

ИССЛЕДОВАНИЕ УЗЛОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С КЛЕЕВИНТОВЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ДЛЯ ДИАФРАГМ И ДИСКОВ ЖЕСТКОСТИ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

П.Н. СМИРНОВ✉, канд. техн. наук
А.Р. САЛИМУЛЛИН

Центральный научно-исследовательский строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко
АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Для многоэтажных зданий с деревянным каркасом жесткость сборных дисков и диафрагм является ключевым параметром при проектировании. При действии горизонтальных ветровых и сейсмических нагрузок жесткость деревянных конструкций и их соединений влияет на распределение усилий между конструктивными элементами и этажами здания. Жесткость и пластичность стыков дисков и диафрагм определяют динамические характеристики каркаса здания, такие как конструкционный логарифмический декремент и коэффициент демпфирования. Жесткость вертикальных и горизонтальных стыков влияет на частоты собственных колебаний многоэтажных зданий, а пластичность – на эффективность рассеивания энергии при сейсмических воздействиях.

Цель. Исследование несущей способности, жесткости и пластичности узлов с клеевинтовыми соединениями для горизонтальных и вертикальных стыков дисков и диафрагм жесткости многоэтажных деревянных зданий.

Материалы и методы. По методикам ГОСТ 33082-2014 проведен комплекс экспериментальных исследований прочностных и деформационных характеристик соединений на клеевинтовых стержнях и узлов на их основе для межплитных и межпанельных стыков дисков и диафрагм жесткости из клееных деревянных конструкций.

Результаты. Определена несущая способность, коэффициенты жесткости, пластичности клеевинтовых соединений с различной глубиной вкручивания винтовых стержней и узловых соединений для стыков деревянных дисков и диафрагм жесткости при различных типах нагружения (сдвиг, растяжение и сжатие).

Выводы. По результатам анализа проведенных исследований установлено, что разработанные узлы деревянных конструкций с клеевинтовыми соединениями отвечают требованиям высокой жесткости и могут использоваться для стыков дисков перекрытий и стеновых диафрагм многоэтажных деревянных зданий. Полученные значения коэффициентов пластичности для испытанных узловых соединений свидетельствуют об их способности эффективно рассеивать энергию при сейсмических воздействиях на здание.

Ключевые слова: многоэтажные деревянные здания, диафрагмы жесткости, диски жесткости, горизонтальные стыки, вертикальные стыки, узловое соединения деревянных конструкций, клеевинтовые соединения, несущая способность, жесткость, пластичность

Для цитирования: Смирнов П.Н., Салимуллин А.Р. Исследование узлов деревянных конструкций с клеевинтовыми соединениями для диафрагм и дисков жесткости многоэтажных зданий. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;43(4):40–49. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4\(43\)-40-49](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4(43)-40-49)

Вклад авторов

Смирнов П.Н. – общее руководство работой, разработка идеи, проведение исследований, написание статьи.

Салимуллин А.Р. – проведение исследований.

Финансирование

Финансирование НИОКР осуществлялось в рамках реализации программы прикладных научных исследований на 2024 год, утвержденной Минстроем России.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 29.10.2024

Поступила после рецензирования 19.11.2024

Принята к публикации 21.11.2024

STUDY OF JOINTS IN WOODEN STRUCTURES WITH GLUE AND SCREW CONNECTIONS FOR STIFFENING DIAPHRAGMS AND DISKS IN MULTI-STORY BUILDINGS

P.N. SMIRNOV✉, Cand. Sci. (Engineering)

A.R. SALIMULLIN

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

Abstract

Introduction. The stiffness of prefabricated disks and diaphragms is considered a key parameter in designing multi-story buildings with wooden frames. Under the action of horizontal wind and seismic loads, the stiffness of wooden structures and their connections affects the distribution of forces among the structural elements and floors of the building. The stiffness and ductility of the joints in disks and diaphragms determine the dynamic characteristics of the building frame, such as the structural logarithmic decrement and damping ratio. The stiffness of vertical and horizontal joints influences the natural frequencies of multi-story buildings, while ductility affects the efficiency of energy dissipation during seismic events.

Aim. To investigate the load-bearing capacity, stiffness, and ductility of joints with glue and screw connections for horizontal and vertical joints in stiffening diaphragms and disks in multi-story wooden buildings.

