УДК 624.011

doi:10.31650/2707-3068-2021-25-92-102

КАРНИЗНЫЙ УЗЕЛ ТРЕХШАРНИРНОЙ РАМЫ ИЗ КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ВКЛЕЕННЫХ СТЕРЖНЯХ

Найчук А.Я. д.т.н., проф.
кафедры строительных конструкций

atnya@yandex.by

УО «Брестский государственный технический университет», Беларусь

Аннотация. В современной практике строительства зданий и сооружений с использованием деревянных трехшарнирных рам существует множество конструктивных решений соединения ригеля со стойкой. Одним из таких конструктивных решений является использование соединений на клеенных арматурных стержнях. Несмотря на накопленный опыт строительства зданий с использованием деревянных конструкций с соединениями на клеенных стержнях, по-прежнему остаются актуальными задачи по совершенствованию технологии их изготовления и моделей расчета. Целью данной работы являлось проведение экспериментально-теоретических исследований по определению напряженно-деформированного состояния древесины ригеля и стойки, расположенной в зоне карнизного узла рамы, выполненного с использованием клеенных стержней, а также разработка предложений по совершенствованию его конструктивного решения. Исследование напряженно-деформированного состояния карнизного узла осуществлялось путем решения плоской задачи теории упругости с использованием программного комплекса, базирующегося на методе конечных элементов. В используемом программном комплексе реализованы процедуры, позволяющие учитывать анизотропию механических свойств древесины, нарушение контакта между поверхностями соединяемых в карнизном узле элементов. Экспериментальные исследования проводились методом статического нагружения опытного образца карнизного узла, изготовленного в натуральную величину, который по своим геометрическим параметрам и свойствам материалов соответствовал КЭ-модели. В результате проведенных исследований было установлено, что в растянутой зоне карнизного узла, для клеенных стержней ригеля и стойки характерна значительная неравномерность распределения усилий, кроме того стержни воспринимают усилия сжатия-растяжения и изгиба. Наиболее нагруженными являются стержни, расположенные на максимальном удалении от стыка ригеля и стойки. Распределение усилий в стержнях сжатой зоны близко к равномерному. Распределение напряжений по длине наклонных арматурных стержней закладных деталей характеризуется большой неравномерностью. Исходя из анализа напряженно-деформированного состояния карнизного узла рамы предложено новое конструктивное решение в части количества арматурных стержней и их расположения.

Ключевые слова: древесина, клеенные стержни, конструкция, соединение, прочность, нагрузка, напряжение.

Введение. При строительстве зданий и сооружений с использованием деревянных клееных рам больших пролетов возникает необходимость укрупнительной сборки стойки и ригеля в карнизном узле на строительной площадке. Необходимость укрупнительной сборки элементов полурам чаще всего обусловлена невозможностью изготовления длинномерной конструкции и ее транспортировки в цельном виде к объекту строительства.

Выбор того или иного конструктивного решения соединения стойки и ригеля в карнизном узле полурамы зависит от величины пролета рамы, усилий в карнизном узле и условий эксплуатации. Наиболее распространенными в карнизных узлах рам являются соединения на механических связях (болты, винты, кольцевые шпонки) и клеенных стержнях. Первый тип соединений широко используются как в зарубежной, так и отечественной практике

строительства зданий и сооружений. Что же касается карнизных узлов рам на клеенных стержнях, то их начали применять в 70-х годах прошлого столетия в странах СНГ [1 – 8].

Следует отметить, что в зарубежной практике строительства клеенные стержни используют для восприятия растягивающих поперек волокон древесины напряжений, возникающих в зоне криволинейных участков клееных деревянных балок и рам, а также повышения несущей способности опорных участков деревянных конструкций или же участков конструкций, где древесина находится в условиях сложного неоднородного напряженного состояния [9 – 16].

Используемый для соединения элементов рам тот или иной тип соединения имеет как свои достоинства, так и недостатки. Одним из недостатков нагельных соединений является их относительно низкая пассивная степень огнестойкости по отношению к элементам конструкции, имеющих, как правило, значительные размеры поперечных сечений. Кроме того, такие соединения обладают значительной податливостью во времени. Что же касается соединений на клеенных стержнях, то их податливость значительно ниже, чем нагельного или винтового, а несущая способность при одних и тех же диаметрах и длине заделки – выше.

