

УДК 694.14

doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-53-64](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-53-64)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДРЕВЕСИНЫ ПЕРЕКРЕСТНОКЛЕЕНОЙ НА ВИНТАХ, В ТОМ ЧИСЛЕ ДЛЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

А.Р. САЛИМУЛЛИН^{1,2,✉}П.Н. СМИРНОВ¹, канд. техн. наук¹Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация²ФГБВОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» Минобрнауки России (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Прочность и деформативность соединений панелей из древесины перекрестноклееной (далее по тексту – ДПК/CLT) играют важную роль в обеспечении прочности и жесткости несущего каркаса здания. Актуальность исследования обосновывается тем, что несмотря на большое количество исследований соединений ДПК/CLT, в европейских и североамериканских нормах проектирования отсутствуют данные в части пластической работы, коэффициентов запасов прочности и характера разрушения используемых соединений.

Целью работы являлось определение несущей способности, коэффициентов жесткости и пластичности узловых соединений ДПК/CLT с учетом конструктивных особенностей древесины перекрестноклееной.

Материалы и методы. На основании установленных наиболее распространенных решений узловых соединений панелей ДПК/CLT («внахлест», «с прокладкой», «с накладкой», «встык» и «угловой») были изготовлены серии образцов для их последующих испытаний с вариацией по количеству слоев и диаметру винтов. Методика исследования была разработана на основе ГОСТ 33082-2014 и анализе зарубежного опыта. Исследования проводились на базе лаборатории несущих деревянных конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.

Результаты. На основе экспериментальных данных установлены нормативная и расчетная несущая способность, коэффициенты жесткости и пластичности для пяти типов соединений ДПК/CLT в зависимости от количества и направления наружных слоев, а также от диаметра винтов. Для оценки работы соединений за пределом упругой работы предлагается использовать шкалу оценки пластичности – соединение может быть хрупкое, с низкой пластичностью, с умеренной пластичностью и высокой пластичностью.

Выводы. Конструктивные особенности ДПК/CLT, такие как количество слоев, их толщина, а также ориентация внешних слоев оказывают существенное влияние на прочностные и деформационные характеристики узловых соединений ДПК/CLT на винтах. Результаты исследований предполагается использовать при актуализации СП 299.13258800.2017 «Конструкции деревянные с узлами на винтах».

Ключевые слова: древесина перекрестноклееная, деревянные конструкции, узловые соединения, соединения на винтах, прочность, деформативность, податливость, несущая способность, методы испытаний

Для цитирования: Салимуллин А.Р., Смирнов П.Н. Разработка и исследование узловых соединений древесины перекрестноклееной на винтах, в том числе для многоэтажных зданий // Вестник НИЦ «Строительство». 2022. Т. 32. № 1. С. 53–64. doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-53-64](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-53-64)

Вклад авторов

Смирнов П.Н. – формирование идеи; формулировка или развитие ключевых целей и задач.

Салимуллин А.Р. – проведение исследований, в частности проведение экспериментов или сбор данных/доказательств, анализ и интерпретация полученных данных.

Финансирование

Исследование проводилось при государственном финансировании.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF SCREWED CROSS-LAMINATED TIMBER NODAL JOINTS FOR MULTI-STOREY BUILDINGS

A.R. SALIMULLIN^{1,2✉}

P.N. SMIRNOV¹, Cand. Sci. [Engineering]

¹Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

²National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

Abstract

Introduction. The strength and deformability of cross-laminated timber (CLT) panels ensure the strength and stiffness of load-bearing frames. However, despite numerous studies on CLT joints, data on plastic behavior, safety coefficient, and the failure behavior of used joints are lacking in European and North American design standards.

Aim. The work addresses the load-bearing capacity, coefficients of stiffness and ductility of CLT joints, following the design features of cross-laminated timber.

Materials and methods. A series of samples were produced based on conventional solutions for CLT panels (“overlap,” “gasket-sealed,” “strapped,” “butt,” and “halved corner”), having various layers and diameters of a screw, and subjected to subsequent testing. The research procedure was developed following GOST 33082-2014 and foreign practices. The research was carried out at the Laboratory of Timber Structures of TSNIISK named after V.A. Koucherenko.

Results. Based on the experimental data, the normative and design load-bearing capacity, coefficients of stiffness and ductility for five types of CLT joints were established, depending on the number and direction of the outer layers, as well as the screw diameter. A plastic behavior rating scale was proposed to assess the performance of joints beyond elastic behavior, namely, a joint can be brittle, with low, moderate, or high plasticity.