Materials and methods. Following the methodologies outlined in State Standard 33082-2014, a comprehensive experimental study was conducted to assess the strength and deformation characteristics of connections using glued and screwed rods and joints based on them for inter-slab and inter-panel joints in stiffening diaphragms and disks made from laminated wood structures.

Results. The load-bearing capacity, stiffness coefficients, and ductility of glue and screw connections with varying depths of screw rod insertion and joint connections for wooden disks and diaphragms were determined under various loading types (shear, tension, and compression).

Conclusions. The analysis showed that the developed joints for wooden structures with glue and screw connections meet the requirements for high stiffness and can be utilized for joints in floor disks and wall diaphragms of multi-story wooden buildings. The obtained values of ductility coefficients for the tested joint connections indicate their capability to effectively dissipate energy during seismic impacts on the structure.

Keywords: multi-story wooden buildings, stiffening diaphragms, stiffening disks, horizontal joints, vertical joints, joint connections in wooden structures, glue and screw connections, load-bearing capacity, stiffness, ductility

For citation: Smirnov P.N., Salimullin A.R. Study of joints in wooden structures with glue and screw connections for stiffening diaphragms and disks in multi-story buildings. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;43(4):40–49. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4\(43\)-40-49](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4(43)-40-49)

Authors contribution statement

Smirnov P.N. – general guidance, concept statement, conducting research, writing the article.

Salimullin A.R. – conducting research.

Funding

Funding of Research and Development was carried out as part of the applied scientific research program for 2024, approved by the Ministry of Construction of Russia.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 29.10.2024

Revised 19.11.2024

Accepted 21.11.2024

В современной мировой практике строительства многоэтажных деревянных зданий широко применяется каркасная конструктивная система. Для обеспечения устойчивости каркаса многоэтажных зданий при поперечных нагрузках (ветровых или сейсмических) используются сборные диафрагмы и диски жесткости из клееных деревянных конструкций.

Зарубежные исследования стеновых диафрагм и дисков перекрытий проводились в основном с традиционными соединениями на винтах, гвоздях, нагелях совместно со стальными соединительными деталями, например уголками или накладками [1–10]. Анализ жесткости традиционных соединений показал, что их жесткость недостаточна для того, чтобы сборная конструкция работала аналогично конструкции без стыков [4].

Для проектирования сборных диафрагм в Италии в лаборатории CNR-IVALSA и Университете Тренто проводились комплексные исследования традиционных соединений [11, 12] и инновационной системы соединений X-RAD для стыков диафрагм из ДПК/CLT (древесина перекрестно-клееная) и крепления их к фундаменту. Основой системы X-RAD являются точечные узловые соединения в углах панелей ДПК/CLT, которые выполняются с помощью винтов-саморезов и стальных соединительных деталей и при этом работают на сжатие, растяжение и сдвиг. Преимуществом данного типа соединений является предсказуемость распределения усилий в сборных конструкциях, а также сокращение сроков их монтажа. Результаты комплексных исследований подтвердили вывод, сделанный в работе [4], о недостаточной жесткости традиционных соединений для стыков сборных диафрагм многоэтажных зданий. Кроме того, установлено, что инновационная система соединений X-RAD с креплением элементов диафрагм в углах имеет целый ряд преимуществ перед традиционными соединениями, но их прочность и жесткость позволяют строить многоэтажные здания только до 9 этажей, а в сейсмически опасных районах – не более 6 этажей.

В ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко разработан новый тип клеевинтовых соединений деревянных конструкций, особенностью которых является ввинчивание стержня с метрической резьбой в просверленное отверстие, древесина в котором предварительно пропитывается клеем. Применение клеевинтовых соединений для стыков диафрагм из ДПК/CLT позволит повысить их несущую способность и жесткость, а также снять зависимость от поставок импортных соединительных деталей. Наличие резьбы упростит собираемость конструкций на строительной площадке, что будет способствовать увеличению темпов строительства деревянных зданий.

