

Несущая способность и деформативность соединений деревянных элементов на металлических накладках с применением ввинченных и клееввинченных шурупов

М.А. Дежин

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Аннотация: В статье представлены результаты сравнительных испытаний образцов соединений деревянных элементов из клееной древесины на металлических накладках с применением ввинченных и клееввинченных шурупов, по 3 образца каждого из 5 типов соединений (одного бесклевого и четырех разновидностей клееввинченного соединения). Установлено, что применение эпоксидных клеев повышает прочностные характеристики бесклевого соединения по критерию разрушающей нагрузки в 1.46, 1.78, 1.70, 1.59 раз, по критерию упругой работы соединения в 1.56, 1.56, 1.82, 1.30 раз для клееввинченных соединений (ЭД-20 + ПЭПА, ЭД-20 + ТЭТА, DER-331 + ПЭПА, DER-331 + ТЭТА) соответственно. Из клееввинченных образцов деформация $D_{ult}=2\text{мм}$ достигнута только образцами №8 (ЭД-20 + ТЭТА) и №14 (DER-331 + ТЭТА) при нагрузках в 1.77, 1.40 раз больше нагрузки в бесклеевом соединении. Деформации полные D_p при одинаковой нагрузке в пределах упругой работы соединений уменьшаются в 7, 10.61, 10.61 раз для клееввинченных соединений (ЭД-20 + ПЭПА, ЭД-20 + ТЭТА, DER-331 + ПЭПА) соответственно. У образцов соединений (DER-331 + ТЭТА) при сравниваемом значении нагрузки деформации равны 0.

Ключевые слова: клееная древесина, металлические накладки, испытание образцов соединений, несущая способность соединения, деформативность соединения, верхняя граница области упругой работы (ВГОУР), полная деформация, остаточная деформация, упругая деформация, коэффициент надежности.

С учетом потребностей строительной отрасли, актуальным направлением является обеспечение возможности применения в практике строительства эффективного соединения деревянных элементов, обладающего высокой несущей способностью. На сегодняшний день актуальны соединения на металлических накладках типа Sherpa. Крепеж состоит из двух металлических накладок, которые крепятся к деревянным конструктивным элементам с помощью шурупов и образуют жесткое соединение типа «ласточкин хвост». Исследованием соединений элементов деревянных конструкций на металлических накладках типа Sherpa занимались Bogensperger T., Hude F. [1], Augustin M., Flatscher G. [2-3],

Schinner Н. [4], Суй Юнь [5]. Выполненный анализ состояния вопроса и оценка ранее проведенных испытаний узлов соединений главных и второстепенной деревянных балок на металлических накладках по принципу “ласточкин хвост” позволили сформулировать основные направления исследования, включая программу экспериментов [6]. По характеру разрушения ранее испытанных образцов было видно, что определяющим фактором разрушения образцов стало недостаточное значение усилия на вырыв, которое могли выдержать шурупы. Поэтому было предложено увеличить значение усилия шурупов на вырыв путем добавления эпоксидного клея в предварительно просверленные отверстия для шурупов. Цель работы – оценка влияния применения эпоксидного клея на прочностные показатели и деформации соединений деревянных элементов на металлических накладках с применением ввинченных шурупов.

Была разработана конструкция односрезного образца соединения элемента из клееной древесины с металлической накладкой, который позволял моделировать реальную работу узловых сопряжений главных и второстепенных деревянных балок на металлических накладках. Разработанная конструкция состоит из доски 50(b)*100(h)*250(l) мм и прикрученной к ее торцу металлической накладки. Сечение доски 100*50 мм было принято из условия размещения на ее торцевой части металлической накладки размером 35(b)*10(h)*110(l) мм. Металлические накладки изготовлены из стали 40Х. В качестве крепежа использованы винты диаметром 4,5 мм и длиной 50 мм.