Conclusions. The design features of CLT, such as the number of layers and their thickness, as well as the orientation of the outer layers, significantly influence the strength and deformation characteristics of screwed nodal CLT joints. The research results are intended for updating Rules and Regulations 299.13258800.2017 “Timber structures with screwed nodal joints.”

Keywords: cross-laminated timber, timber structures, nodal joints, screwed joints, strength, stress-strain behavior, ductility, load-bearing capacity, test methods

For citation: Salimullin A.R., Smirnov P.N. Development and research of screwed cross-laminated timber nodal joints for multi-storey buildings. Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2022. Vol. 32. No. 1. P. 53–64 (In Russ.). doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1\(32\)-53-64](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-1(32)-53-64)

Author contribution statements

Smirnov P.N. – concept development, identification of key goals and objectives.

Salimullin A.R. – conducting research, including experimentation or data/evidence collection, data analysis and interpretation.

Funding

The research was supported by public funding.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Введение

Древесина перекрестноклееная (ДПК/CLT) является новым для России материалом, состоящим из ортогонально склеенных слоев из досок. ДПК/CLT позволяет строить здания из несущих деревянных панелей (стенные панели, плиты перекрытия и покрытия), в том числе многоэтажные.

Прочность и деформативность соединений панелей из ДПК/CLT играют важную роль в обеспечении прочности и жесткости несущего каркаса здания. Например, жесткость перекрытия, работающего в качестве диафрагмы, и стен здания при сопротивлении боковым нагрузкам зависит от конструктивных особенностей узловых соединений, используемых для их крепления. Расчет узловых соединений особенно важен в многоэтажных зданиях и при строительстве в районах с сейсмической активностью.

На сегодняшний день в сводах правил по деревянным конструкциям отсутствует методика расчета несущей способности узловых соединений ДПК/CLT на винтах, учитывающая особенности конструкции древесины перекрестноклееной, связанных с ортогональным расположением досок в слоях.

В Европе и Северной Америке проводились исследования узловых соединений ДПК/CLT. Результаты исследований приведены в работах [1–14].

Несмотря на большое количество исследований соединений ДПК/CLT, в европейских и североамериканских нормах проектирования отсутствуют данные в части пластической работы, коэффициентов запасов прочности и характера разрушения используемых соединений.

Цель и методика исследования

Целью работы являлось определение несущей способности, жесткости и пластичности узловых соединений ДПК/CLT с учетом конструктивных особенностей древесины перекрестноклееной.

Исследование выполнялось в соответствии с методикой, разработанной на основе ГОСТ 33082-2014 и анализе зарубежной научно-технической и нормативной базы [1–14].

Описание исследования

Исследования проводились на базе лаборатории несущих деревянных конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко при государственном финансировании.

В результате анализа мировой практики применения узловых соединений ДПК/CLT на винтах были определены основные типы используемых соединений.

