

## Напряженное состояние наклонных металлических стержней в деревянных элементах составного сечения

*В.И. Линьков*

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

**Аннотация:** Рассматриваются результаты испытаний серии односрезных образцов соединений деревянных элементов на наклонных металлических стержнях (НМС), в которых усилие между стержнем и древесиной передается через шайбы. Расчетная несущая способность НМС-соединения определена с учетом изменений в СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80». Рассмотрено теоретически и на основании экспериментальных данных напряженно-деформированное состояние НМС-соединения и напряженное состояние наклонных стальных стержней. Установлены преобладающие факторы в напряженном состоянии наклонных стержней. Выполнена оценка несущей способности НМС-соединения на стержнях с шайбами.

**Ключевые слова:** Деревянные конструкции, податливые соединения, НМС-соединение, наклонные металлические стержни, расчетная несущая способность, сдвигающее усилие, растягивающие напряжения, разрушающая нагрузка, смятие под шайбами, коэффициент надежности.

В деревянных конструкциях из цельной древесины применяют элементы составного сечения [1-3] которые формируют из несколько уложенных друг на друга брусев, совместная работа которых обеспечивается установкой наклонных металлических стержней (НМС). При этом в конструкциях из цельной древесины, влажность которой не позволяет применять соединения на основе клея [4], совместная работа древесины и наклонных металлических стержней обеспечивается передачей усилий за счет резьбы, витого крестового профиля, через шайбы [5-8]. Такие соединения являются податливыми [9-14] и в соответствии с ГОСТ 33082-2014 «Конструкции деревянные. Методы определения несущей способности узловых соединений» относятся к соединениям т.н. второй группы.

Напряженное состояние наклонного стержня в соединении определяется растяжением и изгибом, которые действуют одновременно. Напряженное состояние наклонного стержня влияет на податливость НМС-соединения и на несущую способность деревянных элементов составного сечения [9]. Цель

настоящей работы – определение напряженного состояния наклонного металлического стержня в соединении деревянных элементов без применения клея.

Для определения напряженного состояния наклонных стержней были выполнены испытания четырех односрезных образцов НМС-соединений. Деревянные элементы сечением 100x100 мм соединены наклонными стержнями из стали С245 диаметром 16 мм. Стержни устанавливали в отверстия, просверленные под углом 45 градусов к направлению волокон соединяемых элементов (рис. 1). Сдвигающее усилие между деревянными элементами и наклонными металлическими стержнями передавалось в соединении через шайбы - стальные пластины 100x50 мм толщиной 12 мм. Нагружение образцов выполняли с постоянной скоростью без разгрузки, нагрузку увеличивали ступенями по 0,1 от предполагаемой разрушающей нагрузки на образец. Деформации сдвига соединяемых элементов измеряли индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм, напряжения в наклонных стержнях – тензодатчиками с базой 20 мм. Тензодатчики располагали в плоскости изгиба стержня симметрично с его противоположных сторон.

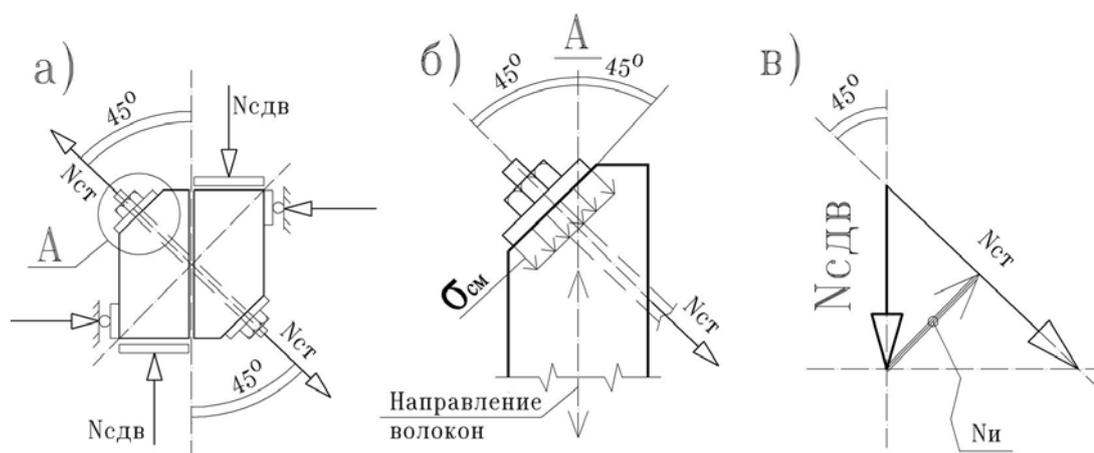


Рис. 1. Конструкция образца и схема работы НМС-соединения

При действии сдвигающего усилия  $N_{сдв}$ , направленного вдоль плоскости сплачивания, напряженное состояние соединения складывается из