Несмотря на накопленный сорокалетний опыт проектирования, строительства и эксплуатации деревянных конструкций с соединениями на клеенных стержнях по-прежнему актуальными являются не только задачи совершенствования их конструктивных решений, технологии изготовления, повышения огнестойкости, но и совершенствование расчетных моделей, позволяющих учитывать вид напряженно-деформированного состояния соединяемых элементов конструкций.

Целью данной работы являлось определение несущей способности соединения ригеля и стойки в карнизном узле деревянной рамы, выполненного с использованием клеенных стержней.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели были проведены экспериментально-теоретические исследования запроектированного согласно [17, 18] жесткого стыка, выполненного с использованием наклонно клеенных стальных стержней. При проведении исследований в зависимости от величины прикладываемых нагрузок определялись: напряженно-деформированное состояние древесины в зоне расположения наклонно клеенных арматурных стержней; величина податливости соединения; величина раскрытия контакта между поверхностями торцов соединяемых элементов. Теоретические исследования включали в себя определение напряженно-деформированного состояния элементов запроектированного карнизного узла с использованием программного комплекса в основу которого положен метод конечных элементов, позволяющего учитывать анизотропию механических свойств древесины, физическую нелинейность деформирования материалов и нарушение контакта между торцами соединяемых элементов рамы. Экспериментальные исследования проводились методом статического нагружения опытного образца карнизного узла рамы, аналогичного по своим геометрическим параметрам и свойствам материалов расчетной модели, принятой при выполнении численных расчетов.

Конструкция карнизного узла рамы. Карнизный узел трехшарнирной рамы пролетом $L = 31,72$ м был запроектирован в соответствии с требованиями [17, 18] при действии на ригель вертикальной постоянной нагрузки $g_d = 5958$ Н/м.п и переменной $q_d = 13140$ Н/м.п. (рис. 1). Стойка и ригель рамы по ширине поперечного сечения состояли из двух элементов шириной $b = 140$ мм, объединенных между собой, клееными перпендикулярно боковым плоскостям, металлическими стержнями с шагом 600 мм, изготовленных из клееной древесины. Клееная древесина соответствовала классу прочности GL 24с. Соединение ригеля и стойки в растянутой зоне карнизного узла осуществлялось путем электросварки стальных пластин с закладными деталями МД1 и МД2, а в сжатой – непосредственным упором стальных пластин закладных деталей МД3 и МД4 (рис. 1).

Рис. 1. Схема трехшарнирной деревянной клееной рамы

Закладные детали ригеля МД2 и стойки МД1 в карнизном узле представляли собой металлические стержни, вклеенные в древесину под углом 45° к волокнам, объединенные между собой металлической пластиной со стороны растянутой зоны узла (рис. 1). Соединение стержней с металлической пластиной выполнено посредством электросварки. В сжатой зоне карнизного узла закладные детали МД3 и МД4 представляли собой стальные стержни, объединенные металлической пластиной. Здесь все стержни расположены перпендикулярно плоскости пластины. В качестве металлических стержней использовалась стальная арматура периодического профиля диаметром 20 мм. В карнизном узле стержни 1- 24 являлись расчетными, а 25 – 30 – конструктивными (рис. 1). Длина анкеровки стержней 1 – 4, 13 – 16, 24 – 30 составляла 1200 мм, а стержней 5 – 12, 17 – 24 – 600 мм. С целью уменьшения расхода арматурных стержней в карнизном узле рамы и условия обеспечения одинакового значения несущей способности, были выполнены численные расчеты по МКЭ для двух вариантов конструктивных решений карнизного узла (рис. 2). В первом варианте соединение в карнизном узле по своему конструктивному решению, количеству арматурных стержней, геометрическим параметрам и размерам деревянных элементов соответствовало запроектированному карнизному узлу рамы (рис. 2 а). Во втором варианте число расчетных арматурных стержней было уменьшено (рис.2 б).