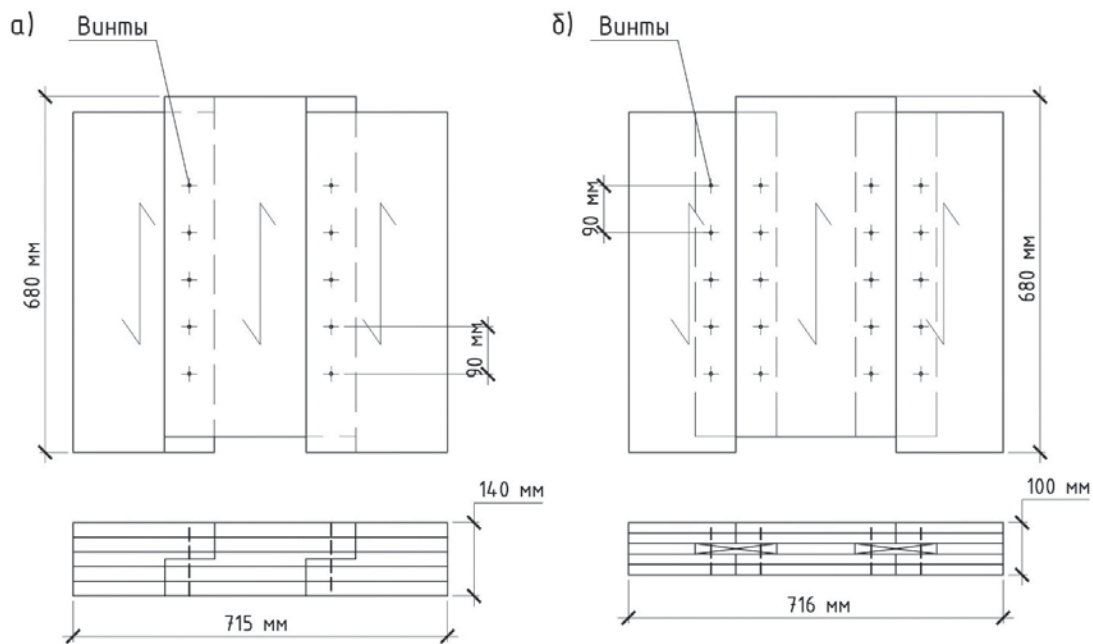


Рис. 1. Конструкция образцов узловых соединений типов «внахлест» (а) и «с прокладкой» (б)
Fig. 1. Design of overlap (a) and gasket-sealed (b) joints

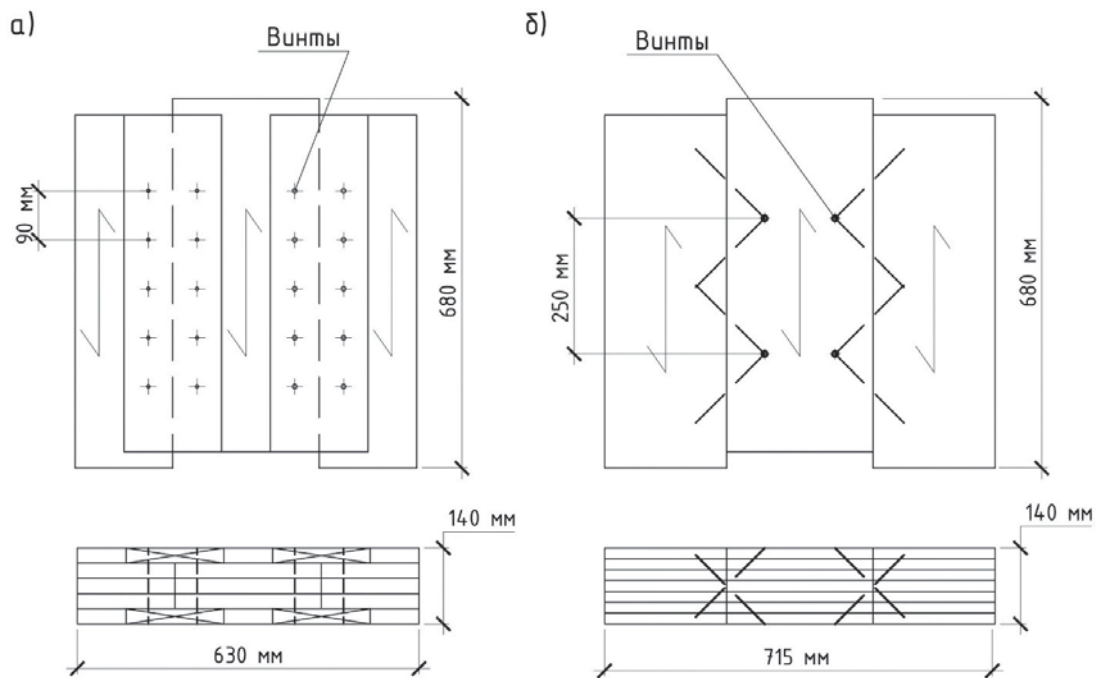


Рис. 2. Конструкция образцов соединений типов «с накладкой» (а) и «встык» (б)
Fig. 2. Design of strapped (a) and butt (b) joints

На основании установленных наиболее распространенных решений узловых соединений панелей ДПК/CLT были изготовлены серии образцов для их последующих испытаний с вариацией по количеству слоев и диаметру винтов.

Конструкции образцов для рассматриваемых типов соединений приведены на рис. 1–3.

В табл. 1 приведены параметры узловых соединений, для которых определялись характеристики прочности и деформативности.

Для образцов соединений типов «внахлест», «с прокладкой» и «с накладкой» использовались винты с неполной резьбой, в типах «встык» и «угловой» (с наклонными винтами) – винты с полной резьбой.

Проведены серии испытаний экспериментальных образцов, направленных на определение несущей способности и деформативности узловых соединений ДПК/CLT на винтах в соответствии с методикой исследований.

Испытания соединений проводили возрастающей нагрузкой с доведением образцов до разрушения. Нагрузку прикладывали ступенями (через равные ступени возрастания нагрузки) домкратом (5 т) с периодической разгрузкой с измерением полных деформаций и их разности на каждой ступени для определения предела упругой работы соединения. Величина ступени составляла 0,08—0,10 разрушающего усилия N_{max} . Приложение нагрузки на образец равными ступенями проводили с постоянной скоростью нагружения в пределах от 2 до 10 мм/мин.

