

**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ НВС-СОЕДИНЕНИЙ  
ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ПРИ РАЗЛИЧНОМ ПОЛОЖЕНИИ ВВИНЧЕННОГО СТЕРЖНЯ**

**BEARING CAPACITY AND DEFORMABILITY OF ISR-CONNECTIONS  
OF WOODEN ELEMENTS  
AT DIFFERENT POSITIONS OF THE SCREWED-IN ROD**

*В.И. ЛИНЬКОВ*

*V.I. LINKOV*

(Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет (НИУ МГСУ))

(Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University)

E-mail: Linkov-kdip@mail.ru

*Несущая способность и деформативность соединений на наклонных ввинченных стержнях (НВС) зависит от положения ввинченного стержня по отношению к волокнам деревянных элементов составного сечения, применение которых целесообразно при реконструкции объектов текстильной промышленности. Проведена сравнительная оценка результатов испытаний образцов НВС-соединений с положением стержня под углом 30, 45, 60 и 90 градусов, определены прочностные и деформационные характеристики, коэффициенты надежности требуемые и фактические. Показано, что наиболее эффективной для НВС-соединений является установка ввинченных стержней под углом 30° к направлению волокон. По сравнению с традиционным – поперек волокон – расположение стержней под углом 30° и 45° повышает несущую способность НВС-соединений в 3,5 и в 2,1 раза, снижает деформативность на 75% и на 52% соответственно.*

*The bearing capacity and deformability of joints on inclined screwed rods (ISR) depends on the position of the screwed rod in relation to the fibers of wooden elements of composite section, the use of which is advisable in the reconstruction of textile industry. A comparative evaluation of the test results of wooden samples of ISR-compounds with the position of the rod at an angle of 30, 45, 60 and 90 degrees is carried out, strength and deformation characteristics and reliability and required safety factors are determined. It is shown that the most effective for ISR-compounds is the installation of screwed rods at an angle of 30 degrees to the direction of the fibers. Compared to the traditional - across the fibers - the location of the rods at an angle of 30 and 45 degrees increases the bearing capacity of the ISR-compounds by 3.5 and 2.1 times, reduces the deformability by 75% and 52%, respectively.*

**Ключевые слова:** реконструкция объектов текстильной промышленности, древесина, соединения на наклонных ввинченных стержнях, деревянные элементы составного сечения, несущая способность, деформативность, полные деформации, коэффициенты надежности требуемый и фактический, разрушающая нагрузка, верхняя граница области упругой работы соединения.

**Keywords:** reconstruction of textile facilities, wood, connections on inclined screwed rods, composite wood elements, load bearing capacity, deformability, complete deformations, reliability factors required and actual, breaking load, upper boundary of the region of elastic work of the connection.

Соединения на податливых связях [1...3], в том числе на наклонных ввинченных стержнях (НВС) без применения клея [4], [5], позволяют создавать деревянные элементы составного сечения, которые могут применяться при реконструкции объектов текстильной промышленности в виде балок, стоек, панелей верхнего пояса металлодеревянных ферм, работающих на поперечный изгиб, сжатие и сжатие с изгибом [6]. При этом на стадии изготовления влажность соединяемых брусьев не ограничивается требованиями, характерными для клеевых соединений [7]. В то время как для прочностных расчетов деревянных кон-

струкций важен модуль упругости древесины [8], [9], для составных конструкций на податливых связях [13], [14] важную роль играют деформации соединений [10].

Древесина является анизотропным материалом, прочность и деформативность которого зависит от угла между направлением действующих напряжений и направлением волокон деревянного элемента. Цель настоящей работы – провести сравнительную оценку несущей способности и деформативности НВС-соединений деревянных элементов при различных углах наклона ввинченного стержня к волокнам соединяемых элементов.