Методика численных исследований. Исследование напряженно-деформированного состояния карнизного узла рамы выполнялось путем решения плоской задачи теории упругости с использованием программы. В основу программы положен метод конечных элементов (МКЭ) в которой реализованы процедуры, позволяющие учитывать анизотропию механических свойств древесины, а также моделировать нарушение контакта между контактирующими поверхностями в карнизном узле рамы. Все металлические стержни

моделировались линейными балочными конечными элементами (КЭ), металлические пластины и древесина – изопараметрическими КЭ с восьмью узлами. Упругие характеристики для древесины в локальных осях принимались: $E_{x1} = E_{x2} = 10000$ МПа; $E_{y1} = E_{y2} = 400$ МПа; $\mu_{x1y1} = \mu_{x2y2} = 0,02$; $\mu_{y1x1} = \mu_{y2x2} = 0,5$ и $G_{x1y1} = G_{x2y2} = 500$ МПа, а для стали – $E = 210000$ МПа; $\mu = 0,3$ и $G = 81000$ МПа.

Рис. 2. Расчетные схемы карнизного узла рамы по первому варианту 1 (а) и второму (б)

В процессе численных исследований определялось напряженное состояние во всех вклеенных стержнях и древесине соединяемых элементов рамы при действии нагрузки $R = 462$ кН.

Методика испытаний. Целью проведение испытаний карнизного узла было определение податливости соединения закладных деталей МД1, МД2, МД3 и МД4 на вклеенных стержнях в составе карнизного узла рамы и определение его несущей способности. Для испытаний был изготовлен опытный образец в натуральную величину соответствующий геометрическим параметрам узлу, приведенному на рис. 2а. Критерием выбора параметров опытного образца (длины соединяемых элементов) и граничных условий являлось полное соответствие напряженно-деформированного состояния карнизного узла в составе рамы опытному образцу, определяемое в результате численных исследований. Конструктивная схема опытного образца карнизного узла рамы предназначенного для испытаний приведена на рис. 2а. Испытание образца проводилось методом статического нагружения в горизонтальном положении на действие сжимающего усилия R (рис. 3).

Рис. 3. Схема (а) и общий вид испытания карнизного узла рамы (б)

Длина элемента С составляла 3605 мм, что соответствовало длине стойки рамы, а ригель был усеченным – длиной 4590 мм. Влажность древесины на момент испытаний, по замерам электровлагомером, составляла 10%.

В результате испытаний определялось фактическое значение несущей способности. Величина несущей способности узла под нагрузкой определялась на основе комплексного анализа деформационных и прочностных свойств конструкции, а также наблюдений за ее поведением до момента разрушения. Во время испытания выполнялось соблюдение временного режима приложения нагрузки. Измерение относительных смещений закладных деталей в узле определялось по показаниям индикаторов И1 – И8 (рис. 3а). Значение несущей способности испытываемого узла определялась как разрушающая нагрузка, деленная на коэффициент надежности, учитывающий характер разрушения конструкции и продолжительность испытаний в соответствии с [19]. Вид разрушения определялся на основании анализа диаграммы деформирования конструкции. В процессе испытаний регистрировалось значение нагрузки и величины соответствующих относительных смещений элементов соединения ригеля со стойкой.

Нагружение узла осуществлялось равными ступенями величиной 0,1 от значения расчетной нагрузки $R = 462$ кН. Продолжительность приложения нагрузки на каждой ступени составляла 5 мин. Приложение нагрузки на каждой ступени нагружения осуществлялось равномерно в равные промежутки времени. Во время выдержки узла под нагрузкой велось наблюдение за появлением в элементах испытываемого узла признаков разрушения (трещин скалывания, разрыва, складок сжатия, сдвига пластин, трещины в сварных швах).

Результаты исследований. В результате численных расчетов были определены перемещения и напряжения как в древесине стойки и ригеля, так и в металлических пластинах и стержнях. Значения нормальных напряжений в арматурных стержнях, примыкающих непосредственно к металлическим пластинам для первого и второго вариантов расчетных схем (рис. 2), приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Напряжения в металлических стержнях, примыкающих непосредственно к стальным пластинам для расчетной схемы по первому варианту.