В процессе нагружения фиксировали значения нагрузок и текущее время испытаний. Типовая диаграмма и обозначения фиксируемых величин при ступенчатом нагружении представлены на рис. 4.

Приборы для измерения осевых деформаций соединения устанавливались симметрично с обеих сторон образца по два индикатора на каждое место объединения элементов. Цена деления индикатора составляла 0,01 мм.

В процессе испытаний ступенчатой нагрузкой с разгрузкой (рис. 4) в журнале испытаний фиксировались: значения величины нагрузки на каждой ступени N , величины замера деформаций: полной d_{II} и остаточной d_0 за цикл; а также продолжительность времени t_1 возрастания нагрузки на каждой ступени и общая продолжительность испытаний t_{max} до момента разрушения образца.

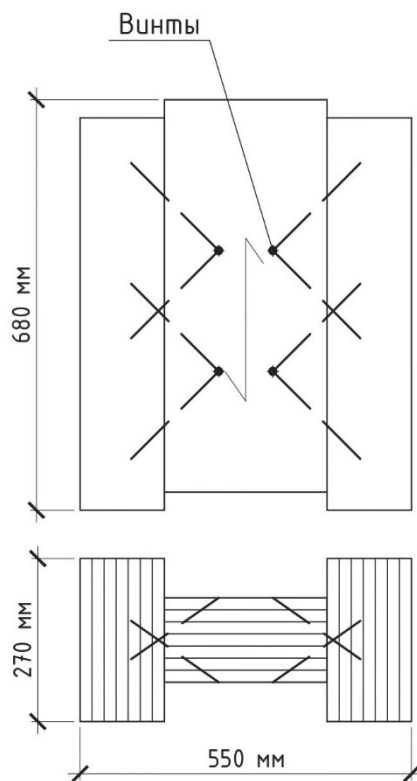


Рис. 3. Конструкция образцов узловых соединений типа «угловой»

Fig. 3. Design of halved corner joint

Таблица 1

Параметры образцов

Table 1

Sample parameters

№ серии	Тип соединения	Варьируемые параметры			
		параметры винтов		параметры CLT	
		диаметр, мм	длина, мм	кол-во слоев	толщина, мм
1-1	Внахлест	6	130	5	140
1-2				7	
2-1	С прокладкой	6	90	5	100
3-1	С накладкой	6	90	5	140
3-2		8	80		
4-1	Встык с наклонными винтами	7	240	7	140
4-2		9	260		
5-1	Угловой с наклонными винтами	7	240	7	140
5-2		9	260		
5-3		7	240	5	100
5-4				3	100
5-5		9	260	5	100
5-6				3	100

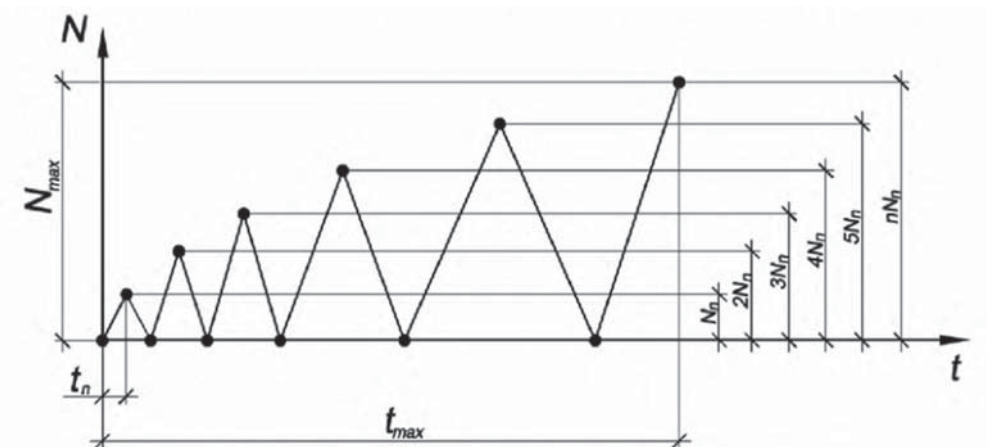


Рис. 4. Диаграмма ступенчатого нагружения образца с разгрузкой
 Fig. 4. Profile of sample stepwise loading with unloading

Испытательный стенд для образцов узловых соединений типов «с прокладкой» и «угловой» изображен на рис. 5.



Рис. 5. Испытательный стенд для образцов узловых соединений типов «с прокладкой» (а) и «угловой» (б)
 Fig. 5. Test bench for gasket-sealed (a) and halved corner (b) joints

Анализ результатов

На основании результатов проведенных экспериментальных исследований были определены нормативные значения прочности и деформативности несущей способности и жесткости узловых соединений ДПК/CLT на винтах.

