

УДК 694.1, 69.07

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1\(28\)-102-109](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1(28)-102-109)

ИСПЫТАНИЕ ОПОРНЫХ УЗЛОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОЛОНН НА НАКЛОННО ВКЛЕЕННЫХ В ТОРЕЦ СТЕРЖНЯХ

TESTS OF WOODEN COLUMNS' SUPPORT NODES WITH THE IN RODS OBLIQUELY GLUED INTO THE END SURFACE

С. Б. ТУРКОВСКИЙ, канд. техн. наук
А. А. ПОГОРЕЛЬЦЕВ, канд. техн. наук
В. О. СТОЯНОВ, канд. техн. наук

Испытаны на сдвиг шарнирные и жесткие узлы крепления деревянных элементов торцами к основанию. Исследованы фрагменты с V-образными анкерами, вклеенными в торец. Испытана на изгиб консоль с защемлением. Оно выполнено вклеенными по краям торца наклонными стержнями, образующими с основанием жесткий контур. Конструкции с жесткими узлами применены в ряде сооружений. Подтверждена высокая прочность узла на сдвиг.

Ключевые слова:

Вклеенный стержень, клееные деревянные конструкции, несущая способность, торец, V-образный анкер

Articulated and rigid knots of fastening of wooden elements with end surfaces to the base tested for shear. Fragments with V-shaped anchors glued into the end surface were tested. Bending console with a rigid knot tested. A rigid knot made with the obliquely glued-in rods. Constructions with the rigid knots used in some structures. High shear strength of the knot confirmed.

Key words:

Bearing capacity, end surface, glued-in rod, glued timber constructions, V-shaped anchor

При проектировании каркасов зданий из клееной древесины по балочно-стоечной схеме существует проблема конструкции узлов опирания колонн на фундаменты, особенно с жестким защемлением. В каркасах с применением металлических и железобетонных конструкций защемленные узлы не вызывают особой сложности. В деревянных конструкциях традиционные решения на болтах имеют большие податливость и металлоемкость, поэтому являются неэффективными.

В последнее время широко используются защемленные опорные узлы деревянных колонн на наклонно вклеенных стержнях, расположенных по боковым граням (система ЦНИИСК), обладающие большой несущей способностью [1]. Однако здесь остаются нерешенными вопросы работы узла на поперечные силы, эстетики, огнестойкости и др.

Известные у нас и за рубежом решения жестких узлов на стержнях, вклеенных в торец вдоль волокон древесины [2, 3], имеют недостаточную надежность из-за совпадения вклеенных стержней с направлением волокон древесины, kleевыми швами и возможными торцевыми трещинами, а также низкую несущую способность при восприятии поперечной силы в узле, работая как вклеенный нагель, и др.

Попытки решения перечисленных проблем привели к разработке варианта опорного узла с V-образными анкерами – комбинированному техническому решению, когда стержни вклеены с торца, но расположены наклонно к волокнам древесины. При этом возможно как жесткое, так и шарнирное решение узла. V-образные анкера позволяют получить эффективное решение, в котором воспринимаются значительные усилия любого вектора, в том числе продольные и поперечные силы. Наклонное расположение вклеенных ветвей анкера обеспечивает им эксплуатационную надежность даже при наличии торцевых трещин и расслоений.

Такие предпосылки и достоинства характерны также для жесткого узла с разнесенными по краям сечения наклонно вклеенными в торец и связанными снизу опорной пластиной стержнями, образующими жесткий контур. Однако для этих двух вариантов существует ограничение по несущей способности, связанное с максимальным числом стержней, размещаемых по торцу сечения.

Обычно для каркасов зданий средних пролетов несущая способность нескольких наклонно вклеенных стержней, которые можно разместить в торце рядовых колонн, достаточна для восприятия действующих усилий. Такие соединения востребованы для каркасных сооружений.

