

**СОЕДИНЕНИЯ НА НАКЛОННЫХ ВВИНЧЕННЫХ СТЕРЖНЯХ
В ДЕРЕВЯННЫХ БАЛКАХ
ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**CONNECTIONS ON INCLINED SCREWED RODS IN WOODEN BEAMS
FOR THE RECONSTRUCTION OF TEXTILE INDUSTRY BUILDINGS**

В.И. ЛИНЬКОВ
V.I. LINKOV

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)
(Moscow State University of Civil Engineering National Research University)
E-mail: linkov-kdip@mail.ru

На кафедре металлических и деревянных конструкций НИУ МГСУ накоплен опыт реконструкции объектов текстильного комбината "Красная Роза", г. Москва, с применением деревянных балок составного сечения на податливых связях. В статье рассмотрены результаты испытаний длительно действующей нагрузкой деревянных балок составного сечения натуральных размеров. Проведена оценка деформативности соединений на наклонных ввинченных стержнях, работающих при длительном действии нагрузки в качестве податливых связей в деревянных балках составного сечения. Рассматривается влияние деформаций соединений на наклонных ввинченных стержнях на основные параметры – напряжения в зоне чистого изгиба, прогибы конструкций в середине пролета – напряженно-деформированного состояния деревянных балок составного сечения при длительном действии нагрузки.

On the chair of Metal and wooden structures in NRU Moscow State University of Civil Engineering experience in reconstruction of textile mill facilities "Red Rose" is accumulated. In the article the results of tests of a long-acting load of wooden beams of a composite section of full-scale dimensions. Deformability of joints on inclined screwed rods is measured for connections on inclined screwed rods in wooden beams. The effect of deformations of joints on inclined screwed rods on the main parameters - stresses in the zone of pure bending, deflections of structures in the middle of the span – while long term loading.

Ключевые слова: наклонные ввинченные стержни, деревянные конструкции составного сечения, соединения деревянных элементов, длительно действующая нагрузка, деформации сдвига, прогибы в середине пролета, нормальные напряжения в зоне чистого изгиба.

Keywords: inclined screwed rods, composite sectioned wooden beams, long-term load, shifting deformations, deflection of beams in the middle of length, normal stress in pure bending zone.

Разновидностью соединений на наклонных металлических стержнях без применения клея являются соединения на наклонных ввинченных стержнях, в которых уси-

лия между ввинченным стержнем и деревянным элементом передаются за счет сцепления резьбы с древесиной [1], [2]. Соединения данного типа предназначены в ос-

новном для обеспечения совместной работы отдельных ветвей в деревянных элементах составного сечения [3], [4]. В отличие от соединений на клеенных стержнях [5], [6], несущая способность соединения деревянных элементов на ввинченных стержнях зависит от таких факторов, как параметры резьбы, угол ввинчивания стержня в древесину, свойства материалов металлического стержня и древесины и др. [7]. Также несущая способность и деформативность соединений на наклонных ввинченных стержнях зависят от длительности

действия нагрузки. При этом в ряде случаев деформативность соединений снижает несущую способность конструкций, как это имеет место в деревянных элементах составного сечения с соединениями на податливых связях [8...10].

Цель настоящей работы – оценка деформативности соединений деревянных элементов на наклонных ввинченных стержнях, работающих в качестве связей сдвига в деревянных балках составного сечения, при длительном действии нагрузки.