Жесткость соединений определялась в соответствии с EN 26891 «Timber structures, joints made with mechanical fasteners, general principles for the determination of strength and deformation characteristics» для диапазона кривых нагрузки–смещения между 10 и 40 % от максимальной нагрузки.

Коэффициент пластичности μ рассчитывался как отношение между деформациями сдвига при максимальной нагрузке, d_{max} , и деформациями при пределе упругой работы, d_y , для сравнения испытанных типов соединений с различным деформированием при нагрузке.

Шкала оценки пластичности соединений, предложенная Smith с соавт. [15], использовалась для классификации работы соединений ДПК/CLT на винтах под нагрузкой: хрупкое ($\mu \leq 2$), низкая пластичность ($2 \leq \mu \leq 4$), умеренная пластичность ($4 \leq \mu \leq 6$) и высокая пластичность ($\mu > 6$).

Систематизированные данные прочностных и деформационных характеристик узловых соединений ДПК/CLT «внахлест», «с прокладкой» и «с накладкой» приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что для узловых соединений «внахлест» семислойных панелей толщиной 140 мм (7×20 мм) с поперечно нагруженными винтами диаметром 6 мм, длиной 130

Таблица 2

Анализ результатов испытаний узловых соединений ДПК/CLT «внахлест», «с прокладкой», «с накладкой»

Table 2

Test data analysis of overlap, gasket-sealed, and strapped CLT joints

Тип соединения	№ серии	Разрушающая нагрузка, нормативная прочность, нагрузка для границы упругой работы, несущая способность, кН								Деформации соединения, мм		μ	Жесткость K , кН/мм	
		для соединения				на 1 срез винта				d_{max}	d_e		на 1 срез винта	для соединения
		N_{max}	R_n	N_e	R_d	N_{max}	R_n	N_e	R_d					
«внахлест»	1-1	23,1	15,5	13,5	9,8	4,62	3,10	2,70	1,96	24,94	5,92	4,2	0,46	2,28
	1-2	28,1	18,9	15,9	11,5	5,62	3,78	3,18	2,30	20,73	7,49	2,8	0,42	2,12
«с прокладкой»	2-1	34,6	23,2	17,6	12,8	3,46	2,32	1,76	1,28	15,3	3,80	4,0	0,46	4,63
«с накладкой»	3-1	33,4	22,8	18,5	13,7	3,34	2,28	1,85	1,37	23,35	6,86	3,4	0,27	2,70
	3-2	40,8	27,8	23,3	17,2	4,08	2,78	2,33	1,72	20,99	8,12	2,6	0,29	2,87

мм с неполной резьбой расчетная несущая способность на 18 % превысила аналогичный показатель для узловых соединений пятислойных панелей толщиной 140 мм (5 × 28 мм). Полученные коэффициенты жесткости для этого типа соединений 2,28 и 2,12 кН/мм для семислойных и пятислойных панелей, соответственно, не выявили значительного влияния количества слоев на жесткость узловых соединений. При этом для узловых соединений семислойных панелей был отмечен в 1,5 раза более высокий коэффициент пластичности по сравнению с узловыми соединениями пятислойных панелей. По предложенной в работе [15] шкале пластичности соединения семислойных панелей можно отнести к соединениям с умеренной пластичностью, а соединения пятислойных панелей – к соединениям с низкой пластичностью.

Для узловых соединений пятислойных панелей толщиной 100 мм (5 × 20 мм) «с прокладкой» расчетная несущая способность на один срез винта Ø6 мм оказалась в 1,5 раза ниже, чем для пятислойных панелей «внахлест» толщиной 140 мм (5 × 28 мм) из-за меньшей «рабочей» длины винтов. При этом расчетная несущая способность узлового соединения при одинаковом количестве винтов оказалась на 30 % выше из-за наличия двух плоскостей условного среза для соединений «с прокладкой».

Жесткость узловых соединений «с прокладкой» оказалась в 2 раза выше, чем для узловых соединений «внахлест» при одинаковом диаметре и количестве винтов. Коэффициент пластичности $\mu = 4$ для этих соединений соответствует показателю умеренной пластичности.

Расчетная несущая способность узловых соединений «с накладкой» на один условный срез винта $\varnothing 6$ мм составила 1,37 кН, что соответствовало несущей способности соединений «с прокладкой». Полученная жесткость и пластичность для соединений «с накладкой» с винтами $\varnothing 6$ мм также соответствовала узловым соединениям «с прокладкой», но для узловых соединений «с накладкой» было использовано в два раза больше винтов.