В 2023 году проводилась научно-исследовательская работа, направленная на разработку и исследование узловых соединений сборных клееных деревянных конструкций для многоэтажных зданий с новым типом соединений на клеевинтовых стержнях. Для разработки узловых соединений определялись прочностные и деформационные характеристики клеевинтовых соединений под углом 45° к волокнам древесины в зависимости от длины ввинчивания стержней. Для этого были изготовлены четыре серии по пять образцов из клееной древесины ($\rho_{\text{сред.}} = 420 \text{ кг/м}^3$, $W_{\text{древ.}} = 10,5\%$) с длиной ввинчивания стержней 100, 300, 450 и 600 мм. Для стержней использовались полнорезьбовые шпильки М20 класса прочности 10.9.

Испытания клеевинтовых стержней на выдергивание выполнялись по ГОСТ 33082-2014 [13] в универсальной испытательной машине мощностью 300 кН. Результаты испытаний приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

**Прочностные и деформационные характеристики клеевинтовых стержней
М20 при выдергивании под углом 45°**

Table 1

**Strength and deformation characteristics of M20 glued and screwed rods when pulled out
at an angle of 45°**

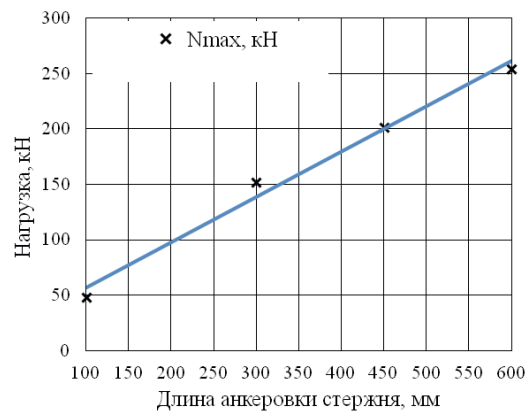
Глубина анкеровки, мм	N_e , кН	N_{max} , кН	τ_{max} , Н/мм ²	$T_{\text{расч}}$, кН	$K_{\text{сред}}$, кН/мм	$\mu_{\text{сред}}$
100	32,8	43,5	6,9	16,0	103,5	2,3
300	107,9	151,7	8,0	94,1	124,7	2,1
450	125,3	201,8	7,1	128,1	124,9	2,8
600	171,4	254,3	6,7	205,4	123,9	2,9

Примечание: N_e – граница упругой работы; N_{max} – разрушающая нагрузка; $T_{\text{расч}}$ – расчетная несущая способность; K – коэффициент жесткости; μ – коэффициент пластичности.

Note: N_e – elastic limit; N_{max} – ultimate load; T_{des} – design load-bearing capacity; K – stiffness coefficient; μ – plasticity coefficient.



а (a)



б (b)

Рис. 1. Результаты испытаний на выдергивание клеевинтовых стержней под углом 45° к волокнам древесины: а – испытание образца; б – график несущей способности соединений от длины анкеровки

Fig. 1. Results of pull-out tests for glued and screwed rods at an angle of 45° to the wood fibers: а – testing of the sample; б – graph of the load-bearing capacity of the connections as a function of the anchorage length

Из графика на рис. 1б видно, что несущая способность клеевинтовых соединений находится в линейной зависимости от длины ввинчивания стержня в пределах 100–600 мм, что свидетельствует о равномерности распределения касательных напряжений ($\tau_{\max} \approx 7$ МПа) по длине стержней.

Увеличение длины клеевинтовых стержней не оказывало влияния на жесткость соединений, коэффициент жесткости составил $K = 124$ кН/мм, за исключением длины ввинчивания 100 мм, при которой величина коэффициента жесткости оказалась меньше на 16,9 % ($K = 103,5$ кН/мм). Это объясняется относительно малой выборкой образцов в серии (5 шт.) и большой изменчивостью величины коэффициента жесткости 90–117,6 кН/мм (в других сериях этого не наблюдалось), а также из-за влияния плотности древесины отдельных досок в клееном пакете, усреднение которой при длине ввинчивания стержней 100 мм было минимальным. Полученные результаты свидетельствуют о высокой жесткости клеевинтовых соединений, которая значительно выше жесткости традиционных соединений нагельного типа – 124 и 6–8 кН/мм (в работах [11, 12]) соответственно.

Пластичность соединений с длиной ввинчивания стержней 450–600 мм на 30 % выше, чем при длине 100–300 мм, коэффициенты пластичности составили 2,85 и 2,2 соответственно, что свидетельствует о низком классе пластичности клеевинтовых соединений ($2 < \mu \leq 4$).