№ стержня по рис. 2а	Напряжения от продольного усилия, МПа	Напряжения от изгиба стержня, МПа	Суммарные напряжения, МПа		№ стержня по рис. 2а	Напряжения от продольного усилия, МПа	Напряжения от изгиба стержня, МПа	Суммарные напряжения, МПа	
			$\sigma_{\min}$	$\sigma_{\max}$				$\sigma_{\min}$	$\sigma_{\max}$
1	132,4	$\pm 115,3$	17,1	247,7	13	-39,8	$\pm 1,2$	-38,6	-41,0
2	12,7	$\pm 32,5$	-19,8	45,2	14	5,4	$\pm 1,8$	3,6	7,2
3	8,7	$\pm 2,2$	6,5	10,9	15	20,6	$\pm 8,8$	12,6	28,6
4	-43,5	$\pm 3,0$	-40,5	-46,5	16	69,2	$\pm 27,6$	41,6	96,7
5	-21,3	$\pm 19,2$	-2,1	-40,4	17	-90,9	$\pm 26,9$	-64,0	-117,9
6	-21,2	$\pm 19,6$	-1,6	-40,8	18	-104,3	$\pm 22,1$	-82,3	-126,4
7	-34,2	$\pm 33,7$	-0,4	-67,9	19	-131,0	$\pm 11,2$	-119,8	-142,2
8	-66,4	$\pm 21,1$	-45,3	-87,4	20	-188,6	$\pm 2,1$	-186,5	-190,7
9	-58,6	$\pm 34,2$	-24,4	-92,8	21	-59,5	$\pm 13,7$	-45,8	-73,2
10	-36,7	$\pm 14,3$	-22,4	-51,0	22	-76,0	$\pm 22,2$	-53,7	-98,2
11	-22,2	$\pm 14,2$	-8,0	-36,4	23	-97,0	$\pm 14,5$	-82,5	-111,5
12	-18,3	$\pm 15,6$	-2,8	-33,9	24	-147,7	$\pm 20,0$	-127,7	-167,7

Таблица 2 – Напряжения в металлических стержнях, примыкающих непосредственно к стальным пластинам для расчетной схемы по второму варианту.

№ стержня по рис. 26	Напряжения от продольного усилия, МПа	Напряжения от изгиба стержня, МПа	Суммарные напряжения, МПа		№ стержня по рис. 26	Напряжения от продольного усилия, МПа	Напряжения от изгиба стержня, МПа	Суммарные напряжения, МПа	
			$\sigma_{\min}$	$\sigma_{\max}$				$\sigma_{\min}$	$\sigma_{\max}$
1	140,2	$\pm 124,5$	15,7	264,7	6	-126,7	$\pm 54,9$	-71,8	-181,7
2	9,9	$\pm 47,9$	-38,0	57,8	7	-89,1	$\pm 32,9$	-56,2	-122,0
3	-48,4	$\pm 70,6$	22,2	-119,0	8	-53,2	$\pm 61,2$	8,0	-114,5
4	-89,7	$\pm 95,6$	5,8	-185,3	9	21,2	$\pm 14,5$	6,9	35,4
5	-131,6	$\pm 37,1$	-94,5	-168,7	10	75,9	$\pm 32,0$	43,9	107,9

Анализируя данные таблицы 1 и таблицы 2 можно отметить, что наиболее нагруженными в растянутой зоне карнизного узла являются крайние наклонные стержни (1, 16 – для расчетной схемы по первому варианту и 1, 10 – для расчетной схемы по второму варианту), воспринимающие усилия растяжения и изгиба. Что же касается наклонных стержней (4, 13 рис.2а), расположенных ближе к торцам ригеля и стойки, то они в основном работают на сжатие, а стержни 3, 14 практически выключены из работы узла. Учитывая, характер распределения усилий между наклонными стержнями растянутой зоны в элементах ригеля и стойки, было принято решение по уменьшению их количества с четырех до двух. Как показали расчеты (табл. 2), такое решение являлось оправданным, поскольку не привело к существенному увеличению напряжений в наиболее нагруженных стержнях (рис. 4), т.е. стержни 3, 4, 13 и 14 малоэффективны. Кроме того, для восприятия сжимающего усилия, возникающего в наклонных стержнях 4, 13 (рис. 2а) были установлены перпендикулярно волокнам древесины стержни 3 и 8 (рис. 2б). Что же касается стержней соединенных перпендикулярно с пластинами закладных деталей МД 1, МД2, МД3 и МД4, то они работают на сжатие с изгибом. Максимально нагруженными в закладных деталях МД1 и МД2 являются стержни 8 и 9, расположенные ближе к торцам соединяемых элементов, а в закладных деталях МД3 и МД4 – стержни 20 и 24 (рис. 2а).