Для узловых соединений «с накладкой» с винтами $\varnothing 8$ мм установленная расчетная несущая способность на 25 % превысила аналогичный показатель для соединений с винтами $\varnothing 6$ мм при сопоставимых значениях коэффициентов жесткости для этих соединений.

Систематизированные данные прочностных и деформационных характеристик узловых соединений ДПК/CLT «встык» и «угловой» приведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что для узловых соединений типа «встык» пятислойных панелей толщиной 140 мм (5×28 мм) с парами перекрестно расположенных винтов $\varnothing 9$ мм длиной 260 мм с резьбой по всей длине несущая способность более чем 1,5 раза выше, чем для аналогичных узловых соединений с винтами $\varnothing 7$ мм длиной 240 мм. Коэффициент жесткости K для узловых соединений с винтами $\varnothing 9$ мм приблизительно на 40 % выше, при этом коэффициент пластичности μ для этих соединений снижается более чем на 60 % в сравнении с узловыми соединениями с винтами $\varnothing 7$ мм.

Расчетная несущая способность узловых соединений типа «угловой» с двумя парами перекрестно расположенных винтов $\varnothing 7$ мм длиной 240 мм для семислойных панелей толщиной 140 мм (7×20 мм) составила 6,44 кН, что ниже, чем для аналогичных соединений пятислойных панелей толщиной 140 мм (5×28 мм) и трехслойных панелей толщиной 100 мм ($40 \times 20 \times 40$ мм) приблизительно на 17 и 12 % соответственно. Для узловых соединений пятислойных панелей и трехслойных панелей жесткость также оказалась выше на 13–14 %. Коэффициент пластичности в зависимости от количества слоев ДПК/CLT менялся незначительно от 4,2 до 4,6, что свидетельствует об умеренной пластичности соединений данного типа с винтами $\varnothing 7$ мм.

Расчетные значения несущей способности для узловых соединений «угловой» семислойных (7×20 мм) и пятислойных (5×28 мм) панелей с двумя парами перекрестно расположенных винтов $\varnothing 9$ мм оказались сопоставимыми 9,15 и 9,07 кН соответственно. Для соединений пятислойных панелей с винтами $\varnothing 9$ мм было отмечено на 25 % более высокое значение коэффициента жесткости и на 56 % коэффициента пластичности в сравнении с соединениями семислойных панелей. Полученные результаты коэффициента пластичности 5,3 для пятислойных панелей и 3,4 для семислойных панелей относят эти соединения к разным группам пластичности – умеренно пластичные и низко пластичные соответственно.

По результатам оценки несущей способности для узловых соединений семислойных панелей типа «угловой» было отмечено значительное влияние диаметра винтов на расчетную несущую способность, коэффициенты жесткости и пластичности соединений. Несущая способность соединений с винтами $\varnothing 9$ мм на 42 % превысила несущую способность соединений с винтами $\varnothing 7$ мм. Жесткость соединений при увеличении диаметра винтов возросла на 54 %, пластичность при этом снизилась на 24 %.

Для соединений типа «угловой» трехслойных панелей с поперечным ориентированием внешних слоев в среднем элементе с винтами $\varnothing 9$ мм расчетная несущая способность составила 8,74 кН. Для этих соединений был отмечен самый высокий коэффициент жесткости 8,18. Установленный коэффициент $\mu = 4,7$ для данного типа соединений свидетельствует об их умеренной пластичности.

Таблица 3

Анализ результатов испытаний узловых соединений ДПК/CLT «встык» и «угловой»

Table 3

Test data analysis of butt and halved corner CLT joints

Тип соединения	№ серии	Разрушающая нагрузка, нормативная прочность, несущая способность, кН						Деформации соединения, мм		μ	Жесткость K, кН/мм	
		для соединения			на 1 пару винтов			d_{max}	d_d		1 пары винтов	для соединения
		N_{max}	R_n	R_d	N_{max}	R_n	R_d					
«встык»	4-1	27,8	18,6	11,8	13,89	9,29	5,91	10,16	1,63	6,2	3,77	7,54
	4-2	42,8	28,8	18,3	21,38	14,41	9,17	7,41	1,95	3,8	5,35	10,69
«угловой»	5-1	30,4	20,2	12,9	15,19	10,12	6,44	6,58	1,58	4,2	4,08	8,17
	5-2	43,0	28,8	18,3	21,50	14,38	9,15	6,03	1,75	3,4	6,08	12,16
	5-3	35,3	23,6	15,0	17,65	11,82	7,52	7,28	1,70	4,3	4,66	9,32
	5-4	33,9	22,7	14,4	16,93	11,32	7,20	8,52	1,87	4,6	4,61	9,21
	5-5	42,6	28,5	18,1	21,31	14,26	9,07	6,43	1,22	5,3	7,64	15,27
	5-6	41,2	27,5	17,5	20,57	13,74	8,74	5,19	1,11	4,7	8,18	16,35

Из табл. 2 и 3 видно, что полученные результаты исследований продемонстрировали влияние диаметра винтов и количества слоев ДПК/CLT на несущую способность.