На основании результатов испытаний клеевинтовых соединений были разработаны и испытаны узлы для горизонтальных и вертикальных стыков сборных дисков и диафрагм жесткости – тип 1, крепление к ядру жесткости и фундаменту – тип 2. Узлы проектировались таким образом, чтобы разрушение происходило по стальным соединительным деталям, а не по клеевинтовым соединениям.

Образцы узлов конструкций 1-го типа выполнялись из клееных деревянных элементов КДК (клееные деревянные конструкции) размерами $140 \times 400 \times 985$ мм ($\rho_{\text{сред}} = 420$ кг/м³, $W_{\text{древ}} = 10,5\%$). Для клеевинтовых соединений использовались шпильки М20 класса прочности 10.9 в количестве 4 штук, которые устанавливались под углом 45° к направлению волокон древесины с длиной ввинчивания 300 мм. Соединительная деталь выполнялась из стальной трубы $150 \times 150 \times 8$ мм класса прочности С245, стержни соединялись с трубой с помощью муфт и болтов.

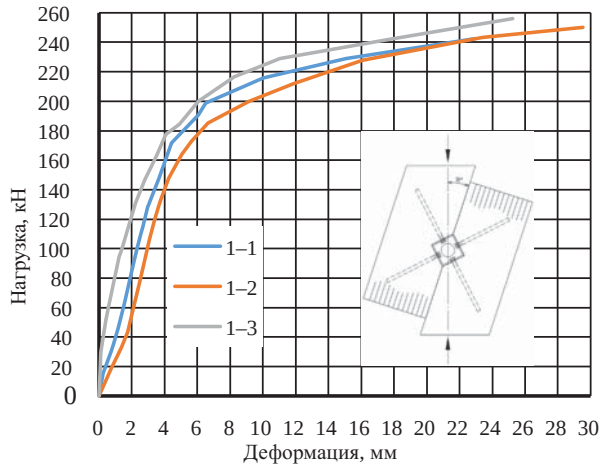
Испытывалось три серии образцов, в которых варьировалась жесткость соединительной детали. В серии № 1-1 жесткость детали обеспечивалась двумя симметричными диафрагмами из листовой стали толщиной 6 мм. Диафрагмы по центру имели отверстия $\varnothing 102$ мм для установки болтов. Соединительные детали в серии № 1-2 отличались тем, что отверстия в диафрагме выполнялись диаметром $\varnothing 82$ мм. В серии № 1-3 жесткость детали обеспечивалась двумя несимметричными диафрагмами толщиной 10 мм (рис. 2а). Одна диафрагма выполнялась в виде глухой стенки, другая – с отверстием $\varnothing 82$ мм. Узловые соединения серий № 1-1 и 1-2 предназначались для стыков сборных конструкций дисков и диафрагм жесткости, а серии № 1-3 – для стыковки конструкций дисков жесткости в местах их крепления к ригелю.

Для испытаний узлов крепления диафрагм и дисков жесткости к ядру жесткости и фундаменту были изготовлены три серии образцов, в которых варьировалось направление действующего усилия на узловое соединение (сжатие, растяжение и сдвиг, рис. 3а–в).

Испытания образцов на сдвиг и сжатие выполнялись по ГОСТ 33082-2014 [13] монотонной нагрузкой в испытательном стенде с гидравлическим домкратом мощностью 500 кН, на растяжение – в универсальной испытательной машине мощностью 300 кН, при этом



а (a)



б (b)

Рис. 2. Испытания узлов для стыков диафрагм и дисков жесткости: а – испытание образца; б – диаграмма сдвига
Fig. 2. Tests of joints in stiffening diaphragms and disks: а – sample test; б – shear diagram

осуществлялась непрерывная запись величины нагрузки и деформаций с использованием тензометрического комплекса TDS-540.

Результаты испытаний приведены в табл. 2, на рис. 2б и рис. 3г.