Рис. 4. Распределение нормальных напряжений по длине стержней 1 и 2 для расчетной схемы узла по первому (а) и второму вариантам (б).

Анализируя напряженно-деформированное состояние древесины карнизного узла рамы, законструированного по первому варианту (рис. 2а), наиболее опасным является сечение 1 – 1, расположенное на расстоянии 600 мм от опоры стойки. В указанном сечении имеет место совместного действия все трех компонент напряжений. Следует отметить, что действие нормальных напряжений σ_{y1} вызывает растяжение древесины поперек волокон. Поэтому в указанном сечении возможно наиболее вероятное разрушение узла. Для предотвращения разрушения древесины в указанной зоне стойки рамы было принято решение о дополнительной установке клеенных под углом 45° арматурных стержней 12 с шагом 500 мм (рис. 2б).

Анализируя диаграммы относительных смещений закладных деталей МД1, МД2, МД3 и МД4 (рис. 5), полученных на основании обработки результатов испытаний опытного образца карнизного узла, можно отметить, что на всех ступенях нагружения элементы соединения и их материалы находились в линейной области деформирования. Максимальное расхождение в значениях, полученных расчетным путем с данными испытаний, составило не более 15%.

Рис. 5. Диаграммы относительных смещений:

- а) – между закладными деталями МД3 и МД4; б) – между закладными деталями МД1 и МД2;
 в) – между торцом стальной пластины закладной детали МД2 и древесиной ригеля; г) –
 между торцом стальной пластины закладной детали МД1 и древесиной стойки

В процессе испытаний карнизного узла*, законструированного по первому варианту (рис. 2а), при нагрузке $R_1 = 684$ кН в стойке ригеля произошел частичный отрыв со скалыванием наружной доски клееного пакета с образованием трещины длиной 100 мм (рис. 6 а). При этом падения нагрузки не наблюдалось. Образование здесь трещины обусловлено наличием концентрации напряжений в зоне подрезки. Что же касается полного разрушения узла, то оно имело хрупкий характер и произошло в результате скалывания древесины стойки в зоне опорного узла с образованием целого ряда трещин, как это было установлено численным расчетом. Разрушение опытного образца происходило по телу самой стойки, как в растянутой зоне, так и в сжатой ее части с распространением трещин на крайнюю внутреннюю грань стойки (рис. 6 б). При этом величина разрушающей нагрузки $R_2 = 820$ кН.

* Экспериментальные исследования проводились с участием Погорельцева А.А.

Рис. 6. Общий вид разрушения карнизного узла рамы при нагрузке $R_1 = 684$ кН (а) и $R_1 = 820$ кН (б)

Фактическое значение несущей $R_{э,д} = 346,23$ кН узла, вычисленное в соответствии с требованиями [19], оказалось ниже расчетного $R_d = 462$ кН, определенного по [17,18]. Данное различие объясняется тем, что предельное состояние наступило не в результате разрушения соединения узла, а в результате скалывания древесины стойки в опорном узле, что подтверждается результатами численных исследований.

Выводы.

– Разработанный карнизный узел трехшарнирной деревянной клееной рамы пролетом 31,72 м удовлетворяет требованиям предельных состояний несущей способности эксплуатационной пригодности.

– Запроектированная стойка полурамы не удовлетворяет требованиям предельных состояний несущей способности и должна быть усилена в приопорной части путем установки вклеенных стержней, либо путем увеличения поперечного сечения.

– С целью экономии расхода стали число арматурных стержней и их расположение в карнизном узле может быть усовершенствовано. Предложенное измененное конструктивное решение карнизного узла рамы должно быть проверено путем испытания опытного образца.