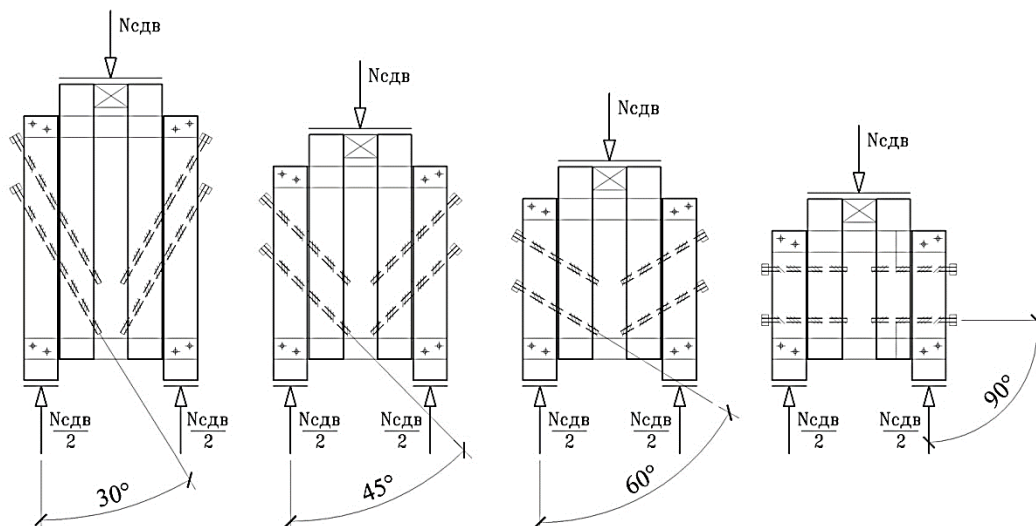


Рис. 1

В традиционных нагельных соединениях [11], [12] цилиндрические нагели устанавливаются в заранее просверленные отверстия и располагаются, как правило, поперек волокон соединяемых элементов. В соединениях деревянных элементов на

наклонных вклеенных и ввинченных стержнях наиболее распространенным является положение стержня под углом 45 градусов по отношению к волокнам, удобное с технологической точки зрения и удовлетворительное по критерию несущей

способности и деформативности соединения. Однако в соединениях на клеенных стержнях встречается расположение стержней под 30 и под 60 градусов по отношению к волокнам древесины. На кафедре металлических и деревянных конструкций НИУ МГСУ проведены испытания четырех типов образцов НВС-соединений, в которых положение ввинченных стержней по отношению к волокнам соединяемых деревянных элементов составляло 30, 45, 60 и 90 градусов (рис. 1), по три образца на каждый тип соединения. Была принята конструкция симметричного образца, состоящего из двух односрезных соединений. Металлические стержни диаметром  $d_{ст} = 10$  мм с укрупненным шагом резьбы установлены в образце по 2 штуки на каждый срез соединения. Испытания проводили нагружением ступенями с периодической разгрузкой, величина ступени нагружения 3 кН. Выполняли измерение деформаций взаимного сдвига соединяемых элементов, определяли нагрузку  $N_{I-II}$ , соответствующую верхней границе области упругой работы (ВГОУР) соединений, разрушающую нагрузку  $N_t$ , проводили оценку несущей способности НВС-соединений по ГОСТ 33082–2014 "Конструкции деревянные. Методы определения несущей способности узловых соединений" и сравнительную оценку несущей способности соединений с различным положением ввинченных стержней по отношению к волокнам древесины соединяемых элементов.

Разрушение соединений носило пластический характер, сопровождалось скалыванием древесины по поверхности соприкасания с резьбой наклонно ввинченного стержня, изгибом винтов и смятием древесины в гнезде под стержнем. Для оценки несущей способности НВС-соединений с учетом длительной прочности древесины для каждого типа образцов вычисляли по ГОСТ 33082–2014 коэффициент надежности, требуемый исходя из времени  $t$ , приведенного к неизменному действию на образец разрушающего усилия:

$$K_{треб} = 1,38 \cdot (1,94 - 0,116 \lg t),$$

где  $t = t_1'/38,2$  – время, приведенное к неизменному действию на образец разрушающего усилия,  $t_1' = n^2 t'$  – общая продолжительность испытания,  $c$ ;  $n$  – количество ступеней нагружения;  $t' = 9...10$  с – продолжительность изменения усилия на величину одной ступени. Для нагрузки  $N_{I-II}$ , соответствующей верхней границе области упругой работы соединения коэффициент надежности составляет  $K_{треб I-II} = 1,3$ . При этом коэффициенты надежности фактические  $K_{факт} = N_t/N_{п}$ ,  $K_{факт I-II} = N_{I-II}/N_{п}$  соответственно. Также представлены на основных уровнях нагружения деформации образцов НВС-соединений в абсолютных значениях полных деформаций  $D_{п}$ , мм, и показателях деформативности соединений в виде отношения  $D_{п}/N_1$ , мм/кН, где  $N_1$  – усилие, приходящееся на 1 стержень в образце. Результаты испытаний представлены на графиках на рис. 2 (деформации образцов НВС-соединений при различном положении ввинченных стержней) и рис. 3 (влияние угла положения ввинченного стержня на несущую способность и деформативность НВС-соединений), в табл. 1 (результаты сравнительных испытаний образцов НВС-соединений при положении ввинченного стержня под углом 30, 45, 60 и 90 градусов) и табл. 2 (сравнительная оценка несущей способности образцов НВС-соединений).

Из рассмотрения графиков на рис. 2 и 3 и табл. 1 видим, что деформации НВС-соединений носят нелинейный характер, при этом с уменьшением угла между ввинченным стержнем и направлением волокон древесины деформативность НВС-соединения уменьшается, несущая способность НВС-соединений увеличивается. При переходе от традиционного положения нагеля поперек волокон соединяемых элементов к наклонному положению ввинченного стержня, например при уменьшении угла от 90 до 30 градусов деформативность образцов НВС-соединений снижается: на уровне расчетной несущей способности соединений в 4,2 раза, на уровне верхней границы области упругой работы соединений в 3,7 раза. Прочностные характеристики НВС-соединений при уменьшении угла от 90 до

30 градусов увеличиваются: на уровне разрушающей нагрузки в 3,26 раза, на уровне

верхней границы области упругой работы соединений – в 4 раза.