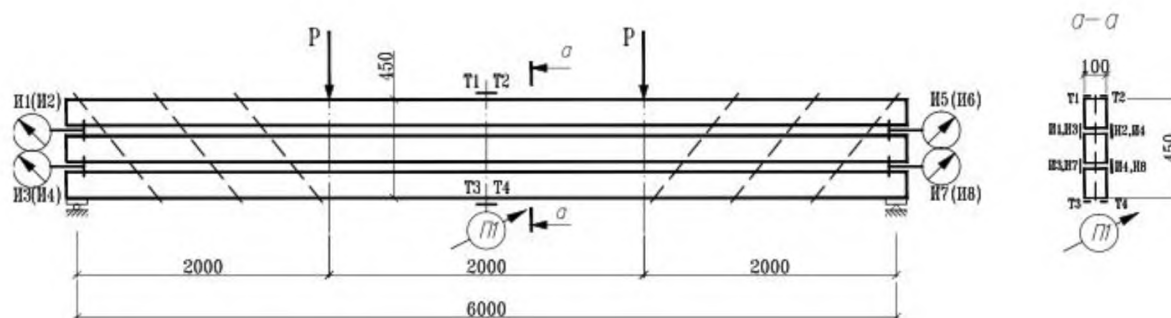


Рис. 1

Были подготовлены четыре деревянных балки пролетом $L=6$ м составного сечения на наклонных ввинченных стержнях (рис. 1 – конструкция, схема нагружения, расстановка приборов для испытания балок составного сечения длительно действующей нагрузкой). Кратковременный модуль упругости брусьев составил в среднем $E_{кр.вр} = 15152$ МПа. Балки были установлены под нагрузку $N_{п}=35$ кН, что соответствовало несущей способности конструкций по 2-й группе предельных состояний.

Продолжительность наблюдений, описанная в настоящей работе, – 155 суток. Результаты испытаний длительно действующей

нагрузкой, средние для четырех балок, представлены на рис. 2 и в табл. 1 (показатели напряженно-деформированного состояния балок на наклонных ввинченных стержнях при длительном действии нагрузки). Стабилизация прогибов балок в середине пролета и деформаций сдвига брусьев на опорах наступила на 107-е сутки от начала испытаний. При этом средняя для четырех балок величина полных прогибов в середине пролета составила $f_{полн}=23,33$ мм $=1/257 L$, деформации взаимного сдвига брусьев $D_{полн}=0,923$ мм $< [D_U] = 2$ мм, где $[D_U]$ – предельная деформация для нагельных соединений всех видов.

Т а б л и ц а 1

№ этапа	Время действия нагрузки		Прогибы $f_{сост}$, мм	Деформации сдвига $D_{п}$, мм	Относительные деформации $\varepsilon \cdot 10^{-3}$	Интенсивность роста показателей напряженно-деформированного состояния составных балок		
	сутки	Lgt, с				Δf /сут	$\Delta D_{п}$ /сут	$\Delta \varepsilon \cdot 10^{-3}$ /сут
1	1	4,937	18,03	0,633	1,045	18,028	0,6330	1,0452
2	10	5,937	20,62	0,7675	1,189	0,2878	0,01494	0,016
3	44	6,580	21,89	0,833	1,265	0,0375	0,00193	0,00224
4	107	6,966	23,16	0,914	1,332	0,0200	0,00128	0,00105
5	155	7,127	23,33	0,923	1,359	0,0036	0,00019	0,00058

На рис. 2 (результаты испытаний деревянных балок длительно действующей нагрузкой: средние для 4-х балок: а) – относительные деформации $\varepsilon \cdot 10$ в зоне чистого изгиба, б) – деформации взаимного сдвига брусьев $D_{сдв}$, мм; в) – прогибы в середине пролета f , мм) и рис. 3 (интенсивность роста показателей напряженно-деформированного состояния деревянных балок составного сечения) представлены графики, отражающие изменение показателей напряженно-деформированного состояния

(НДС) конструкций за 155 суток под постоянной нагрузкой $N_{п}=35$ кН. Работу балок можно разделить на четыре характерных этапа, окончание которых приходится соответственно на 1, 10, 44 и 107-е сутки с момента приложения нагрузки, в течение которых происходит нарастающее снижение роста показателей НДС (рис. 3) и наблюдается стабилизация напряженно-деформированного состояния балок на 5-м этапе.

