рис. 5. Зависимость растягивающих и сжимающих нормальных напряжений σ_x от толщины поперечного слоя: а) жесткое защемление на обеих опорах; б) шарнирное опирание на обеих опорах; в) жесткое защемление с шарниром
 Fig. 5. Dependence of tensile and compressive normal stresses σ_x on the transverse layer thickness: a) rigid restraint on both supports; b) hinged bearing on both supports; c) rigid restraint with a hinge

Таблица 1/ Table 1
 Зависимость деформаций и нормальных напряжений трехслойной плиты ДПК от толщины поперечного слоя при различных граничных условиях
 Dependence of deformations and normal stresses of a three-layer CLT panel on the transverse layer thickness under different boundary conditions

Исследуемые слои	Толщина поперечного слоя, мм	Максимальный прогиб W_0 , мм, при условии опирания:			Нормальные растягивающие напряжения $\sigma_{ураст}$, кН/м ² , при условии опирания:			Нормальные сжимающие напряжения $\sigma_{усжат}$, кН/м ² , при условии опирания:			Нормальные растягивающие напряжения $\sigma_{хрост}$, кН/м ² , при условии опирания:			Нормальные сжимающие напряжения $\sigma_{хсжат}$, кН/м ² , при условии опирания:		
		жесткое защемление	шарнирное	жесткое защемление с шарниром	жесткое защемление	шарнирное	жесткое защемление с шарниром	жесткое защемление	шарнирное	жесткое защемление с шарниром	жесткое защемление	шарнирное	жесткое защемление с шарниром	жесткое защемление	шарнирное	жесткое защемление с шарниром
1, 3	42	-0.49	-2.45	-1.02	196.98	284.66	297.57	-196.97	-284.74	-269.19	3.54	2.67	5.35	-3.54	-2.67	-4.86
	32	-0.62	-3.09	-1.29	221.28	316.67	334.25	-221.28	-316.79	-299.13	3.97	2.38	6.01	-3.97	-2.37	-5.40
	25	-0.74	-3.70	-1.54	241.40	342.84	364.56	-241.40	-343.01	-323.84	4.33	2.08	6.55	-4.33	-2.07	-5.85
	18	-0.90	-4.50	-1.87	264.39	372.54	399.25	-264.39	-372.76	-352.15	4.75	1.76	7.17	-4.75	-1.74	-6.36
	12	-1.07	-5.38	-2.24	286.50	400.94	432.65	-286.50	-401.21	-379.46	5.14	1.70	7.78	-5.14	-1.53	-6.86
	9	-1.18	-5.91	-2.46	298.38	416.12	450.63	-298.38	-416.42	-394.18	5.36	1.78	8.10	-5.36	-1.47	-7.14
2	42	-0.49	-2.45	-1.02	3.91	1.47	5.88	-3.91	-1.57	-1.16	2.90	3.05	4.38	-2.90	-2.48	-4.25
	32	-0.62	-3.09	-1.29	4.32	1.62	6.49	-4.32	-1.71	-1.25	3.85	5.04	5.64	-3.85	-2.67	-5.90
	25	-0.74	-3.70	-1.54	4.63	1.74	6.96	-4.63	-1.81	-1.32	5.06	7.57	6.97	-5.06	-2.56	-7.78
	18	-0.90	-4.50	-1.87	4.96	1.90	7.46	-4.96	-1.91	-1.38	7.11	12.04	9.06	-7.11	-2.22	-10.95
	12	-1.07	-5.38	-2.24	5.26	2.08	7.91	-5.26	-1.97	-1.42	10.46	19.21	12.33	-10.46	-3.65	-16.14
	9	-1.18	-5.91	-2.46	5.41	2.22	8.14	-5.41	-2.00	-1.44	13.47	25.39	16.53	-13.47	-4.88	-20.79