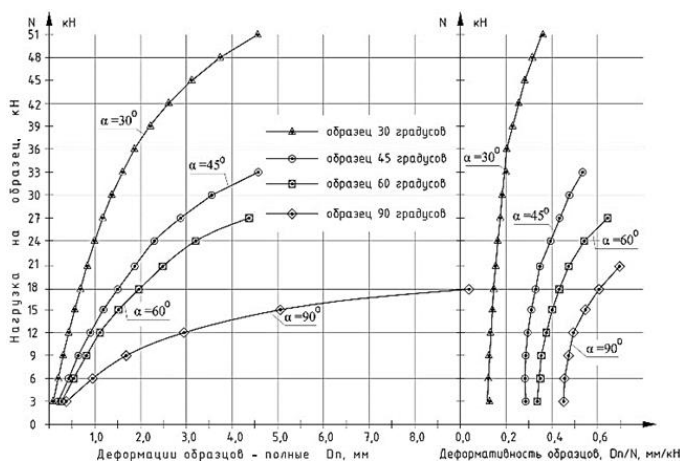


Рис. 2

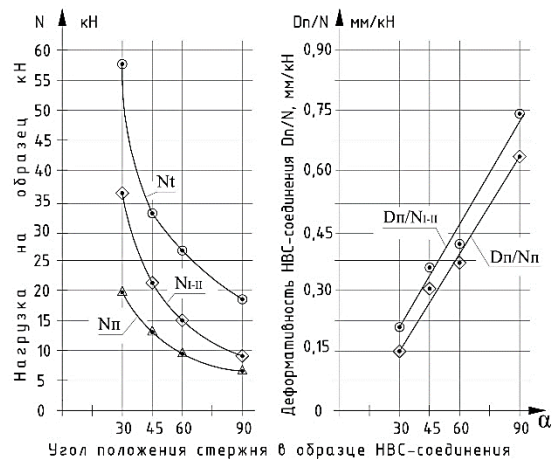


Рис. 3

Таблица 1

Угол, градус	Нагрузка на образец, кН			Деформации полные $D_p$ , мм, при нагрузке на образец			Деформативность соединения, $D_p/N_1^*$ , мм/кН	
	$N_t$	$N_{т-п}$	$N_p$				при $N_{т-п}$	при $N_p$
				при $N_t$	при $N_{т-п}$	при $N_p$		
30	57,68	36	19,77	4,58	1,82	0,74	0,202	0,150
45	33,60	21	12,99	4,61	1,89	0,98	0,360	0,302
60	26,60	15	9,22	4,38	1,51	0,85	0,403	0,369
90	17,71	9	6,60	9,1	1,68	1,04	0,747	0,631

Примечание.  $N_1$  – усилие, приходящееся на 1 стержень, в том числе для разрушающей нагрузки  $N_1 = N_t/4$ , для нагрузки, соответствующей ВГОУР,  $N_1 = N_{т-п}/4$ .

Результаты сравнительной оценки несущей способности и деформативности НВС-соединений при различном положении ввинченного стержня в образце представлены в табл. 2. Сравнительную оценку проводили по отношению к соединению с тра-

диционным положением стержня – 90 градусов (поперек волокон) и по отношению к соединению с положением стержня под углом 45 градусов, как наиболее распространенному в НВС-соединениях.

Таблица 2

Угол	По нагрузке			По деформации $D_p$		По деформативности соединения	
	$N_t$	$N_{т-п}$	$N_p$	при $N_{т-п}$	при $N_p$	при $N_{т-п}$	при $N_p$
1 - по отношению к НВС-соединению под углом 90 градусов							
30	3,257	4,000	2,998	1,083	0,712	0,271	0,237
45	1,897	2,333	1,970	1,125	0,942	0,482	0,478
60	1,502	1,667	1,398	0,899	0,817	0,539	0,584
90	1	1	1	1	1	1	1
2 - по отношению к НВС-соединению под углом 45 градусов							
30	1,717	1,714	1,522	0,963	0,755	0,562	0,496
45	1	1	1	1	1	1	1
60	0,792	0,714	0,710	0,799	0,867	1,119	1,222
90	0,527	0,429	0,508	0,889	1,061	2,074	2,090

Из рассмотрения табл. 2 видим, что наиболее эффективной для НВС-соединений является установка наклонных ввинченных стержней под углом 30 градусов к направлению волокон. По сравнению с традиционным – поперек волокон – расположение стержней под углом 30 градусов в среднем повышает несущую способность НВС-соединения в 3,5 раза, снижает деформативность НВС-соединений на 75%. Расположение стержней под 45 градусов, что считается наиболее удобным с технологической точки зрения, в среднем повышает несущую способность в 2,1 раза, снижает деформативность на 52%. Установка наклонных ввинченных стержней под углом 60 градусов к волокнам, что может быть востребовано в условиях ограниченных размеров участка для размещения наклонных стержней, по сравнению с традиционным увеличивает несущую способность

НВС-соединения в 1,5 раза и снижает деформативность соединения на 44%.

Результаты оценки несущей способности НВС-соединений по ГОСТ 33082–2014 представлены в табл. 3 (оценка несущей способности образцов НВС-соединений при положении ввинченного стержня под углом 30, 45, 60 и 90 градусов). Из рассмотрения табл. 3 видим, что для всех типов образцов НВС-соединений независимо от угла наклона ввинченного стержня по отношению к волокнам соединяемых элементов коэффициенты надежности фактические для максимальной несущей способности образцов  $N_t$  и коэффициенты надежности фактические для нагрузки  $N_{I-II}$  больше требуемых. Для нагрузки  $N_t$  коэффициенты надежности фактические составили в среднем  $K_{факт} = 2,768 > K_{треб} = 2,45$ , для нагрузки  $N_{I-II}$   $K_{факт_{I-II}} = 1,61 > K_{треб_{I-II}} = 1,3$ , что больше требуемого в 1,13 и 1,24 раза соответственно.