Расчетная несущая способность стержня, вклеенного вдоль волокон перпендикулярно торцу, воспринимающего поперечную силу и работающего как вклеенный нагель, равна $200d^2$ [4]. Несущая способность стержней, вклеенных в торец под углом к волокнам и объединенных пластиной, или V-образных анкеров на порядок превышает таковую для вклеенных нагелей. Здесь вклеенные стержни в упругой стадии работают на осевые усилия продавливания и выдергивания, что существенно повышает несущую способность узла.

Целью исследования являлась разработка и экспериментальное изучение опорных узлов деревянных колонн на наклонно вклеенных в торец стержнях.

Для достижения цели и подтверждения принятых предпосылок в лаборатории деревянных конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко проведены натурные испытания экспериментальных узлов с разной конструктивной схемой.

Пробный опытный образец с V-образными анкерами ($2d20A400 \times 230$ мм), вклеенными в торец, испытывали в специально разработанном стенде 20-тонным домкратом равномерно возрастающей нагрузкой ступенями по 2 т (рис. 1, а). Деформации соединения измерялись на каждой ступени индикаторами часового типа (С 0,01 мм), показания снимались в конце выдержки в течении 1 мин.

В процессе нагружения отмечалась пропорциональная зависимость деформаций сдвига вдоль торца от нагрузки (рис. 1, б). Разрушение произошло при нагрузке $P_{\max} = 120$ кН от вы-

дергивания стержня и раскалывания образца поперек волокон из-за расцентровки стержней в анкере и торцевых трещин.

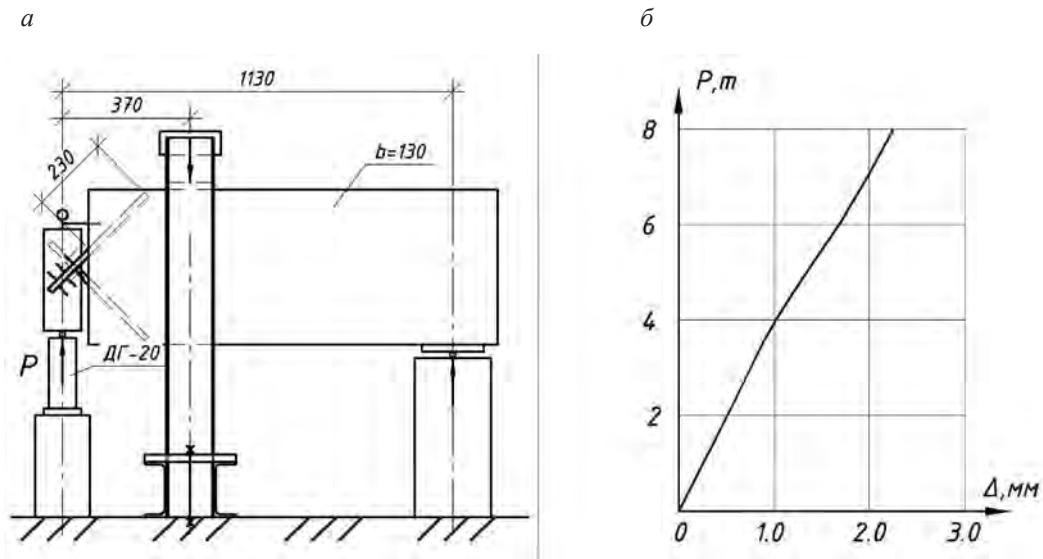


Рис. 1. Исследование деформаций сдвига вдоль торца от нагрузки:
а – схема установки для испытаний; б – зависимость деформаций от нагрузки

Пробные испытания подтвердили эффективность технического решения и целесообразность продолжения исследований с учетом выявленных особенностей работы узла.

В конструкции второго узла, выполненного по шарнирной схеме, был исключен эксцентрикитет, ветви V-образного анкера вклеивались в одной плоскости, длина вклеивания увеличена до 370 мм (около 20d). Для вклеивания использовался эпоксидный компаунд К-153 с добавлением 50% маршалита. Схема испытания, режим нагружения и места измерения деформаций были аналогичны пробному образцу, однако нагрузка P прикладывалась не к анкеру, а к деревянному образцу, и на анкер передавалась опорная реакция, равная $0,75P$ (рис. 2, а).