Как видно на рис. 3, наибольшее значение прогиба при изменении толщины поперечного слоя – 5.91 мм – достигается при шарнирном опирании плиты. При этом наибольшее нормальное напряжение вдоль пролета плиты σ_y , как следует из рис. 4, возникает в растянутом слое плиты при жестком закреплении с шарниром и составляет 450.63 кН/м². Значения нормальных напряжений

σ_x значительно ниже, чем значения σ_y . Данный факт свидетельствует о том, что при расчете плит подобных конструкций особое внимание следует уделять именно напряжениям σ_y . Подобным образом были проведены исследования трехслойных плит из ДПК с изменяемой толщиной продольных слоев. Результаты вычислений сведены в таблицу 2, построены аналогичные графики (рис. 6–8).

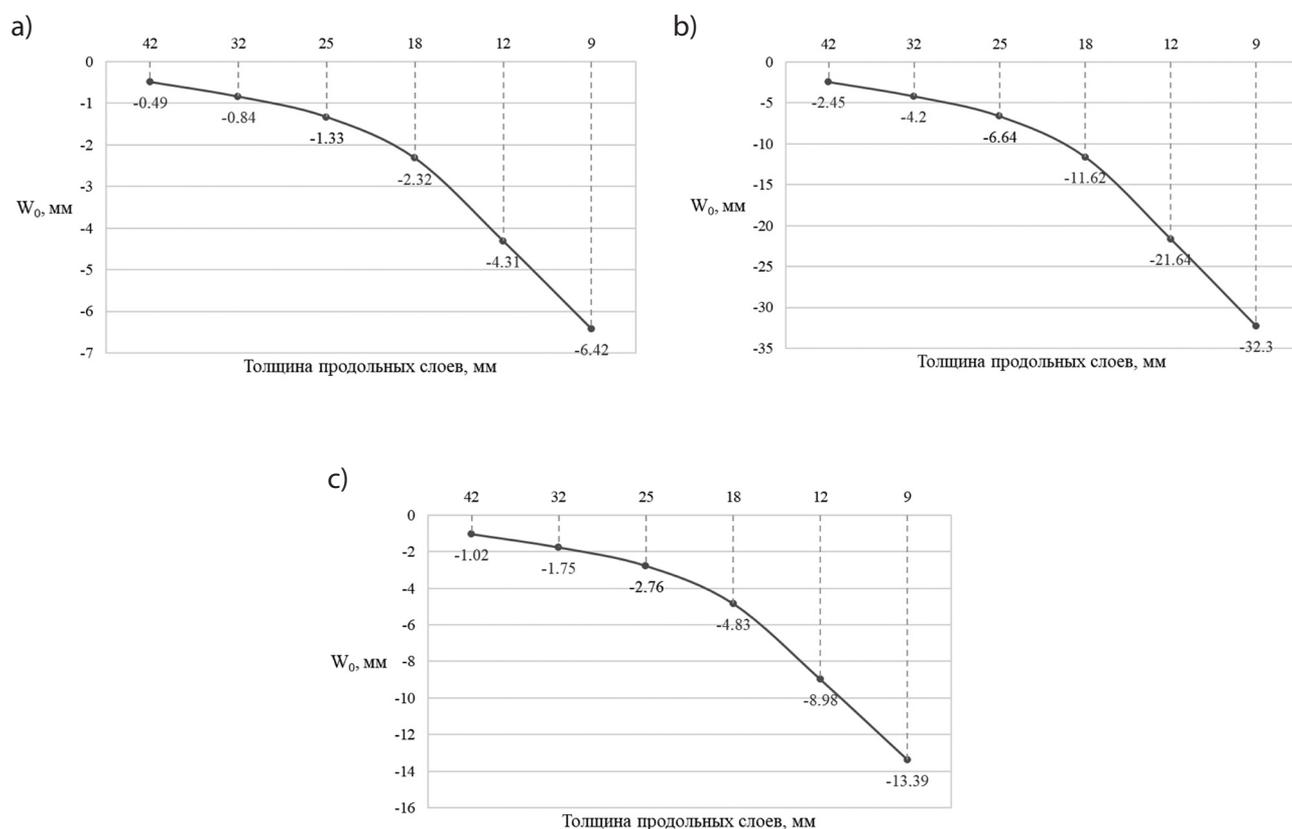