Т а б л и ц а 3

Угол	$t_1', c$	По разрушающей нагрузке			По нагрузке $N_{I-II}$		
		$K_{треб}$	$K_{факт}$	Запас	$K_{треб_{I-II}}$	$K_{факт_{I-II}}$	Запас
30	83,77	2,369	2,917	1,23	1,3	1,821	1,401
45	37,70	2,425	2,586	1,07		1,616	1,243
60	19,08	2,472	2,884	1,17		1,626	1,251
90	8,01	2,533	2,685	1,06		1,364	1,050
Среднее		2,450	2,768	1,13	1,3	1,607	1,236

## ВЫВОДЫ

1. Для соединений на наклонных ввинченных стержнях без применения клея определены показатели несущей способности и деформативности НВС-соединений при положении ввинченного стержня под углом 90, 60, 45, 30 градусов по отношению к волокнам деревянных элементов. Установлено, что с уменьшением угла между ввинченным стержнем и направлением волокон древесины соединяемых элементов деформативность НВС-соединения уменьшается, несущая способность НВС-соединений увеличивается.

2. Наиболее эффективной для НВС-соединений является установка ввинченных стержней под углом 30 градусов к направлению волокон. По сравнению с традиционным – поперек волокон – расположение стержней под углом 30 градусов повышает

несущую способность НВС-соединения в 3,5 раза, снижает деформативность на 75%.

3. Для всех типов образцов НВС-соединений независимо от угла наклона ввинченного стержня по отношению к волокнам соединяемых элементов коэффициенты надежности фактические для нагрузки  $N_t$  и для нагрузки  $N_{I-II}$  больше требуемых в 1,13 и 1,24 раза соответственно. Этим подтверждается, что соединения деревянных элементов на наклонных ввинченных стержнях обладают достаточной несущей способностью для применения в деревянных конструкциях составного сечения при реконструкции объектов текстильной промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Храмов К.С. Развитие расчета соединений деревянных конструкций с применением шурупов // Вестник гражданских инженеров. – 2012, № 2 (31). С. 83...85.

2. Дмитриев П.А., Жаданов В.И., Столповский Г.А. Соединения элементов деревянных конструкций на стальных винтовых крестообразных стержнях, работающих на выдергивание // Изв. вузов. Строительство. – 2010, № 4 (616). С. 133...137.

3. Аркаев М.А., Жаданов В.И. Расчет односрезных соединений на витых крестообразных нагелях при усилении деревянных конструкций путем увеличения поперечного сечения // Изв. вузов. Строительство. – 2017, № 2 (698). С. 92...100.

4. Пятикрестовский К.П., Травуш В.И., Погорельцев А.А., Клюкин А.А. Разработка конструкций из цельной древесины для объектов инфраструктуры // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – V. 14. № 1, 2018. P. 145...154.

5. Клюкин А.А., Пятикрестовский К.П. Покрытие-оболочка с ребрами из целнодеревянных элементов составного сечения // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015, № 1. С. 103...106.

6. Линьков В.И. К вопросу проектирования составных деревянных балок на наклонных металлических стержнях для покрытий реконструируемых объектов текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 3. С. 84...89.

7. С.Б.Турковский и др. Клееные деревянные конструкции с узлами на клеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). – М.: РИФ Стройматериалы, 2013.

8. Погорельцев А.А., Пятикрестовский К.П. Обоснование нормируемых значений модулей упругости при расчетах деревянных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. – 2013, № 10. С. 33...35.

9. Арленинов Д.К. О расчете деревянных конструкций по деформируемой схеме // Промышленное и гражданское строительство. – 2016, № 1. С.43...46.

10. Линьков В.И. Моделирование работы деревянных балок составного сечения на податливых связях с применением теории составных стержней А.Р. Ржаницына // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011, № 5. С. 30...35.

11. Водяников М.А., Кашеварова Г.Г., Штро П.С. Деформативность и несущая способность узлов стыка деревянных конструкций на стальных и углепластиковых нагелях // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2017. Т. 2. С. 50...56.