Испытания образцов проводились по сжатой схеме в соответствии с требованиями ГОСТ 33082-2014 «Конструкции деревянные. Методы определения несущей способности узловых соединений» с доведением их до разрушения ступенчатым нагружением через равные ступени возрастания нагрузки с периодической разгрузкой. К испытываемым образцам нагрузка

прикладывалась на верхний торец металлической накладки. В ходе исследования было испытано по 3 образца каждого из 5 типов: соединение наклейки и доски ввинченными шурупами без клея – образцы №1-3; соединение наклейки и доски клееввинченными шурупами (100 весовых частей эпоксидной смолы ЭД-20 и 10 весовых частей отвердителя ПЭПА) – образцы №4-6; соединение наклейки и доски клееввинченными шурупами (100 весовых частей эпоксидной смолы ЭД-20 и 10 весовых частей отвердителя ТЭТА) – образцы №7-9; соединение наклейки и доски клееввинченными шурупами (100 весовых частей эпоксидной смолы DER-331 и 13 весовых частей отвердителя ПЭПА) – образцы №10-12; соединение наклейки и доски клееввинченными шурупами (100 весовых частей эпоксидной смолы DER-331 и 13 весовых частей отвердителя ТЭТА) – образцы №13-15.

При нагружении образцов происходило смещение металлических накладок относительно деревянных элементов, к которым они были закреплены, вплоть до разрушения. В процессе испытаний наблюдалось легкое потрескивание всех образцов, после сильного треска у образцов происходило снижение значения воспринимаемой нагрузки. У образцов с клееввинченными шурупами с номерами 4, 5, 8, 10, 11 и 15 после сильного треска снижение значения воспринимаемой нагрузки сопровождалось дальнейшим ростом воспринимаемой нагрузки вплоть до нового сильного треска с падением нагрузки и прекращением испытаний. У образцов 3, 9, 11 и 15 в ходе испытаний произошел срез одной из головок шурупов, у образца 5 – двух головок. Ни у одного из испытанных образцов не произошло отклонения металлических накладок от поверхности досок, не было выявлено трещин, перекосов, смятия накладок или досок. После проведения испытаний всех образцов было установлено, что в начале приложения нагрузки происходило включение в работу ввинченных/ клееввинченных

шурупов, далее начинался вырыв шурупов и их деформации, а также смятие древесины в гнездах шурупов.

Основные результаты работы:

1) Определено, что установка ввинченных шурупов с применением клея увеличивает несущую способность соединения. Несущая способность соединений на клееввинченных шурупах с применением эпоксидной смолы ЭД-20 и отвердителя ПЭПА в 1,46 раза больше, чем соединений без применения клея, с применением эпоксидной смолы ЭД-20 и отвердителя ТЭТА - в 1,78 раза больше, с применением эпоксидной смолы DER-331 и отвердителя ПЭПА - в 1,70 раза больше, с применением эпоксидной смолы DER-331 и отвердителя ТЭТА - в 1,59 раза больше. Максимальная несущая способность соединений N_t составила 10,97 кН, 15,99 кН, 19,52 кН, 18,70 кН и 17,41 кН, нагрузка N_{I-II} составила 3,0 кН, 10,0 кН, 16,0 кН, 14,0 кН и 13,5 кН для бесклеевых и клееввинченных соединений (ЭД-20 + ПЭПА, ЭД-20 + ТЭТА, DER-331 + ПЭПА, DER-331 + ТЭТА) соответственно;

2) Определены деформации образцов в пределах их несущей способности. На уровне верхней границы области упругой работы полные деформации образцов составили в среднем $D_{II} = 0,11$ мм, $D_{II} = 0,08$ мм, $D_{II} = 0,08$ мм, $D_{II} = 0,11$ мм, $D_{II} = 0,25$ мм, что меньше предельной деформации, установленной нормами проектирования СП 64.13330.2017 для нагельных соединений $[D_u]=2$ мм в 18.18, 25.00, 25.00, 18.18, 8.00 раз для бесклеевых и клееввинченных соединений (ЭД-20 + ПЭПА, ЭД-20 + ТЭТА, DER-331 + ПЭПА, DER-331 + ТЭТА) соответственно;