Для узловых соединений «встык» и «угловой» была получена относительно высокая жесткость от 7,54 до 16,35 кН/мм на одно соединение (две пары перекрестных винтов). Для соединений с поперечно нагруженными винтами максимальная зафиксированная жесткость оказалась для соединений «с прокладкой» 4,5 кН/мм. Для соединений «внахлест» и «с накладкой» были отмечены самые низкие показатели жесткости – 2–3 кН/мм на одно соединение (пять винтов).

Для узловых соединений типа «внахлест», «с прокладкой» и «с накладкой» с винтами, нагруженными в основном поперечной силой, коэффициент пластичности μ составлял от 2,6 до 4,2, что характеризовало их как соединения с низкой или умеренной пластичностью. Коэффициент пластичности для узловых соединений типа «встык» и «угловой» с винтами, загруженными в поперечном и осевом направлении, составил от 4,2 до 6,2, что соответствует умеренной или высокой пластичности. При этом для двух серий соединений семислойных панелей «встык» и «угловой» с винтами Ø9 мм были отмечены низкие значения коэффициента пластичности $\mu < 4$.

Пластический характер разрушения для типов соединений «внахлест», «с прокладкой» и «с накладкой» с поперечно нагруженными винтами независимо от диаметра винтов (Ø6 и Ø8 мм) не приводил к разрушению деревянных элементов. Только в одном образце для соединения типа «с накладкой» было зафиксировано разрушение от раскалывания накладки по оси винтов. При этом для соединений с поперечно нагруженными винтами

при разрушении наблюдался значительный изгиб крепежных элементов и смятие древесины в отверстии шурупов в направлении действия силы.

Для соединений на винтах «встык» и «угловой» с осевой и боковой нагрузкой раскалывание панелей ДПК/CLT не наблюдалось. Разрушение происходило от вдавливания в древесину винта, работающего на растяжение и сдвиг, и выдергивания винта, работающего на сжатие и сдвиг. Механизм разрушения, наблюдаемый для этих соединений, характеризовался образованием пластических шарниров в винтах. При испытаниях на сдвиг соединения демонстрировали вращение из плоскости в направлении сжатых винтов, при этом наблюдался пластичный характер работы без разрыва винтов или разрушения от раскалывания древесины.

При испытаниях соединений типа «внахлест», «с прокладкой» и «с накладкой» при больших деформациях наблюдался чистый сдвиг без поворотов из плоскости.

Заключение

Результаты анализа и обработки экспериментальных данных прочностных и деформационных характеристик соединений ДПК/CLT на винтах позволяют сделать следующие выводы:

- полученные в ходе исследований экспериментальные данные позволили установить нормативную прочность, расчетную несущую способность, деформативность, жесткость и показатель пластичности для основных пяти типов узловых соединений ДПК/CLT на винтах: «внахлест», «с прокладкой», «с накладкой», «встык» и «угловой»;

- конструктивные особенности ДПК/CLT, такие как количество слоев, их толщина, а также ориентация внешних слоев оказывают существенное влияние на прочностные и деформационные характеристики узловых соединений ДПК/CLT на винтах;

- нормативная прочность, несущая способность, жесткость и показатель пластичности для узловых соединений в значительной степени зависят от диаметра винтов, используемых для соединений;

- узловые соединения «внахлест», «с прокладкой» и «накладкой» пятислойных и семислойных панелей с поперечно нагруженными винтами диаметром 7 мм показали самую низкую расчетную несущую способность 10–14 кН. Применение винтов диаметром 9 мм позволяет увеличить расчетную несущую способность этого типа соединений в среднем на 20 %;

- установленные значения расчетной несущей способности узловых соединений «встык» и «угловой» со скрещенными винтами, работающими на поперечные и осевые нагрузки, получились сопоставимыми с соединениями с поперечно нагруженными винтами;

- жесткость узловых соединений ДПК/CLT «встык» и «угловой» со скрещенными винтами, работающими на поперечные и осевые нагрузки, значительно (в 2–4 раза) выше, чем для соединений с поперечно нагруженными винтами;

- установленные коэффициенты пластичности для узловых соединений ДПК/CLT «внахлест», «с прокладкой» и «накладкой» с поперечно нагруженными винтами позволили отнести их к соединениям с низкой или умеренной пластичностью;

- для узловых соединений ДПК/CLT «встык» и «угловой» со скрещенными винтами, работающими на поперечные и осевые нагрузки, были определены коэффициенты пластичности, соответствующие умеренной или высокой пластичности.