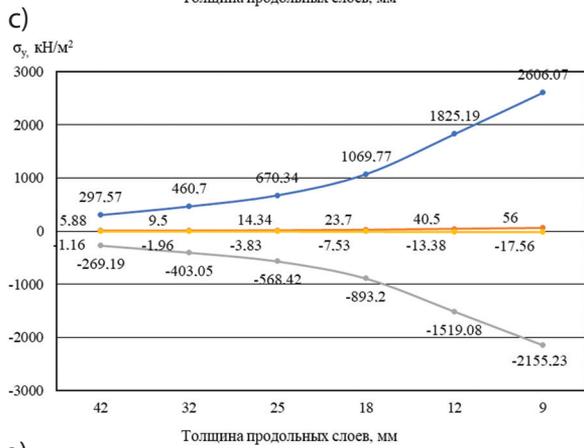
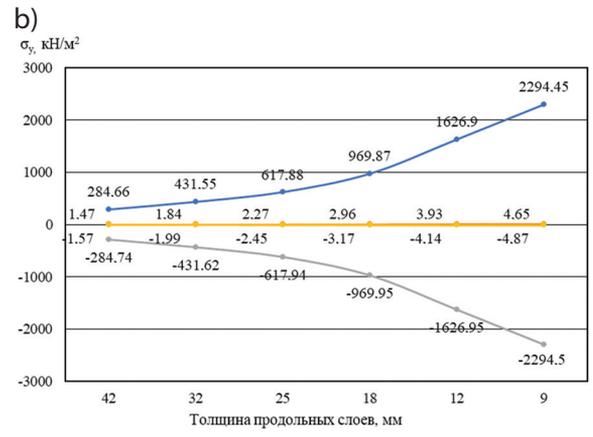
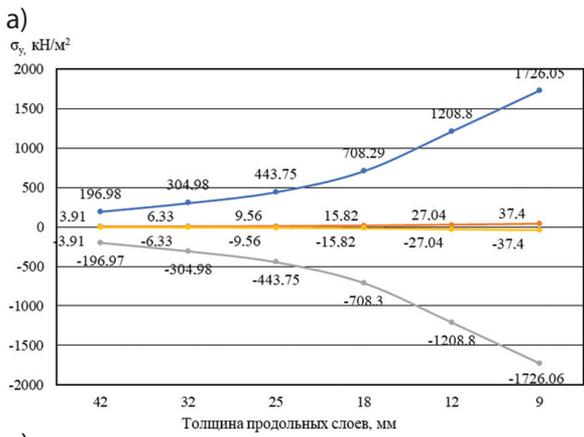
Рис. 6. Зависимость максимального прогиба от толщины продольных слоев:
 а) жесткое защемление на обеих опорах; б) шарнирное опирание на обеих опорах;
 в) жесткое защемление с шарниром

Fig. 6. Dependence of maximum deflection on the longitudinal layers thickness:
 a) rigid restraint on both supports; b) hinged bearing on both supports;
 c) rigid restraint with a hinge

Рис. 6–8 свидетельствуют о том, что при изменении толщины продольных слоев сохраняются те же тенденции, что и при изменении толщины поперечного слоя, однако влияние на деформации и напряжения значительно выше. Это связано с тем, что значение модуля упругости