Нагружение производилось в два этапа. На первом нагрузка была доведена до 130 кН и разгружена до нуля. Повторное нагружение показало упругую работу соединения и пропорциональную зависимость деформаций сдвига от нагрузки на протяжении всего измерения (рис. 2, б). При нагрузке $P = 280$ кН приборы были сняты. Разрушающая нагрузка составила $P_{\max} = 340$ кН, при этом усилие на анкер составило 255 кН, что более чем в два раза превысило разрушающую нагрузку для пробного образца.

Разрушение узла характеризовалось разрывом клееного пакета по древесине с одновременным продергиванием растянутого стержня. Усилие растяжения в нем N_p составило $N_p = P_{\max} / (2 \sin 45^\circ) = 180$ кН.

Нормальные напряжения в стержне составили 575 МПа, средние касательные напряжения в швах вклеенных стержней – 6,45 МПа.

Испытания второго образца подтвердили предпосылки, что сдвигающие усилия при вклеивании в торец V-образного анкера воспринимаются ветвями анкера, работающими

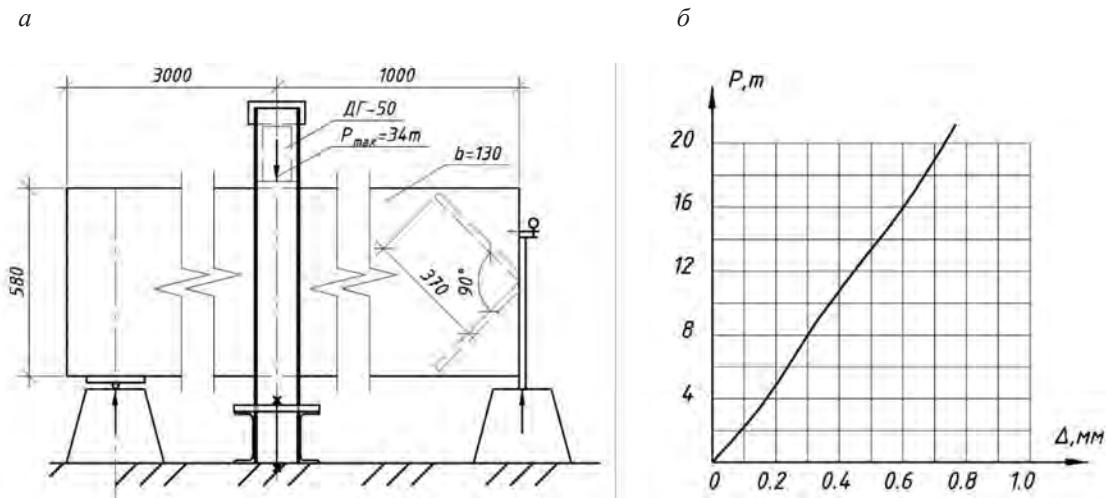


Рис. 2. Исследование деформаций сдвига по шарнирной схеме:
а – схема установки для испытаний; б – зависимость деформаций от нагрузки

на выдергивание (растяжение) и продавливание (сжатие), а не на изгиб, как в стержнях, вклеенных нормально торцу. Поэтому несущая способность оказалась на порядок выше аналога при пропорциональной зависимости деформаций сдвига от нагрузки. Отсутствие расцентровки стержней позволило изменить характер разрушения, исключить раскальвание. При этом податливость соединения в направлении вдоль торца составила 0,0056 мм/кН. Такое техническое решение минимизировало расход стали и улучшило внешний вид узла.

Кроме испытаний на сдвиг, ранее проводились испытания V-образных анкеров, вклеенных в торец, на растяжение и сжатие. Так, при испытании на растяжение V-образного анкера с вклеенными ветвями $d16A400 \times 250$ разрушение произошло от выдергивания стержней при нагрузке 160 кН. Это позволило применять такие решения при проектировании соединений экспериментальных объектов.