3) Выявлено, что применение эпоксидных клеев изменяет характер деформирования соединения на ввинченных стержнях. При наличии клея соединение работает более упруго, доля упругих деформаций в составе полных деформаций соединений больше в среднем для трех образцов каждого из типов соединений в 1.56, 1.56, 1.82, 1.30 раз для клееввинченных

стержней (ЭД-20 + ПЭПА, ЭД-20 + ТЭТА, DER-331 + ПЭПА, DER-331 + ТЭТА) соответственно, чем в соединениях без применения клея, при этом абсолютные величины деформаций D_{II} в пределах упругой работы для клеевинченных соединений (ЭД-20 + ПЭПА, ЭД-20 + ТЭТА, DER-331 + ПЭПА, DER-331 + ТЭТА) отличаются от бесклеевых соединений на 37%, 37%, 0%, 127% соответственно;

4) Установлены средние расчетные значения несущей способности соединений деревянных элементов на металлических накладках, исходя из нагрузок $N_{I-II} = 3$ кН, $N_{I-II} = 10$ кН, $N_{I-II} = 16$ кН, $N_{I-II} = 14$ кН, $N_{I-II} = 13.5$ кН, соответствующих ВГОУР соединений и требуемого коэффициента надежности $K_{I-II} = 1,3$, которые составили $N_{II} = 3/1,3 = 2,3$ кН, $N_{II} = 10/1,3 = 7,7$ кН, $N_{II} = 16/1,3 = 12,3$ кН, $N_{II} = 14/1,3 = 13,1$ кН, $N_{II} = 13.5/1,3 = 10,8$ кН для бесклеевых и клеевинченных соединений (ЭД-20 + ПЭПА, ЭД-20 + ТЭТА, DER-331 + ПЭПА, DER-331 + ТЭТА) соответственно.

Сравнительные результаты испытаний образцов соединений на винченных и клеевинченных шурупах представлены в таблице 1. Сравнительный график «Нагрузка – полная деформация D_{II} » всех видов испытанных соединений представлен на рис. 2. Данная работа была выполнена при поддержке Головного регионального центра коллективного пользования научным оборудованием и установками НИУ МГСУ. Проведенные исследования и изученные в ходе исследования научные статьи Линькова В.И. [7-9], Найчука А.Я., Бабаева М.В. [10] позволили сформулировать основные предложения по повышению несущей способности соединения деревянных элементов на основе металлических накладок для дальнейшего изучения данного направления. В дальнейшем это позволит расширить номенклатуру применяемых в РФ соединений деревянных элементов и повысить надёжность и безопасность

конструирования конструкций на основе деревянных элементов с использованием металлических накладок.

Таблица №1.

Сравнительные результаты испытаний образцов соединений на ввинченных и клееввинченных шурупах