нескольких условий, представленных в табл. 1, по которым расчетная несущая способность соединения определялась с учетом изменений, внесенных в СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80». Расчетная несущая способность (РНС) образца, представленная в соответствии со схемой работы соединения в виде сдвигающего усилия  $N_{сдв}$  (см. рис.1), составит из условий изгиба наклонного стержня и смятия древесины в нагельном гнезде (по условиям 1 и 2)  $N_{сдв} = N_{и1} / \cos 45^{\circ}$ ; то же, из условий смятия древесины соединяемых элементов под шайбами и работы стяжения на растяжение (по условиям 3 и 4)  $N_{сдв} = N_{р3} \times \cos 45^{\circ}$ .

Таблица № 1.

**Расчетная несущая способность образцов НМС-соединения**

№ усло-вия	Напряженное состояние НМС-соединения	Обозначение	Формула	Величина РНС, кН	$N_{сдв}$ РНС, кН
1	Смятие древесины в нагельном гнезде	$N_{и1}$	$0,55 \times a \times d \times K\alpha$	9,96	14,08
2	Изгиб НМС	$N_{и2}$	$(2,2d^2 + 0,025a^2) \sqrt{K\alpha}$	9,51	13,45
3	Смятие древесины под шайбами	$N_{р3}$	$F_{ш} \times R_{см 45}$	29,8	21,1
4	Растяжение НМС	$N_{р4}$	$F_{ст нт} \times R_y$	29,6	20,93

где  $a=10/\cos 45^{\circ}= 14,14$  см;  $d =1,6$  см;  $K\alpha=0,8$  – расчетные параметры соединения;  $R_{см45} =5,97$  МПа – расчетное сопротивление смятию под шайбой;  $F_{ш} = 100 \times 50 = 5 \times 10^3$  мм<sup>2</sup> - площадь смятия под шайбой;  $F_{ст нт} = 141$  мм<sup>2</sup> – площадь поперечного сечения стального стержня нетто;  $R_y=245 \times 0,9=220$  МПа – расчетное сопротивление стального стержня С245.

В таблице 2 представлены прочностные показатели образцов НМС-соединения: разрушающая нагрузка в виде сдвигающего усилия  $N_{т_{сдв}}$  и соответствующие ей продольные растягивающие  $N_{т_{р}} = N_{т_{сдв}} / \cos 45^{\circ}$  и

поперечные  $N_{t_{II}} = N_{t_{сдв}} \times \cos 45^\circ$  усилия в наклонном стержне; нагрузка, соответствующая верхней границы области упругой работы (ВГОУР) образца  $N_{I-II сдв}$  и соответствующие ей продольные растягивающие  $N_{I-II p} = N_{I-II сдв} / \cos 45^\circ$  и поперечные  $N_{I-II и} = N_{I-II сдв} \times \cos 45^\circ$  усилия в наклонном стержне.

Таблица № 2.

**Прочностные характеристики образцов НМС-соединения**

№ условия	Разрушающее усилие, кН			Усилие ВГОУР, кН		
	$N_{t сдв}$	$N_{t p}$	$N_{t и}$	$N_{I-II сдв}$	$N_{I-II p}$	$N_{I-II и}$
1	46	65,1	32,5	28	39,6	19,8
2	50,85	71,9	36,0	30,9	43,7	21,8
3	53,7	76,0	38,0	31,18	44,1	22,0
4	42,4	60,0	30,0	25,5	36,1	18,0
Среднее $N_{ср средн}$	48,2	68,2	34,1	28,9	40,9	20,4
$N_{PHC}$	13,45	29,60	9,51	13,45	29,8	9,51
$K_{ф} = N_{ср средн} / N_{сдв}$		<b>2,30</b>	3,59		<b>1,37</b>	2,15
$S^*$	5,02	7,11	3,55	2,68	3,79	1,90
$C_v$	10,4			9,3		

$S^*$  - среднее квадратическое отклонение.