Фрагмент колонны с жестким соединением на вклеенных наклонно и разнесенных по торцам стержнях – третий образец. Стержни объединены в жесткий контур базой в виде пластины с ребром. Предполагалось, что такое решение жесткого узла позволит сохранить все преимущества шарнирного соединения (см. рис. 2) и обеспечить надежную работу на перерезывающую силу (распор).

Для подтверждения этого был изготовлен фрагмент колонны сечением 130x600 мм, длиной 3 м (рис. 3). Расположенная горизонтально колонна жестко закреплялась к П-образной раме специального стенда. Два стержня $d20A400 \times 600$ мм вклеивались в торец под углом 12° к направлению волокон древесины через отверстия в торцевой пластине и приваривались к ребру базы. Деформации сдвига древесины колонны относительно стальной базы и сжатия-растяжения между древесиной и базой измерялись индикаторами. Нагрузка прикладывалась гидродомкратом ДГ-10 с плечом 2 м от торца ступенями по 5 кН с интервалами 1-1,5 мин для записи показаний приборов.

На начальном этапе было выполнено обжатие системы нагрузкой 5 кН с последующей разгрузкой до 1 кН для устранения неплотностей силовой установки.

Величина ступени нагружения принималась около 0,1 от расчетной разрушающей нагрузки, которая предварительно назначалась исходя из несущей способности растянутого стержня. На это усилие с 10%-ным запасом проектировались все узлы испытательной оснастки и металлические детали экспериментального фрагмента колонны. Величина расчетной разрушающей нагрузки на домкрате составила 60 кН, изгибающий момент в узле 120 кН•м, усилие в растянутом стержне 240 кН.

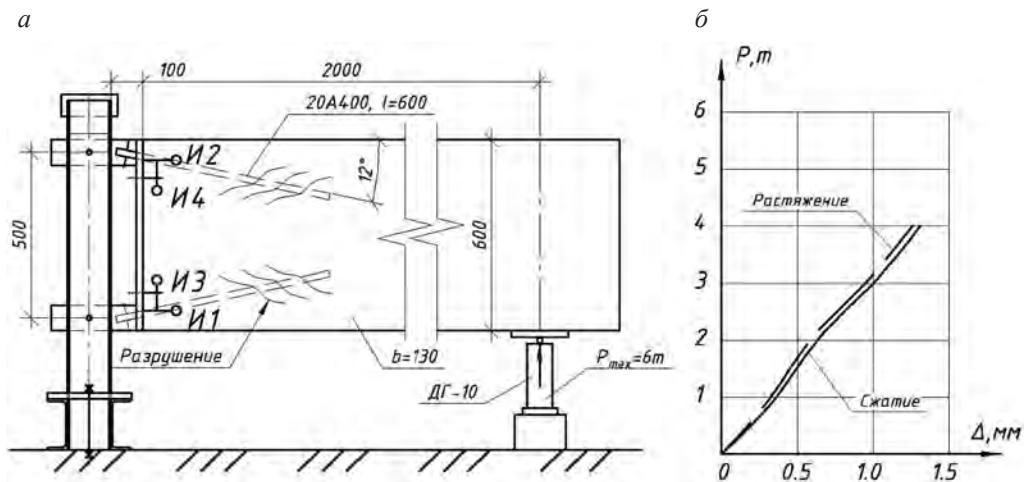


Рис. 3. Исследование узла с жестким защемлением:
а – схема установки для испытаний; б – зависимость деформаций от нагрузки

Результаты испытаний приведены на графике (рис. 3, б), из которого видно, что деформации сжатия и растяжения сохраняли близкие значения и пропорциональную зависимость от нагрузки вплоть до разрушения. При нагрузке на домкрате 40 кН и усилиях в стержнях 163 кН деформации нормально торцу составили около 1,35 мм. Разрушение, как и ожидалось, произошло при нагрузке 60 кН, усилиях в стержнях 245 кН и средних касательных напряжениях в швах вклеенных стержней 4,7 МПа. Податливость нормально торцу составила 0,008 мм/кН.