Литература

1. Turkovsky, S.B. 1989. Designing of glued wood structures joints on glued-in bars. In: Proceedings of CIB-W18 meeting 22, Berlin, Germany, Paper CIB-W18A/22-7-3.
2. Turkowsky S.B., Lukyanov E.I., Pogoreltsev A.A. Use of glued-in bars for reinforcement of wood structures: Report for International timber engineering conference. 2-5 september 1991. – London UK. – vol. 3. p. 3212-3217.
3. Погорельцев А.А. Расчёт растянутых стыков КДК на вклеенных стержнях // Строительная механика и расчёт сооружений. № 4. - 2013. – С. 28 – 33.
4. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Преображенская И.П. Клеёные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). – М.: РИФ Стройматериалы, 2013. – 300 с.
5. Погорельцев А.А., Турковский С.Б., Кондрашев И.А. Большепролётные купола из клеёной древесины с жёсткими узлами системы ЦНИИСК // Строительная механика и расчёт сооружений. № 4. -2017. –С. 63 – 70.
6. Найчук А.Я. Деревянные клеёные конструкции в спортивных зданиях и сооружениях Республики Беларусь Збірник наукових праць українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського. Вип. 5. Київ, 2010, - С. 32 – 40.
7. Найчук А. Я., Деркач В. Н. Опыт проектирования и строительства общественных зданий с применением де-ревянных клеёных конструкций в Республике Беларусь // Материалы VI международной научно-практической конференции. Сочи, 2010. – С.68–70.

8. Naichuk A Ya Causes of defects in timber arches of the buildings covering and methods of strengthening IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 896 (2020) 012042 doi:10.1088/1757-899X/896/1/012042
9. Widmann R., Steiger R., Gehri E. Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam perpendicular to the grain Materials and Structures (2007) 40:827–838 DOI 10.1617/s11527-006-9214-9 EMPA20070228 pp 827-838
10. Parida G., Johnsson H., Fragiocomo M. Provisions for ductile behavior of timber-to-steel connections with multiple glued-in rods - Journal of Structural Engineering/September 2013 pp. 1469-1477 DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000735.
11. Tlustochowicz G, Serrano E, Steiger R State-of-the-art review on timber connections with glued-in steel rods - Materials and structures (2011) Mater. Struct. J., 44(5), 997–1020.
12. Steiger R, Serrano E, Stepinac M, Rajčić V, O'Neill C, McPolin D, Widmann R (2015) Strengthening of timber structures with glued-in rods Constr Build Mater 97: 90-105.
13. Steiger, R., Gehri, E., and Widmann, R. (2007). "Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam parallel to the grain." Mater. Struct. J., 40(1), 69–78.
14. Serrano E Glued-in rods for timber structures—a 3D model and finite element parameter studies - International Journal of Adhesion and Adhesives Volume 21, Issue 2, 2001, pp. 115-127
14. Rossignon A, Espion B Experimental assessment of the pull-out strength of single rods bonded in glulam parallel to the grain - Holz Roh Werkst (2008) 66: 419–432 DOI 10.1007/s00107-008-0263-3.
15. Fabris A., "Verbesserung der Zugeigenschaften von Bauholz parallel zur Faser mittels Verbund mit profilierten Stahlstangen", PhD Thesis, ETH Zürich, Professur für Holztechnologie, Zürich, 2001, p. 265.
17. Свод правил СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80, Москва, Стандартинформ. 2017 – 97 С.
18. Свод правил СП 382.1325800.2017 Конструкции деревянные на клеенных стержнях. Методы расчета, Москва, Стандартинформ. 2018 – 36 С. 12. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций / ЦНИИСК. – М.: Стройиздат, 1976. – 28 с.
19. СТБ 2094-2010 Деревянные конструкции. Метод определения прочности и деформаций соединений. Госстандарт, Минск, 2010. – 10 С.