Разрушение образцов носило пластический характер. В среднем для четырех образцов разрушающая нагрузка в виде сдвигающего усилия составила  $N_{t_{сдв}}=48,2$  кН. Нагрузка, соответствующая верхней границе области упругой работы НМС-соединения средняя для четырех образцов составила  $N_{I-II сдв} =28,9$  кН. Вариационный коэффициент для выборки из четырех значений составил для разрушающей нагрузки  $C_v=0,104 < 0,15$ , для верхней границы области упругой работы  $C_v=0,093 < 0,15$ , что меньше установленного ГОСТ 33082-2014 и подтверждает стабильность полученных результатов. Для оценки несущей способности НМС-соединений определяли коэффициенты надежности фактические  $K_{ф}$  для каждого из условий напряженного состояния НМС-соединения по разрушающей нагрузке  $N_t$  и по

нагрузке  $N_{I-II}$ . Сравнивая коэффициенты надежности фактические по разрушающей нагрузке (табл. 2) видим, что минимальный коэффициент надежности фактический  $K_f=2,3$  соответствует напряженным состояниям, которые определяются работой наклонного металлического стержня на растяжение и работой древесины на смятие под шайбами.

Оценку несущей способности НМС-соединения согласно указаниям ГОСТ 33082-2014 проводили по нагрузке, соответствующей верхней границе области упругой работы (ВГОУР) образца по неравенству  $N_{I-II\text{средн}} / N_{PHC} \geq 1,3$  для каждого вида напряженного состояния соединения.

По критериям смятия древесины в нагельном гнезде и изгиба стержня  $N_{I-II} / N_{PHC} = 20,4/9,51 = 2,15 > 1,3$  неравенство выполняется с запасом в 65%. В то же время по критериям смятия древесины под шайбами и растяжения стержня  $N_{I-II} / N_{PHC} = 40,9/29,8 = 1,37 > 1,3$  неравенство выполняется с запасом в 5% и показывает, что определяющим для несущей способности НМС-соединения является смятие древесины под шайбами и растяжение стержня по площади нетто. При этом НМС-соединение обладает достаточной несущей способностью для восприятия нагрузок в пределах расчетного диапазона.

Таблица № 3.

**Напряжения в наклонных стержнях НМС-соединения**

N сдв, кН	Напряжения в НМС, МПа								σр/σи
	Образец 1		Образец 2		Образец 3		Образец 4		
	σр	σи	σр	σи	σр	σи	σр	σи	
10	54,0	43,2	57,8	46,4	54,3	43,5	58,1	46,5	1,247
15	86,7	71,5	88,9	73,3	87,4	72,1	89,8	74,1	1,213
20	112,5	88,1	121,0	94,8	101,1	79,2	129,1	101,1	1,277
25	143,1	113,9	153,2	122,0	148,1	117,9	183,2	145,8	1,256
30	174,6	146,2	191,9	160,7	148,1	124,1			1,194
35	205,0	189,0	234,8	216,4	180,3	166,2			1,085
40	258,0	244,6	284,6	270,0	217,0	205,8			1,054
							Среднее до $N_{I-II}$		1,237

Рассмотрим напряженное состояние наклонных металлических стержней. В таблице 3 представлены напряжения растяжения и напряжения изгиба средние по длине стержня для каждого из образцов НМС-соединения.

Из рассмотрения табл. 3 видим, что в наклонном стержне, соединяющем в образце деревянные элементы, на всех ступенях нагружения преобладают растягивающие напряжения. Отношение  $\sigma_r/\sigma_{\text{ги}}$ , отражающее долю растягивающих напряжений в стержне в пределах упругой работы соединения составляет в среднем  $\sigma_r/\sigma_{\text{ги}} = 1,237$ , но выше нагрузки  $N_{I-II}$  доля растягивающих напряжений начинает снижаться. Интенсивность роста растягивающих напряжений в пределах упругой работы соединения составила 5,43 – 6,39 МПа на 1 кН сдвигающего усилия. Максимальные растягивающие напряжения в стержне на уровне расчетной несущей способности образца НМС-соединения составили  $\sigma_r = 158-164$  МПа, в среднем  $\sigma_r = 161$  МПа <  $R_y = 220$  МПа, что меньше расчетного сопротивления наклонного стержня.