Разрушение характеризовалось продергиванием растянутого стержня с образованием над стержнем нескольких трещин параллельно волокнам одновременно с раскалыванием древесины в сжатой зоне, вызванного трением торца о металл.

Деформации сдвига колонны относительно базы измерялись парными индикаторами ИЗ и И4 в растянутой и сжатой зонах узла, и при поперечной силе 30 кН составили соответственно 1,29 и 0,92 мм. Разница в показаниях объясняется влиянием сил трения по контакту колонны с базой. С увеличением угла наклона стержня жесткость узла на сдвиг будет возрастать.

Испытаниями была подтверждена работоспособность жесткого узла защемления колонны с базой на наклонно вклеенных в торец стержнях, размещенных по краям поперечного сечения и объединенных базой в жесткий контур.

Такие решения узла защемления стоек впервые применялись в рамных конструкциях фонарей торгово-развлекательного центра в Москве на проспекте Вернадского 86А

в 2016 г. (рис. 4, *а*) и в торговом комплексе на Аминьевском шоссе вл. 15. Шарнирные узлы опирания деревянных стоек с вклеенными в торец V-образными анкерами впервые реализованы в каркасе покрытия дельфинария в г. Грозном в 2017 г. (рис. 4, *б*).

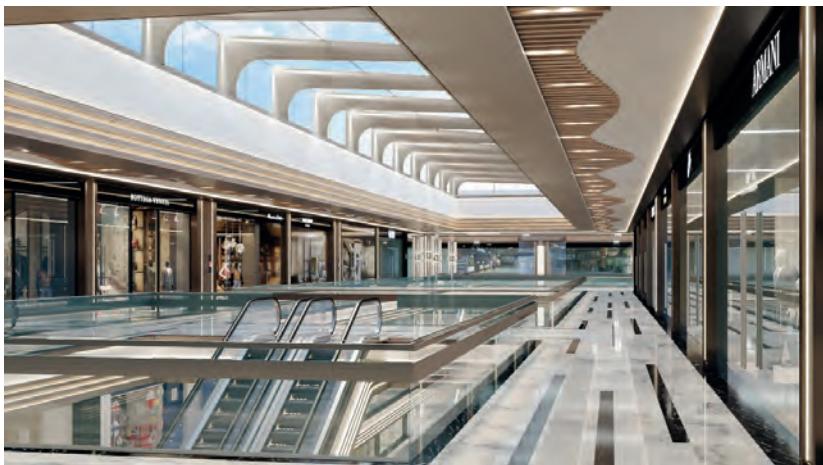
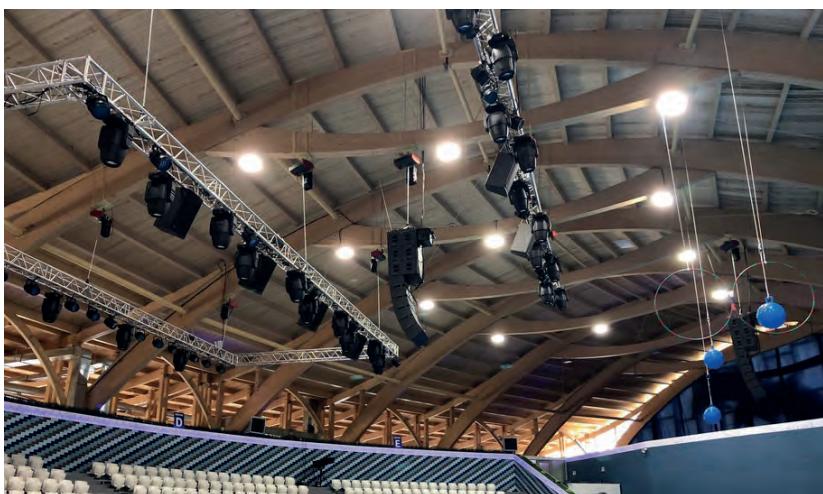
а*б*