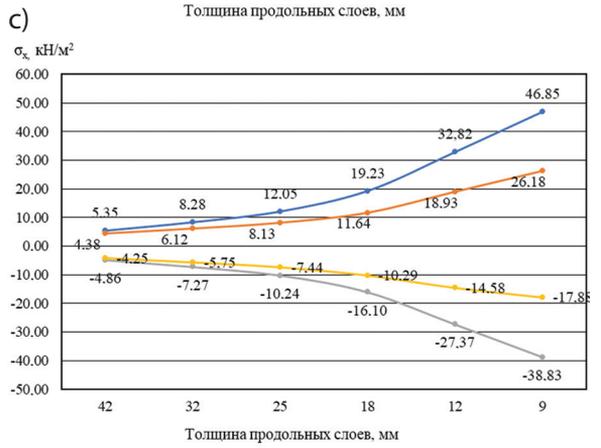
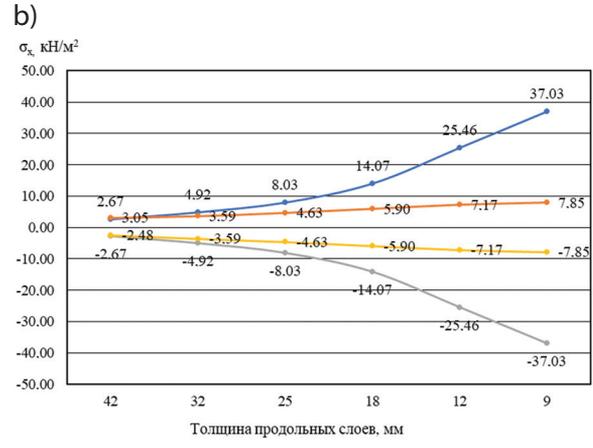
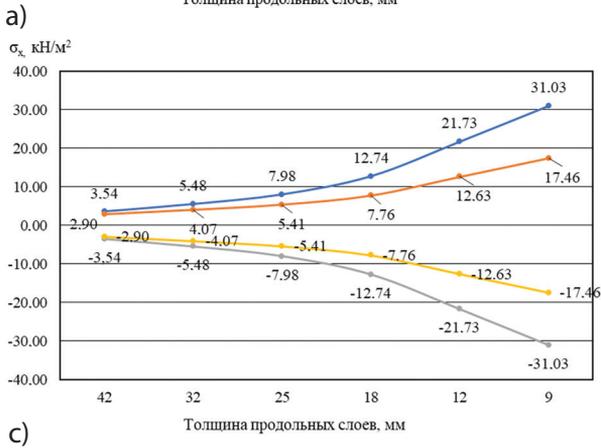
древесины вдоль волокон значительно выше, чем поперек.

Кроме того, при уменьшении толщины продольных слоев площадь поперечного сечения плиты уменьшается сильнее, чем при уменьшении толщины поперечного слоя.



— 1,3 слой (растяжение) — 1,3 слой (сжатие)
 — 2 слой (растяжение) — 2 слой (сжатие)

Рис. 7. Зависимость растягивающих и сжимающих нормальных напряжений σ_y от толщины продольных слоев: а) жесткое защемление на обеих опорах; б) шарнирное опирание на обеих опорах; в) жесткое защемление с шарниром
 Fig. 7. Dependence of tensile and compressive normal stresses σ_y on the longitudinal layers thickness: a) rigid restraint on both supports; b) hinged bearing on both supports; c) rigid restraint with a hinge



— 1,3 слой (растяжение) — 1,3 слой (сжатие)
 — 2 слой (растяжение) — 2 слой (сжатие)

Рис. 8. Зависимость растягивающих и сжимающих нормальных напряжений σ_x от толщины продольных слоев: а) жесткое защемление на обеих опорах; б) шарнирное опирание на обеих опорах; в) жесткое защемление с шарниром
 Fig. 8. Dependence of tensile and compressive normal stresses σ_x on the longitudinal layers thickness: a) rigid restraint on both supports; b) hinged bearing on both supports; c) rigid restraint with a hinge

Таблица 2/ Table 2
 Зависимость деформаций и нормальных напряжений трехслойной плиты ДПК от толщины продольных слоев при различных граничных условиях
 Dependence of deformations and normal stresses of a three-layer CLT panel on the longitudinal layers thickness under different boundary conditions