Из табл. 2 видно, что для узла 1-го типа уменьшение диаметра отверстия на 20 мм в диафрагме соединительной детали в серии № 1-2 привело к увеличению несущей способности узла на 45 % по сравнению с серией № 1-1 (249 и 172 кН соответственно), при этом жесткость соединения увеличилась более чем в 2 раза – с 18,3 до 44,8 кН/мм. Изменение толщины диафрагм с 6 до 10 мм и конструкции детали (одна диафрагма глухая) в серии № 1-3 незначительно (около 10 %) сказалось на увеличении несущей способности узла, при этом коэффициент жесткости практически не изменился. Это объясняется тем, что пластические деформации в узле происходили не только от деформации трубы, но и от местной деформации изгиба стенки трубы под болтами между диафрагмами.

Образцы узлов 2-го типа серии 2 (рис. 3а) испытывались на растяжение в два этапа из-за недостаточной мощности испытательной машины. На первом этапе соединение испытывалось до нагрузки 286 кН и вычислялась жесткость соединений с четырьмя стержнями, которая составила 148 кН/мм. На втором этапе определялась разрушающая нагрузка, для этого на двух стержнях, расположенных в соединении по диагонали, выкручивались болты из соединительных муфт, таким образом стержни выключались из работы, после чего испытание повторялось до разрушения образца. Средняя величина $N_{\max}$ для соединений с двумя стержнями составила 176 кН, что для соединения с четырьмя стержнями $2N_{\max} = 352$ кН. Разрушение образцов происходило от деформации соединительной детали с последующим выдергиванием клеевинтовых стержней. Разрушающая нагрузка из расчета на один стержень составила:

$$N_{\max, \text{KBC}} = N_{\max} \times \cos 45^\circ = 176 \times \cos 45^\circ = 124,4 \text{ кН.} \quad (1)$$



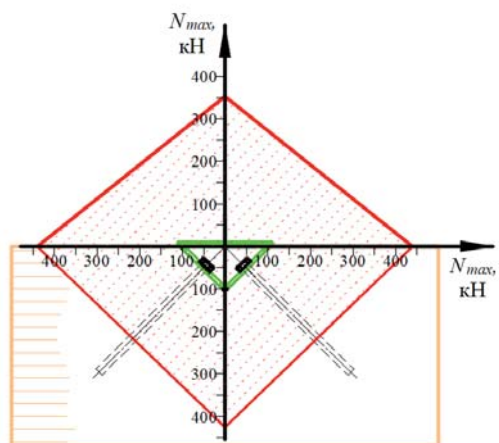
а (a)



б (b)



в (c)



г (d)

Рис. 3. Испытания узлов крепления диафрагм и дисков жесткости к основанию и ядру жесткости:
 а – на растяжение; б – на сжатие; в – на сдвиг; г – эпюра прочности соединения

Fig. 3. Testing of connections of stiffening diaphragm and disks to the base and stiffening core: а – tension test; б – compression test; в – shear test; г – diagram of connection strength

Таблица 2

Результаты испытаний узлов диафрагм и дисков жесткости

Table 2

Results of tests on stiffening diaphragm and disk joints

Тип узла		Нагрузка	№ серии		N_e , кН	N_{max} , кН	$T_{расч}$, кН	$K_{ср\text{ед}}^t$, кН/мм	$\mu_{ср\text{ед}}$
1	Для вертикальных и горизонтальных стыков	Сдвиг	1	1–1	111,0	172,1	100,9	18,3	> 3,6*
				1–2	171,2	248,9	155,7	44,8	5,5
				1–3	187,4	276,6	170,4	41,2	4,0
2	Крепление к ядру жесткости или фундаменту	Растяжение	2	180,5	> 285,8**	164,1	147,6	–	
		Сжатие	3	170,3	425,2	195,8	112,0	5,0	
		Сдвиг	4	341,2	439,3	310,1	47,0	1,9	

Примечание: N_e – граница упругой работы; N_{max} – разрушающая нагрузка; $T_{расч}$ – расчетная несущая способность; K – коэффициент жесткости; μ – коэффициент пластичности; * – образец не доводился до разрушения; ** – величина N_{max} ограничена мощностью испытательной машины (300 кН).

Note: N_e – elastic limit; N_{max} – ultimate load; T_{des} – design load-bearing capacity; K – stiffness coefficient; μ – plasticity coefficient; * – sample was not brought to failure; ** – value of N_{max} is limited by the capacity of the testing machine (300 kN).