		Уровень нагружения			Среднее
		N_t	N_{I-II}	N_2	
Тип 1 (ввинченные шурупы) - №1,2,3	N ввинч., кН	10.97	3	9.48	-
	D_p , мм	2.66	0.112	2	-
	Доля упругих деф-ий, D_y/D_p	0,19	0.40	0.20	0.26
Тип 2 (клееввинченные шурупы - ЭД-20 + ПЭПА) - №4,5,6	N вклеен, кН	15.99	10	-	-
	D_p , мм	1.40	0.08	2	-
	Доля упругих деф-ий, D_y/D_p	0.14	0.625	-	0.38
	Эффект тип2/ тип1	К по N	1.46	3.33	-
К по доле D_y от D_p		0.74	1.56	-	1.15
Тип 3 (клееввинченные шурупы - ЭД-20 + ТЭТА) - №7,8,9	N вклеен, кН	19.52	16	16.78	-
	D_p , мм	1.52	0.08	2	-
	Доля упругих деф-ий, D_y/D_p	0.15	0.625	0.13	0.30
	Эффект тип3/ тип1	К по N	1.78	5.33	1.77
К по доле D_y от D_p		0.79	1.56	0.65	1.00
Тип 4 (клееввинченные шурупы - DER-331 + ПЭПА) - №10,11,12	N вклеен, кН	18.70	14	-	-
	D_p , мм	0.69	0.11	2	-
	Доля упругих деф-ий, D_y/D_p	0.26	0.727	-	0.49
	Эффект тип4/ тип1	К по N	1.70	4.67	-
К по доле D_y от D_p		1.37	1.82	-	1.60
Тип 5 (клееввинченные шурупы - DER-	N вклеен, кН	17.41	13.5	13.26	-
	D_p , мм	1.91	0.25	2	-
	Доля упругих деф-ий, D_y/D_p	0.19	0.52	0.15	0.29

331 + ТЭТА) - №13,14,15	Эффект тип5/ тип1	К по N	1.59	4.5	1.40	2.50
		К по доле D_y от D_n	1.00	1.3	0.75	1.02

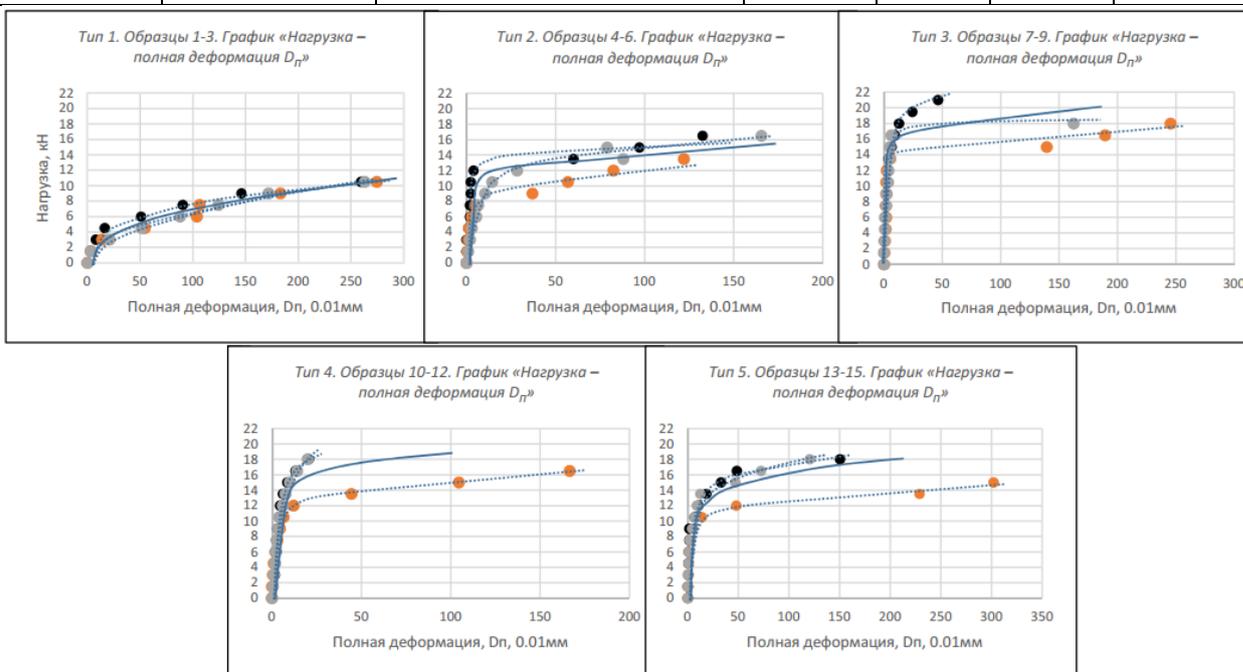


Рис. 2 - Сравнительный график «Нагрузка – полная деформация D_n соединений: тип 1) на винченных шурупах, тип 2) на клеевинченных шурупах (ЭД-20 + ПЭПА), тип 3) на клеевинченных шурупах (ЭД-20 + ТЭТА), тип 4) на клеевинченных шурупах (DER-331 + ПЭПА), тип 5) на клеевинченных шурупах (DER-331 + ТЭТА)»