12. Водяников М.А., Воробьев А.В. Оценка работы соединений деревянных конструкций на стальных и углепластиковых цилиндрических нагелях // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017, № 1 (25). С.159...169.

13. Walford G. Bryan. Tests on nailed and glued layered timber cylindrical shells. ASCE J Struct Div. – Vol. 106. 1980. P. 247...263.

14. E. George Stern. Nailed Flitch beams and griders providing opportunities in wood construction. Virginia Polytechnic Institute & State University Department. - VA, USA. 1982. P. 55...64.

## REFERENCES

1. Khramov K.S. Razvitie rascheta soedineniy derevyannykh konstruktсий s primeneniem shurupov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. – 2012, № 2 (31). S. 83...85.

2. Dmitriev P.A., Zhadanov V.I., Stolpovskiy G.A. Soedineniya elementov derevyannykh konstruktсий na stal'nykh vintovykh krestoobraznykh sterzhnyakh, rabotayushchikh na vydergivanie // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2010, № 4 (616). S. 133...137.

3. Arkaev M.A., Zhadanov V.I. Raschet odnosreznnykh soedineniy na vitykh krestoobraznykh nagelyakh pri usilenii derevyannykh konstruktсий putem uvelicheniya poperechnogo secheniya // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2017, № 2 (698). S. 92...100.

4. Pyatikrestovskiy K.P., Travush V.I., Pogorel'tsev A.A., Klyukin A.A. Razrabotka konstruktсий iz tsel'noy drevesiny dlya ob"ektov infrastruktury // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – V. 14. № 1, 2018. P. 145...154.

5. Klyukin A.A., Pyatikrestovskiy K.P. Pokrytie-obolochka s rebrami iz tsel'noderevyannykh elementov sostavnogo secheniya // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2015, № 1. S.103...106.

6. Lin'kov V.I. K voprosu proektirovaniya sostavnykh derevyannykh balok na naklonnykh metallicheskikh sterzhnyakh dlya pokrytiy rekonstruiemykh ob"ektov tekstil'noy promyshlennosti // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, № 3. S. 84...89.

7. S.B.Turkovskiy i dr. Kleenye derevyannye konstruktсии s uzlami na vkleennykh sterzhnyakh v sovremennom stroitel'stve (sistema TsNIISK). – М.: RIF Stroymaterialy, 2013.

8. Pogorel'tsev A.A., Pyatikrestovskiy K.P. Obosnovanie normiruemykh znacheniy moduley uprugosti pri raschetakh derevyannykh konstruktсий // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013, № 10. S.33...35.

9. Arleninov D.K. O raschete derevyannykh konstruktсий po deformiruemyy skheme // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2016, № 1. S.43...46.

10. Lin'kov V.I. Modelirovanie raboty derevyannykh balok sostavnogo secheniya na podatlivykh svyazyakh s primeneniem teorii sostavnykh sterzhney A.R. Rzhantsyna // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 2011, № 5. S. 30...35.

11. Vodyannikov M.A., Kshevarova G.G., Shtro P.S. Deformativnost' i nesushchaya sposobnost' uzlov styka derevyannykh konstruktсий na stal'nykh i ugleplastikovykh nagelyakh // Sovremennye tehnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika. – 2017. T. 2. S. 50...56.

12. Vodyannikov M.A., Vorob'ev A.V. Otsenka raboty soedineniy derevyannykh konstruktсий na stal'nykh i ugleplastikovykh tsilindricheskikh nagelyakh

// Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. – 2017, № 1 (25). S. 159...169.

13. Walford G. Bryan. Tests on nailed and glued layered timber cylindrical shells. ASCE J Struct Div. – Vol. 106. 1980. P. 247...263.

14. E. George Stern. Nailed Flitch beams and griders providing opportunities in wood construction. Virginia Polytechnic Institute & State University Department. - VA, USA. 1982. P. 55...64.

Рекомендована кафедрой металлических и деревянных конструкций. Поступила 22.06.20.

---