Исследуемые слои	Толщина продольных слоев, мм	Максимальный прогиб W_{gr} , мм, при условии опирания:			Нормальные растягивающие напряжения $\sigma_{урст}$, кН/м ² , при условии опирания:			Нормальные сжимающие напряжения $\sigma_{усжат}$, кН/м ² , при условии опирания:			Нормальные растягивающие напряжения $\sigma_{хрст}$, кН/м ² , при условии опирания:			Нормальные сжимающие напряжения $\sigma_{хсжат}$, кН/м ² , при условии опирания:		
		жесткое защемление	шарнирное	жесткое защемление с шарниром	жесткое защемление	шарнирное	жесткое защемление с шарниром	жесткое защемление	шарнирное	жесткое защемление с шарниром	жесткое защемление	шарнирное	жесткое защемление с шарниром	жесткое защемление	шарнирное	жесткое защемление с шарниром
1, 3	42	-0.49	-2.45	-1.02	196.98	284.66	297.57	-196.97	-284.74	-269.19	3.54	2.67	5.35	-3.54	-2.67	-4.86
	32	-0.84	-4.20	-1.75	304.98	431.55	460.70	-304.98	-431.62	-403.05	5.48	4.92	8.28	-5.48	-4.92	-7.27
	25	-1.33	-6.64	-2.76	443.75	617.88	670.34	-443.75	-617.94	-568.42	7.98	8.03	12.05	-7.98	-8.03	-10.24
	18	-2.32	-11.62	-4.83	708.29	969.87	1069.77	-708.30	-969.95	-893.20	12.74	14.07	19.23	-12.74	-14.07	-16.10
	12	-4.31	-21.64	-8.98	1208.80	1626.90	1825.19	-1208.80	-1626.95	-1519.08	21.73	25.46	32.82	-21.73	-25.46	-27.37
	9	-6.42	-32.30	-13.39	1726.05	2294.45	2606.07	-1726.06	-2294.50	-2155.23	31.03	37.03	46.85	-31.03	-37.03	-38.83
2	42	-0.49	-2.45	-1.02	3.91	1.47	5.88	-3.91	-1.57	-1.16	2.90	3.05	4.38	-2.90	-2.48	-4.25
	32	-0.84	-4.20	-1.75	6.33	1.84	9.50	-6.33	-1.99	-1.96	4.07	3.59	6.12	-4.07	-3.59	-5.75
	25	-1.33	-6.64	-2.76	9.56	2.27	14.34	-9.56	-2.45	-3.83	5.41	4.63	8.13	-5.41	-4.63	-7.44
	18	-2.32	-11.62	-4.83	15.82	2.96	23.70	-15.82	-3.17	-7.53	7.76	5.90	11.64	-7.76	-5.90	-10.29
	12	-4.31	-21.64	-8.98	27.04	3.93	40.50	-27.04	-4.14	-13.38	12.63	7.17	18.93	-12.63	-7.17	-14.58
	9	-6.42	-32.30	-13.39	37.40	4.65	56.00	-37.40	-4.87	-17.56	17.46	7.85	26.18	-17.46	-7.85	-17.88

4. Заключение

По результатам исследований влияния толщины поперечного и продольных слоев на деформативность и распределение нормальных напряжений в трехслойной плите из древесины перекрестноклееной, смоделированной как составная пластина, при действии статической равномерно-распределенной нагрузки и различных граничных условиях было выявлено следующее:

- наибольшее значение максимального прогиба в плите достигается при шарнирном опирании. При этом влияние толщины продольных слоев больше, чем влияние толщины поперечных. Так, при минимальной толщине поперечного слоя прогиб равняется -5.31 мм, а при минимальной толщине продольных слоев составляет -32.3 мм. Это связано с тем, что модуль упругости вдоль волокон у древесины значительно выше, чем поперек волокон;
- при уменьшении толщины поперечного и продольных слоев наибольшие нормальные напряжения σ_y регистрируются в наружных слоях плиты. При этом при уменьшении толщины продольных слоев это значение в несколько раз выше, чем при уменьшении толщины поперечного слоя. Для шарнирного опирания при толщине продольных слоев 9 мм нормальные напряжения в наружных слоях плиты $\sigma_y = 2\,294.5$ кН/м², а при толщине поперечного слоя 9 мм нормальные напряжения в наружных слоях плиты $\sigma_y = 416.12$ кН/м² (разница > 5 раз);
- нормальные напряжения σ_x в наружных слоях значительно ниже, чем нормальные напряжения σ_y независимо от вида опирания и от того, толщина каких слоев изменяется. Так, при жестком защемлении плиты с толщиной продольных слоев 25 мм нормальные растягивающие напряжения $\sigma_y = 443.75$ кН/м², а $\sigma_x = 7.98$ кН/м² (разница > 55 раз). Ввиду малого значения данные напряжения можно не учитывать при расчете на несущую способность плит при подобной нагрузке;
- разница между растягивающими и сжимающими напряжениями при различных видах опирания не существенна, кроме случаев жесткого защемления с одной стороны и шарнирного опирания с другой. Так, превышение значений растягивающих напряжений относительно сжимающих в наружных продольных слоях колеблется от 12 до 20 %;
- по форме графиков можно сказать, что напряжения в целом меняются по одной закономерности при изменении толщины как поперечного, так и продольных слоев трехслойной плиты из ДПК;
- наибольшие значения нормальных напряжений σ_y фиксируются при жестком защемлении с одной стороны и шарнирном опирании с другой. Для установления точной локализации данных напряжений необходима выгрузка дополнительных данных из SCAD+ (например, изополя напряжений), что не являлось целью настоящего исследования.

Библиографический список

1. Есауленко, И. В. Перспективы развития высотного деревянного домостроения в России на примере зарубежного опыта / И. В. Есауленко. – DOI 10.31660/2782-232X-2021-4-17-25. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 4. – С. 17–25.
2. Ашкенази, Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е. К. Ашкенази. – Москва : Лесная промышленность, 1978. – 224 с. – Текст : непосредственный.
3. Трошин, М. Ю. Влияние толщины поперечных и продольных слоев на деформативность и распределение напряжений в трехслойных плитах древесины перекрестно-клееной / М. Ю. Трошин, А. В. Турков. – DOI 10.22227/1997-0935.2023.3.391-400. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 3. – С. 391–400.
4. Трошин, М. Ю. Влияние шага поперечных слоев на деформативность и распределение напряжений в пятислойных плитах древесины перекрестно-клееной / М. Ю. Трошин, А. В. Турков. – DOI 10.33979/2073-