Литература

1. Bogensperger T., Hude F. Entwicklung einer hoch beanspruchbaren Verbindung für Haupt-Nebenträger-Anschlüsse // 6 Grazer Holzbau-Fachtagung. Graz, Österreich. 2007. Vol. 1. pp. 209-224.
2. Augustin M., Flatscher G. Nachweisführung für SHERPA-Verbindungen auf Basis des SHERPA-Handbuchs // 16 Internationales Holzbau-Forum. Graz, Österreich. 2010. Vol. 1. pp. 1-16.
3. Augustin M. Abtragung hoher Lasten mit Sherpa-Systemverbindern // 15 Internationales Holzbau-Forum. Graz, Österreich. 2009. Vol. 1. pp. 1-21.

4. Schinner H. Befestigung von Holzbauteilen auf Stahlbetonuntergründen mit Hilfe von Systemverbindern // 18 Internationales Holzbau-Forum. Graz, Österreich. 2012. Vol. 1. pp. 1-20.

5. Сюй Юнь. Повышение несущей способности соединений элементов деревянных конструкций на металлических накладках с использованием металлической зубчатой пластины: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01/ Санкт-Петербург, 2015. 198 с.

6. Дежин М.А. Несущая способность и деформативность соединений деревянных элементов на металлических накладках с использованием винченных шурупов // Инженерный вестник Дона, 2021, №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7025.

7. Линьков В.И. Повышение несущей способности соединений на наклонных винченных стержнях // Инженерный вестник Дона, 2020, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6688.

8. Линьков В.И. Напряженное состояние наклонных металлических стержней в деревянных элементах составного сечения // Инженерный вестник Дона. 2019. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5592.

9. Линьков В.И. Несущая способность и деформативность НВС-соединений деревянных элементов при различном положении винченного стержня // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 4. С. 179-185.

10. Найчук А.Я., Бабаев М.В. К вопросу оценки несущей способности стальных винтовых стержней, завинченных под углом к волокнам древесины // Промышленное и гражданское строительство. М.: 2010. № 1. С. 21-23.

References

1. Bogensperger T., Hude F. 6. Grazer Holzbau-Fachtagung. Graz, Österreich. 2007. Vol. 1. p. 209-224.

2. Augustin M., Flatscher G. 16 Internationales Holzbau-Forum. Graz, Österreich. 2010. Vol. 1. p. 1-16.

3. Augustin M. 15 Internationales Holzbau-Forum. Graz, Österreich. 2009. Vol. 1. p. 1-21.

4. Schinner H. 18 Internationales Holzbau-Forum. Graz, Österreich. 2012. Vol. 1. p. 1-20.

5. Syuy Yun'. Povysheniye nesushchey sposobnosti soyedineniy elementov derevyannykh konstruktsiy na metallicheskih nakladkakh s ispol'zovaniyem metallicheskoj zubchatoy plastiny [Increasing the bearing capacity of element connections wooden structures on metal overlays using a metal toothed plate]: diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01/ Sankt-Peterburg, 2015. 198 p.

6. Dezhin M.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7025.

7. Lin'kov V.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6688.

8. Lin'kov V.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5592.

9. Lin'kov V.I. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. 2021. № 4. p. 179-185.

10. Naychuk A.YA., Babayev M.V. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. M.: 2010. № 1. p. 21-23.