Результаты исследований предполагается использовать при актуализации СП 299.13258800.2017 «Конструкции деревянные с узлами на винтах».

Список литературы / References

1. Ceccotti A., Lauriola M.P., Pinna M., Sandhaas C. SOFIE project – Cyclic tests on crosslaminated wooden panels. In: Proc. 9th World Conf. Timber Eng. (WCTE 2006), Portland, Oregon, USA; 2006. p. 805–12.
2. Gavric I., Fragiaco M., Ceccotti A. Cyclic behavior of typical screwed connections for cross-laminated (CLT) structures. Eur J Wood Wood Prod. 2015;73. <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0877-6>.
3. Ceccotti A., Sandhaas C., Okabe M., Yasumura M., Minowa C., Kawai N. SOFIE project – 3D shaking table test on a seven-storey full-scale cross-laminated timber building. Earthq Eng Struct Dyn. 2013;42:2003–21. <https://doi.org/10.1002/eqe.2309>.
4. Gavric I., Fragiaco M., Ceccotti A. Cyclic behavior of CLT wall systems: experimental tests and analytical prediction models. J Struct Eng. 2015;141:1–14. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001246](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001246).
5. Gavric I., Fragiaco M., Ceccotti A. Cyclic behaviour of typical metal connectors for cross-laminated (CLT) structures. Mater Struct. 2014. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0278-7>.
6. Tomasi R., Crosatti A., Piazza M. Theoretical and experimental analysis of timber-to timber joints connected with inclined screws. Constr Build Mater. 2010;24:1560–71. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.007>.
7. Jensen J.L., Nakatani M., Quenneville P., Walford B. A simplified model for withdrawal of screws from end-grain of timber. Constr Build Mater. 2012;29:557–63. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.066>.
8. Ringhofer A., Brandner R., Schickhofer G. Withdrawal resistance of self-tapping screws in unidirectional and orthogonal layered timber products. Mater Struct. 2013;48. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0244-9>.
9. Dietsch P., Brandner R. Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements – a state-of-the-art report. Constr Build Mater. 2015;97:78–89. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.028>.
10. Ringhofer A., Brandner R., Schickhofer G. A universal approach for withdrawal properties of self-tapping screws in solid timber and laminated timber products. In: Proc. Int. Netw. Timber Eng. Res. Pap. 48-07-01, Sibenik, Croatia; 2015. p. 79–95.
11. Stamatopoulos H., Malo K.A. Withdrawal capacity of threaded rods embedded in timber elements. Constr Build Mater. 2016;116:263–72. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.144>.
12. Hossain A., Popovski M., Tannert T. Cross-laminated timber connections assembled with a combination of screws in withdrawal and screws in shear. Eng Struct. 2018;168:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.04.052>.
13. Ringhofer A., Brandner R., Blaß H.J. Cross laminated timber (CLT): design approaches for dowel-type fasteners and connections. Eng Struct. 2018;171:849–61. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.032>.
14. Ringhofer A. Axially loaded self-tapping screws in solid timber and laminated timber products PhD Thesis Graz University of Technology; 2017.
15. Joyce T., Ballerini M., Smith I. Mechanical behaviour of in-plane shear connections between CLT wall panels. In: The 44th CIB Working Commission W18 – Timber Structures, Alghero, Italy, 29 August–01 September; 2011.

Информация об авторах / Information about the authors

Айдар Рустемович Салимуллин✉, бакалавр технических наук, инженер лаборатории несущих деревянных конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», студент магистратуры по направлению «Промышленное и гражданское строительство» НИУ МГСУ, Москва
e-mail: aidarslm11@mail.ru

Aidar R. Salimullin✉, B. Sci. (Engineering), Engineer, Laboratory of Timber Structures of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Master's degree student in the direction of "Industrial and Civil Engineering", National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow
e-mail: aidarslm11@mail.ru

Павел Николаевич Смирнов, канд. техн. наук, заведующий лабораторией несущих деревянных конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: spair23@list.ru

Pavel N. Smirnov, Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Chief, Laboratory of Timber Structures of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: spair23@list.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author