- 7416-2023-107-3-35-41. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2023. – № 3 (107). – С. 35–41.
5. Ржаницын, А. Р. Составные стержни и пластинки / А. Р. Ржаницын. – Москва : Стройиздат, 1986. – 316 с. – Текст : непосредственный.
 6. Трошин, М. Ю. Влияние шага досок в поперечном слое на деформативность и распределение напряжений в трехслойной CLT-панели, смоделированной как составная пластина / М. Ю. Трошин, А. В. Турков. – DOI 10.31660/2782-232X-2023-3-25-32. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2023. – № 3 (105). – С. 25–32.
 7. Failure modes and mechanical properties of bracket anchor connections for cross-laminated-timber / Y. Shen, J. Schneider, S. F. Stierner, X. Ren. – DOI 10.1051/mateconf/201927501011. – Текст : электронный // MATEC Web of Conferences – 2019. – № 275(11):01011. – URL: https://www.researchgate.net/publication/331709903_Failure_Modes_and_Mechanical_Properties_of_Bracket_Anchor_Connections_for_Cross-Laminated-Timber (дата обращения: 07.09.2023).
 8. Evaluation of the mechanical properties of cross laminated timber with elementary beam theories compression / I. P. Christovasilis, M. Brunetti, M. Follesa [et al.]. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.082. – Текст : электронный // Construction and Building Materials. – 2016. – № 122:202-213. – URL: https://www.researchgate.net/publication/304355276_Evaluation_of_the_Mechanical_Properties_of_Cross_Laminated_Timber_with_Elementary_Beam_Theories (дата обращения: 07.09.2023).
 9. Особенности поведения древесины перекрестно-клееной (ДПК/CLT) при статических и динамических нагрузках, моделирующих сейсмические воздействия / А. Бубис, И. Р. Гизятуллин, А. Н. Хворова, И. Ю. Петров. – DOI 10.37153/2618-9283-2022-2-62-80. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2022. – № 2. – С. 62–80.
 10. Рогожина, А. В. Расчет деформативности CLT-панели перекрытия / А. В. Рогожина. – Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 6 (90). – С. 329–339.
 11. Методика расчета панелей из перекрестно-клееной древесины / Ш. М. Мамедов, Е. Г. Шабилова, Д. В. Нижегородцев, Т. Н. Казакевич. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-5-66-71. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 5 (82). – С. 66–71.
 12. Чебыкин, А. А. Определение расчетных характеристик сечений древесных клееных плит из перекрестных досок / А. А. Чебыкин, Ю. А. Фрицлер, С. В. Кудрявцев. – Текст : непосредственный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2017. – № 2 (33). – С. 83–85.
 13. Филимонов, М. А. Исследования прочностных и упругих характеристик плит из древесины перекрестно-клееной (ДПК/CLT) российского производства / М. А. Филимонов, П. Н. Смирнов. – DOI 10.37153/2618-9283-2022-2-81-97. – Текст : непосредственный // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2022. – № 2. – С. 81–97.
 14. Определение прочностных и упругих характеристик древесины перекрестно-клееной (ДПК/CLT) и классификация по классам прочности : отчет о НИР / Научно-исследовательский центр «Строительство» ; А. А. Погорельцев, М. А. Филимонов, П. Н. Смирнов. – Москва, 2020. – 175 с. – Текст : непосредственный.
 15. Проведение исследований по определению несущей способности стеновых панелей и плит перекрытия из древесины перекрестно-клееной (ДПК/CLT) и разработка методики расчета : отчет о НИР / Научно-исследовательский центр «Строительство» ; А. А. Погорельцев, П. Н. Смирнов, М. А. Филимонов. – Москва, 2020. – 268 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Esaulenko, I. V. (2021). Prospects for the development of high-rise wooden housing construction in Russia on foreign experience. *Architecture, construction, transport*, (4(98)), pp. 17-25. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2021-4-17-25.
2. Ashkenazi, E. K. (1978). *Anizotropiya drevesiny i drevesnykh materialov*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 224 p. (In Russian).
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. (In Russian). DOI 10.22227/1997-0935.2023.3.391-400.
4. Troshin, M. Yu., & Turkov, A. V. (2023). The effect of the step of transverse layers on the deformability and stress distribution in five-layer slabs of CLT-panels. *Building and reconstruction*, (3(107)), 35-41 pp. (In Russian). DOI 10.33979/2073-7416-2023-107-3-35-41.