References

- [1] Turkovsky, S.B. 1989. Designing of glued wood structures joints on glued-in bars. In: Proceedings of CIB-W18 meeting 22, Berlin, Germany, Paper CIB-W18A/22-7-3.
- [2] Turkowsky S.B., Lukyanov E.I., Pogoreltsev A.A. Use of glued-in bars for reinforcement of wood structures: Report for International timber engineering conference. 2-5 september 1991. – London UK. – vol. 3. p. 3212-3217.
- [3] Pogorel'cev A.A. Raschyot rastyanutyh stykov KDK na vkleennyh sterzhnyah // Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzhenij. № 4. – 2013. – S. 28 – 33.
- [4] Turkovskij S.B., Pogorel'cev A.A., Preobrazhenskaya I.P. Kleyonye derevyannye konstrukcii s uzlami na vkleennyh sterzhnyah v sovremennom stroitel'stve (sistema CNIISK). – M.: RIF Strojmaterialy, 2013. – 300 s.
- [5] Pogorel'cev A.A., Turkovskij S.B., Kondrashev I.A. Bol'sheprolyotnye kupola iz kleyonoy drevesiny s zhyostkimi uzlami sistemy CNIISK // Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzhenij. № 4. -2017. –S. 63 – 70.
- [6] Najchuk A.YA. Derevyannye kleenye konstrukcii v sportivnyh zdaniyah i sooruzheniyah Respubliki Belarus' Zbirnik naukovih prac' ukrains'kogo naukovu-doslidnogo ta proektnogo institutu stalevih konstrukcij im. V.M. SHimanovs'kogo. Vip. 5. Kiiv, 2010, - S. 32 – 40.
- [7] Najchuk A. YA., Derkach V. N. Opyt proektirovaniya i stroitel'stva obshchestvennyh zdaniy s primeneniem de-revyannyh kleenyh konstrukcij v Respublike Belarus' // Materialy YI

- mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Sochi, 2010. – S.68–70.
- [8] Naichuk A Ya Causes of defects in timber arches of the buildings covering and methods of strengthening IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 896 (2020) 012042 doi:10.1088/1757-899X/896/1/012042
- [9] Widmann R., Steiger R., Gehri E. Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam perpendicular to the grain Materials and Structures (2007) 40:827–838 DOI 10.1617/s11527-006-9214-9 EMPA20070228 pp 827-838
- [10] Parida G., Johnsson H., Fragiaco M. Provisions for ductile behavior of timber-to-steel connections with multiple glued-in rods - Journal of Structural Engineering/September 2013 pp. 1469-1477 DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000735.
- [11] Tlustochowicz G, Serrano E, Steiger R State-of-the-art review on timber connections with glued-in steel rods - Materials and structures (2011) Mater. Struct. J., 44(5), 997–1020.
- [12] Steiger R, Serrano E, Stepinac M, Rajčić V, O'Neill C, McPolin D, Widmann R (2015) Strengthening of timber structures with glued-in rods Constr Build Mater 97: 90-105.
- [13] Steiger, R., Gehri, E., and Widmann, R. (2007). "Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam parallel to the grain." Mater. Struct. J., 40(1), 69–78.
- [14] Serrano E Glued-in rods for timber structures—a 3D model and finite element parameter studies - International Journal of Adhesion and Adhesives Volume 21, Issue 2, 2001, pp. 115-127
- [15] Rossignon A, Espion B Experimental assessment of the pull-out strength of single rods bonded in glulam parallel to the grain - Holz Roh Werkst (2008) 66: 419–432 DOI 10.1007/s00107-008-0263-3.
- [16] Fabris A., "Verbesserung der Zugeigenschaften von Bauholz parallel zur Faser mittels Verbund mit profilierten Stahlstangen", PhD Thesis, ETH Zürich, Professur für Holztechnologie, Zürich, 2001, p. 265.
- [17] Svod pravil SP 64.13330.2017 Derevyannye konstrukcii. Aktualizirovannaya redakciya SNIIP II-25-80, Moskva, Standartinform. 2017 – 97 S.
- [18] Svod pravil SP 382.1325800.2017 Konstrukcii derevyannye na vkleennyh sterzhnyah. Metody rascheta, Moskva, Standartinform. 2018 – 36 S.12. Rekomendacii po ispytaniyu derevyannyh konstrukcij / CNIISK. – M.: Strojizdat, 1976. –28 s.
- [19] STB 2094-2010 Derevyannye konstrukcii. Metod opredeleniya prochnosti i deformacij soedinenij. Gosstandart, Minsk, 2010. – 10 S.