Рис. 4. Примеры реализации узловых решений:

а – Торговый центр на Аминьевском шоссе в г. Москве; *б* – Дельфинарий в г. Грозный

Выводы

1. При проектировании каркасов зданий из клееной древесины проблемой является конструкция опирания стоек на фундаменты.
2. Испытания V-образных анкеров, вклеенных в торец стойки, показали высокую несущую способность на сдвиг относительно опоры, при этом в ветвях анкера действуют осевые усилия.

3. Разрушающее усилие сдвига V-образного анкера из вклеенных в торец стержней $d20A400 \times 370$ составили 255 кН при податливости соединения 0,0056 мм/кН.

4. V-образные анкера в торце деревянных элементов могут использоваться при шарнирном опирании конструкций на фундаменты, в коньковых узлах трехшарнирных арок и рам, в узлах примыкания балок к опорным конструкциям.

5. Испытания фрагмента колонны с жестким защемлением на наклонно вклеенных стержнях $d20A499 \times 600$, разнесенных по краям торцевого сечения и сваренных с базой, подтвердили ожидаемые параметры: высокую несущую способность на изгиб ($M = 120$ кНм) и поперечную силу ($Q = 60$ кН), малую податливость узла нормально торцу (0,0075 мм/кН) и параллельно торцу (0,033 мм/кН).

6. Жесткий узел такой конструкции отличается компактностью, минимальной металлоемкостью, нечувствительностью к торцевым трещинам и расслоениям, надежностью защиты от воздействий пожара.

7. Расчет шарнирных и жестких узлов выполняется по СП 64.13330-2017 [4] и СП 382.1325800.2017 [5] как вклеенных стержней на осевые усилия, полученные разложением действующих сил по направлениям стержней.

8. Деревянные конструкции с жесткими и шарнирными узлами опирания с наклонно вклеенными в торец стержнями успешно эксплуатируются в ряде опытных сооружений.

Библиографический список

1. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Преображенская И.П. Клееные деревянные конструкции на вклеенных стержнях в современном строительстве (Система ЦНИИСК) М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2012. 300 с.
2. *Shopski M. Glued-in steel rods subjected to combined axial and lateral loading / Annual of the University of the architecture, civil engineering and geodesy Sofia, Volume 50, Issue 1, 2017. Pp. 19-25.*
3. *Rossignon A., Espion B. Experimental assessment of the pullout strength of single rods bonded in glulam parallel to the grain. Holz Roh Werkst, 2008. - № 66. Pp. 419–43.*
4. СП 64.13330.2017 «СНиП II-25-80 Деревянные конструкции».
5. СП 382.1325800.2017 «Конструкции деревянные клееные на вклеенных стержнях».

Авторы:

Станислав Борисович ТУРКОВСКИЙ, канд. техн. наук, заведующий сектором лаборатории несущих деревянных конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Stanislav TURKOVSKIY, Ph. D. (Engineering), Head of the sector of Load-bearing wood structures of laboratory of TSNIISK named after V. A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: tsniiskldk@yandex.ru

тел.: +7 (499) 174-71-97

Александр Алексеевич ПОГОРЕЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией несущих деревянных конструкций, ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Alexander POGORELTSEV, Ph. D. (Engineering), Head of Load-bearing wood structures laboratory of TSNIISK named after V. A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow

е-mail: pogara@yandex.ru

тел.: +7 (499) 174-77-45; +7 (916) 272-37-67

Владимир Олегович СТОЯНОВ, канд. техн. наук, ведущий специалист ООО «ЦНИПС ЛДК», Москва

Vladimir STOYANOV, Ph. D. (Engineering), leading specialist of LTD «CNIPS LDK», Moscow

е-mail: stoianov-kdk@yandex.ru

тел.: +7 (968) 943-23-53