Полученная величина N_{max} оказалась ниже установленной на образцах клеевинтовых соединений с длинной ввинчивания стержней 300 мм, которая составила 151,7 кН (табл. 1). Это объясняется тем, что еще на первом этапе испытаний соединений с четырьмя стержнями при уровне нагружения около 200 кН в основании детали появлялась трещина между V-образными стержнями от растягивающих напряжений поперек волокон древесины, которая ослабляла соединение (рис. 4а).

Для узла 2-го типа несущая способность на сжатие (серии № 3, рис. 3б) зафиксирована выше на 20 %, чем на растяжение (серия № 2), 425 и 352 кН соответственно, при этом жесткость оказалась ниже на 31 %, чем при растяжении, 112 и 147 кН/мм соответственно. Это связано с тем, что сжатие воспринималось не клеевинтовыми стержнями, а древесиной на смятие под углом к волокнам в основании соединительной детали.

В серии № 4 (рис. 3в) была зафиксирована самая высокая прочность, которая для узлов, работающих на сдвиг, составила 439 кН, что приблизительно соответствовало прочности пары клеевинтовых стержней, работающих на выдергивание (табл. 2):

$$N_{max, KBC} = N_{max} \times \cos 45^\circ = 439/2 \times \cos 45^\circ = 155,2 \text{ кН.} \quad (2)$$

Установленный коэффициент жесткости $K_{сред} = 47 \text{ кН/мм}$ для узлов в серии № 4 был близким к жесткости узлов в серии № 1 (рис. 2).

В сравнении с клеевинтовыми соединениями пластичность узлов конструкций повысилась за счет пластической работы металлических соединительных деталей, величина коэффициента пластичности μ для серий образцов № 1-3 составила от 4 до 5, что свидетельствует о повышении класса пластичности узлов с клеевинтовыми соединениями до умеренной

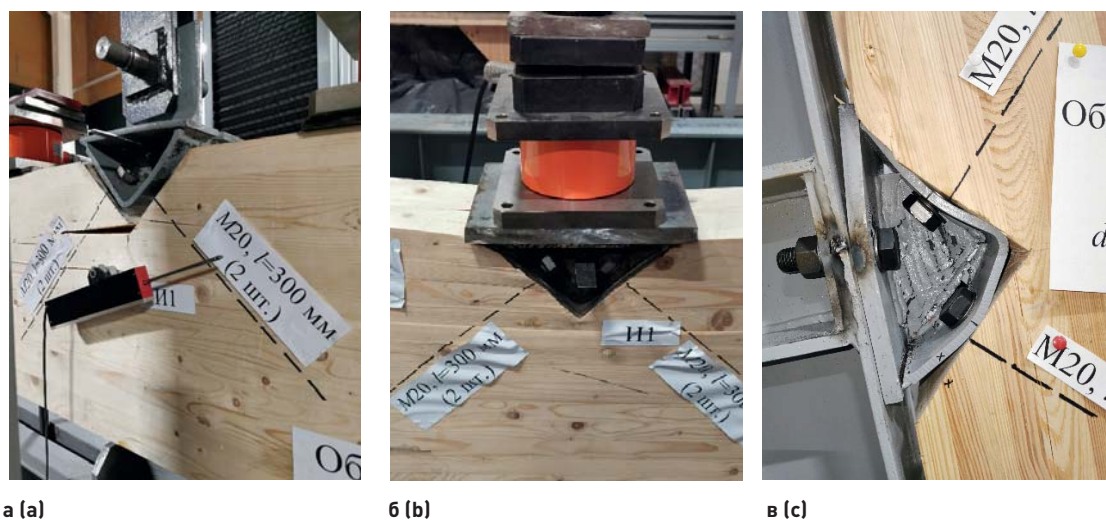


Рис. 4. Характер разрушения узловых соединений 2-го типа: а – на растяжение; б – на сжатие; в – на сдвиг
Fig. 4. Failure characteristics of type 2 joint connections: a – tension test; b – compression test; c – shear test

пластичности ($4 < \mu \leq 6$). Исключением была пластичность узла 2-го типа на сдвиг, где была зафиксирована низкая пластичность $\mu \approx 2$.