КАРНИЗНИЙ ВУЗОЛ ТРЬОХШАРНІРНОЇ РАМИ З КЛЕСНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ВКЛЕСНИХ СТРИЖНЯХ

Найчук А.Я. д.т.н., проф.
кафедри будівельних конструкцій,
atnya@yandex.by

УО «Брестський державний технічний університет», Білорусь

Анотація. У сучасній практиці будівництва будівель і споруд з використанням дерев'яних трьохшарнірних рам існує безліч конструктивних рішень з'єднання ригеля зі стійкою. Одним з таких конструктивних рішень є використання з'єднань на вкесених арматурних стрижнях. Незважаючи на накопичений досвід будівництва будівель з використанням дерев'яних конструкцій із з'єднаннями на вкесених стрижнях, як і раніше залишаються актуальними завдання щодо вдосконалення технології їх виготовлення і моделей розрахунку. Метою даної роботи було проведення експериментально-теоретичних досліджень по визначенню напружено-деформованого стану деревини ригеля і стійки, розташованої в зоні карнизного вузла рами, виконаного з використанням вкесених стрижнів, а також розробка пропозицій щодо вдосконалення його конструктивного рішення. Дослідження напружено-деформованого стану карнизного вузла здійснювалося шляхом вирішення плоскої задачі теорії пружності з

використанням програмного комплексу, що базується на методі скінчених елементів. У програмному комплексі реалізовані процедури, що дозволяють враховувати анізотропію механічних властивостей деревини, порушення контакту між поверхнями, що з'єднуються в карнизному вузлі елементів. Експериментальні дослідження проводились методом статичного навантаження дослідного зразка карнизного вузла, виготовленого в натуральну величину, який за своїми геометричним параметрам і властивостям матеріалів відповідав СЕ-моделі. В результаті проведених досліджень було встановлено, що в розтягнутій зоні карнизного вузла, для вклеєних стрижнів ригеля і стійки характерна значна нерівномірність розподілу зусиль, крім того стрижні сприймають зусилля стиску-розтягування і вигину. Найбільш навантаженими є стрижні, розташовані на максимальному видаленні від стику ригеля і стійки. Розподіл зусиль в стрижнях стиснутої зони близький до рівномірного. Розподіл напружень по довжині похилих арматурних стрижнів закладних деталей характеризується великою нерівномірністю. Виходячи з аналізу напружено-деформованого стану карнизного вузла рами запропоновано нове конструктивне рішення в частині кількості арматурних стержнів і їх розташування.

Ключові слова: деревина, вклеєні стрижні, конструкція, з'єднання, міцність, навантаження, напруження.

KNEE JOINT OF THREE-HINGED GLUED TIMBER PORTAL FRAME EXECUTED AS JOINT ON GLUED-IN RODS

Naichuk A.Ya. Dr.Sc. in Engineering, Professor
Department of Building Structures
atnya@yandex.by

Brest State Technical University, Republic of Belarus

Abstract. In the modern construction of buildings and structures there are many constructive solutions for connecting the rafter with the column of wooden three-hinged portal frames. One of these constructive solutions is the use of knee joints executed as joint on glued-in rods. Despite the accumulated experience in the construction of buildings using timber structures with joints on glued-in rods, there are still urgent tasks to improve the technology of their manufacture and calculation models. The purpose of this work was to conduct experimental and theoretical studies of the knee joint executed as joint on glued-in rods to determine the stress-strain state of the timber in the connection region. To develop of proposals for improving knee joint executed as joint on glued-in rods. The study of the stress-strain state of the knee joint was carried out by solving a plane problem of the theory of elasticity using a software package based on the finite element method. In the software package used, procedures are implemented to take into account the anisotropy of the mechanical properties of wood, the violation of contact between the surfaces of the elements connected in the knee joint. Experimental studies were carried out by the method of static loading of a prototype of a knee joint made in full size, which in its geometric parameters and material properties corresponded to the CE model. As a result of the conducted studies, it was found that in the stretched zone of the knee joint, the glued rods of the rafter and the column are characterized by a significant uneven distribution of forces, in addition, the rods are subjected to compression, tension and bending. The most loaded are the rods located at the maximum distance from the joint of the rafter and the column. The distribution of forces in the rods of the compressed zone is close to uniform. The stress distribution along the length of the inclined rods of the embedded parts is characterized by a large unevenness. Based on the analysis of the stress-strain state of the knee joint of the frame, a new design solution is proposed in terms of the number of glued-in rods and their spacing.

Keywords: timber, glued-in rods, structures, connection, strength, load, stress