5. Rzhantsyn, A. R. (1986). *Sostavnye sterzhni i plastinki*. Moscow, Stroyizdat Publ., 316 p. (In Russian).
6. Troshin, M. Yu., & Turkov, A. V. (2023). The effect of the lamella pitch in the transverse layer on the deformability and stress distribution in a three-layer CLT panel modeled as a composite plate. *Architecture, Construction, Transport*, (3(105)), pp. 25-32. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2023-3-25-32.
7. Shen, Y., Schneider, J., Stierner, S. F., & Ren, X. (2019). Failure modes and mechanical properties of bracket anchor connections for cross-laminated-timber. *MATEC Web of Conferences*, No 275(11):01011. (In English). Available at: https://www.researchgate.net/publication/331709903_Failure_Modes_and_Mechanical_Properties_of_Bracket_Anchor_Connections_for_Cross-Laminated-Timber (accessed 07.08.2023). DOI 10.1051/mateconf/201927501011.
8. Christovasilis, I. P., Brunetti, M., Follesa, M., Nocetti, M., & Vassallo, D. (2016). Evaluation of the mechanical properties of cross laminated timber with elementary beam theories compression. *Construction and building materials*, No 122:202-213. (In English). Available at: https://www.researchgate.net/publication/304355276_Evaluation_of_the_Mechanical_Properties_of_Cross_Laminated_Timber_with_Elementary_Beam_Theories (accessed 07.08.2023). DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.082.
9. Bubis, A. A., Giziatullin, I. R., Petrov I. Yu., & Khvorova, A. N. (2022). Peculiarities of behavior of cross-laminated timber (CLT) under static and dynamic loads simulating seismic impacts. *Earthquake engineering. Constructions safety*, (2), 62-80 pp. (In Russian). DOI 10.37153/2618-9283-2022-2-62-80.
10. Rogozhina, A. V. (2022). Calculation of the deformability of the CLT overlap panel. *Engineering journal of Don*, (6(90)), pp. 329-339. (In Russian).
11. Mamedov, Sh. M., Shabikova, E. G., Nizhegorodtsev, D. V., & Kazakevich, T. N. (2020). Method for calculating cross laminated timber panels. *Bulletin of Civil Engineers*, (5(82)), pp. 66-71. (In Russian). DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-5-66-71.
12. Chebykin, A. A., Fritzler, U. A., & Kudryavtsev, S. V. (2017). Evaluation of cross section design properties for plates from cross laminated timber. *Akademicheskij vestnik Uralniiproekt RAASN*, (2(33)), pp. 83-85. (In Russian).
13. Filimonov, M. A., & Smirnov, P. N. (2022). Research of strength and elastic characteristics of Russian-made cross laminated timber slabs. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*, (2), pp. 81-97. (In Russian). DOI 10.37153/2618-9283-2022-2-81-97.
14. Pogoreltsev, A. A., Filimonov, M. A., & Smirnov, P. N. (2020). *Opredelenie prochnostnyh i uprugih karakteristik drevesiny perekrestno kleenoy (DPK/CLT) i klassifikacija po klassam prochnosti: otchet o NIR*. Moscow, 175 p. (In Russian).
15. Pogoreltsev, A. A., Smirnov, P. N., & Filimonov, M. A. (2020). *Provedenie issledovaniy po opredeleniyu nesushchey sposobnosti stenovykh paneley i plit perekrytiya iz drevesiny perekrestno kleenoy (DPK/CLT) i razrabotka metodiki rascheta: otchet o NIR*. Moscow, 268 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Трошин Михаил Юрьевич, аспирант кафедры строительных конструкций и материалов, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева e-mail: mtr997@mail.ru. ORCID 0009-0008-2890-2571

Андрей Викторович Турков, докт. техн. наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций и материалов, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, e-mail: aturkov@bk.ru. ORCID 0000-0003-1944-8529

Заев Алексей Владимирович, аспирант кафедры строительных конструкций и материалов, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, e-mail: alexvzj@yandex.ru.

Information about the authors

Mikhail Yu. Troshin, Postgraduate at the Department of Building Structures and Materials, Orel State University named after I. S. Turgenev, e-mail: mtr997@mail.ru. ORCID 0009-0008-2890-2571

Andrei V. Turkov, D. Sc. in Engineering, Associate Professor, Professor at the Department of Building Structures and Materials, Orel State University named after I. S. Turgenev, e-mail: aturkov@bk.ru. ORCID 0000-0003-1944-8529

Aleksey V. Zaev, Postgraduate at the Department of Building Structures and Materials, Orel State University named after I. S. Turgenev, e-mail: alexvzj@yandex.ru