#### Выводы.

1. Определяющим условием для несущей способности НМС-соединений является работа древесины на смятие под шайбами и растяжение стального стержня. Коэффициент надежности фактический по нагрузке  $N_{I-II}$  составил 1,37, что в 1,06 раза выше требуемого.
2. Установлено, что для наклонных металлических стержней, расположенных в соединении под углом  $45^\circ$  к направлению волокон деревянных элементов, преобладающим является работа на растяжение. На уровне расчетной несущей способности НМС-соединения растягивающие напряжения в стержне составили  $\sigma_r = 161$  МПа <  $R_y = 220$  МПа, что меньше расчетного сопротивления наклонного стержня.

3. Оценка несущей способности НМС-соединения, выполненная с учетом обновленных значений расчетной несущей способности с учетом изменений, внесенных в СП 64.13330.2017, показала, что НМС-соединения на стальных стержнях с шайбами обладают достаточной несущей способностью для применения в несущих деревянных конструкциях.

### Литература

1. Ковальчук Л.М., Турковский С.Б.и др. Деревянные конструкции в строительстве. М.: Стройиздат, 1995, 248 с.

2. Линьков В.И. Конструкции на основе деревянных элементов составного сечения с соединениями на наклонных металлических стержнях без применения клея. // Промышленное и гражданское строительство. М.: 2012. № 11. С. 29-31.

3. Линьков В.И. К вопросу проектирования составных деревянных балок на наклонных металлических стержнях для покрытий реконструируемых объектов текстильной промышленности. Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. Иваново: ИВГПУ. 2018. № 3 (375) . С. 84-89

4. Турковский С.Б.и др. Клееные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). М.: РИФ «Стройматериалы». 2013. 308 с.

5. 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.

6. Линьков В.И. Сравнительная оценка несущей способности и деформативности НМС-соединений на наклонных ввинченных стержнях и болтах. // Научное обозрение. М.: 2015. № 14, С. 117-122.



7. Жаданов В.И., Аркаев М.А., Котлов В.Г. Экспериментальные исследования деревянных балок, усиленных витыми крестообразными стержнями. // Промышленное и гражданское строительство. М.: 2017. № 11. С. 5-11.

8. Линьков В.И. Несущая способность и деформативность соединений на наклонных стержнях с комбинированными шайбами. // Промышленное и гражданское строительство, М.: 2016. № 9. С. 38-41.

9. 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. М.: 2011. № 5. С. 30-35.

10. Линьков В.И. Сравнительная оценка несущей способности и деформативности НМС-соединений на наклонных ввинченных стержнях и болтах. // Научное обозрение. 2015. № 14. С. 117-122.

11. Кавелин А.С. Цели и задачи экспериментальных исследований работы на сдвиг нагельного соединения // Инженерный вестник Дона, 2015, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2947](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2947).

12. Вернези Н.Л., Веремеенко А.А., Вальдман Д.С.. Исследование прочностных характеристик металлического крепежа деревянного корпуса речного причала // Инженерный вестник Дона, 2015, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3231](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3231).

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

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

## References

1. Koval'chuk L.M., Turkovskij S.B. Derevjannye konstrukcii v stroitel'stve [Wooden constructions in the building]. M.: Strojizdat, 1995, 248 p.
  2. Lin'kov V.I. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. M.: 2012. № 11. pp. 29-31.
  3. Lin'kov V.I. Izvestija VUZov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. Ivanovo: IVGPU. 2018. № 3 (375) .pp. 84-89.
  4. Turkovskij S.B. Kleenye derevjannye konstrukcii s uzlami na vkleennyh sterzhnjah v sovremennom stroitel'stve (sistema CNIISK) [Glued wooden constructions with the units on the pasted rods in the contemporary building]. M.: RIF «Strojmaterialy». 2013. 308 p.
  5. Najchuk A.Ja., Babaev M.V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. M.: 2010. № 1. pp. 21-23.
  6. Lin'kov V.I. Nauchnoe obozrenie. M.: 2015. № 14, pp. 117-122.
  7. Zhadanov V.I., Arkaev M.A., Kotlov V.G. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. M.: 2017. № 11. pp. 5-11.
  8. Lin'kov V.I. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, M.: 2016 . № 9. pp. 38-41.
  9. Lin'kov V.I. Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. M.: 2011. № 5. pp. 30-35.
  10. Lin'kov V.I. Nauchnoe obozrenie. 2015. № 14. pp. 117-122.
  11. Kavelin A.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2947](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2947).
  12. Vernezi N.L., Veremeenko A.A., Val'dman D.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3231](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3231)
  13. Bryan Walford G. Tests on nailed and glued layered timber cylindrical shells. ASCE J Struct Div. Vol. 106. 1980. pp. 247-263.
-



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