По результатам испытаний узловых соединений 1-го типа на сдвиг установлено, что разрушение происходило от деформации трубы с последующим разрушением стальных диафрагм от растяжения. В соединениях 2-го типа при испытаниях на растяжение разрушение происходило от растяжения поперек волокон древесины между стержнями и деформации соединительной детали с последующим выдергиванием стержней (рис. 3а). При сжатии соединений было зафиксировано разрушение от местного смятия древесины под углом 45° к волокнам под деталью и от сжатия образца поперек волокон (рис. 3б). При работе на сдвиг разрушение происходило по сварным швам после значительных деформаций соединительной детали, при этом наблюдалось вдавливание детали в древесину в сжатой зоне (рис. 4).

Выводы

Разработанные и исследованные узлы с клеевинтовыми соединениями отвечают высоким требованиям к жесткости для горизонтальных и вертикальных стыков сборных дисков и диафрагм каркасов многоэтажных деревянных зданий, а установленная умеренная пластичность может использоваться для эффективного противодействия сейсмическим нагрузкам.

Внедрение нового типа соединений на клеевинтовых стержнях для межплитных и межпанельных стыков позволит использовать преимущества сборных конструкций высокой степени заводской готовности.

Список литературы / References

1. 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. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2013;42(13):2003–2021. <https://doi.org/10.1002/eqe.2309>
2. Jung-Kwon Oh., Jung-Pyo Hong. Shear behavior of cross-laminated timber wall consisting of small panel. *Journal of Wood Science*. 2016;63(1):45–55. <https://doi.org/10.1007/s10086-016-1591-2>
3. Ashtari S., Haukaas T., Lam F. In-plane stiffness of cross laminated timber floors. In: *Proceedings of World conference on timber engineering 2014*, Quebec, Canada, Aug. 10–14.
4. Vessby J., Enquist B., Petersson H., Alsmarker T. (2009) Experimental study of cross-laminated timber wall panels. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2009;67(2):211–218. <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0313-5>
5. Okabe M., Yasumura M., Kobayashi K., Fujita K. Prediction of bending stiffness and moment carrying capacity of sugi crosslaminated timber. *Journal of Wood Science*. 2014;60(1):49–58. <https://doi.org/10.1007/s10086-013-1377-8>
6. Oh J.-K., Lee J.-J., Hong J.-P. Prediction of compressive strength of cross laminated timber panel. *Journal of Wood Science*. 2015;61(1):28–34. <https://doi.org/10.1007/s10086-014-1435-x>
7. Filiatrault A., Folz B. Performance-based seismic design of wood framed buildings. *Journal of Structural Engineering*. 2002;128(1):39–47. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2002\)128:1\(39\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2002)128:1(39))
8. *FPIInnovations and Binational Softwood Lumber Council*. Chapter 4 Lateral design of cross-laminated timber building. CLT handbook US edition; 2013.
9. Gavric I., Fragiaco M., Ceccotti A. Cyclic behavior of CLT wall systems: experimental tests and analytical prediction models. *Journal of Structural Engineering*. 2015;141(11):04015034
10. Yasumura M. Determination of failure mechanism of CLT shear walls subjected to seismic action. In: *Proceedings of International Council for Research and Innovation in Building and Construction, Working Commission W18—Timber structures*, CIB-W18/45-15-3. Växjö, Sweden; 2012, pp. 1–9.
11. Tomasi R., Smith I. Experimental characterization of monotonic and cyclic loading responses of CLT panel-to-foundation and angle bracket connections. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2015;27(6):04014189. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001144](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001144)
12. Polastri A., Angeli A. An innovative connection system for CLT structures: experimental – numerical analysis. In: *13th World Conference on Timber Engineering 2014*, Quebec City, Canada; 2014.
13. ГОСТ 33082-2014. Конструкции деревянные. Методы определения несущей способности узловых соединений. Москва: Стандартинформ; 2015.
13. State Standard 33082-2014. Timber structures. Methods of determining the bearing capacity of the joints. Moscow: Standartinform Publ.; 2015. [In Russian].

Информация об авторах / Information about the authors

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), Head of the Laboratory of Load-Bearing Wooden Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: spair23@list.ru

Айдар Рустемович Салимуллин, младший научный сотрудник лаборатории несущих деревянных конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Aidar R. Salimullin, Junior Researcher, Laboratory of Laboratory of Load-Bearing Wooden Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author