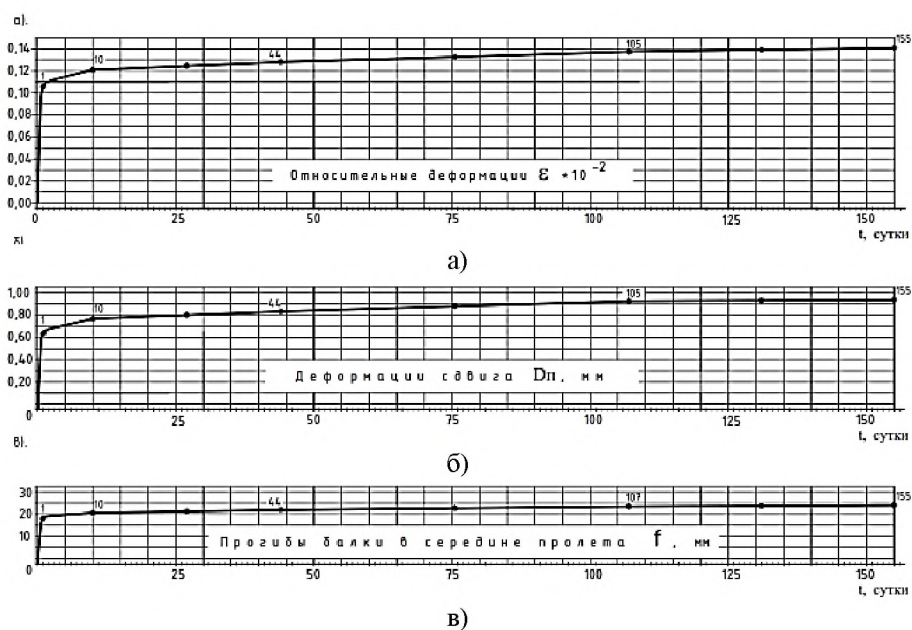


Рис. 2

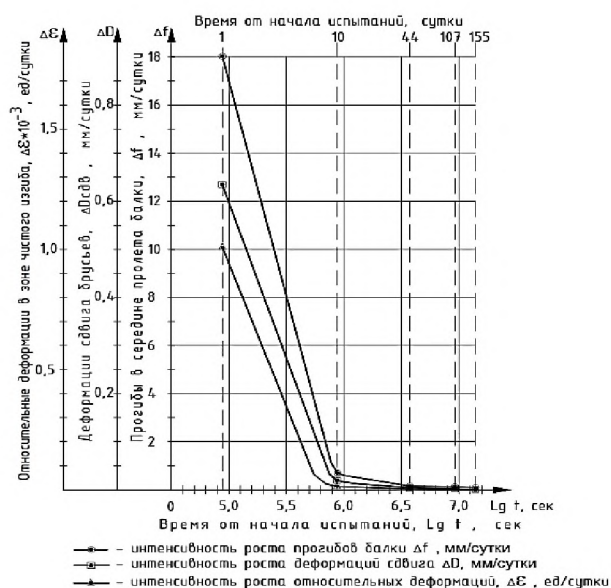


Рис. 3

Проведем оценку влияния деформаций сдвига брусьев, соединенных наклонными винченными стержнями, на напряженное состояние деревянных балок. Прогибы составной балки $f_{сост}$ можно представить, как сумму прогибов балки цельного сечения $f_{ц}$ и прогибов f_{D} , возникающих за счет податливости связей сдвига: $f_{сост} = f_{ц} + f_{D}$. Прогибы составной балки $f_{сост}$ известны из результатов испытаний, прогибы балки цельного сечения при постоянной нагрузке $N_{п}=35$ кН в каждый момент времени t определим расчетом в соответствии со схемой нагружения конструкции. Тогда прогибы составной балки, вызванные деформациями сдвига брусьев за счет податливости

соединений на наклонных ввинченных стержнях:

$$f_D = f_{\text{сост}} - f_{\text{ц}} = f_{\text{сост}} - 1/28,17 PL^3 / (Et I_{\text{БР}}).$$

Полученные из эксперимента значения прогибов балок $f_{\text{сост}}$ и деформаций сдвига зависят от длительности действия нагруз-

ки, в связи с чем модуль упругости древесины балок E_t в любой момент времени испытаний t принимали с учетом его снижения во времени под постоянной нагрузкой [11], [12] и определяли, как $E_t = E_{\text{кр.вр}} m_{\text{дл}}$, где коэффициент $m_{\text{дл}} = 0,0557 \cdot (18,5 - \lg t)$, t – продолжительность действия постоянной нагрузки, с. Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Таблица 2

№ этапа	E_t , МПа	Прогибы балки		Доля прогибов за счет податливости связей $f_D / f_{\text{ц}}$, %	Относительные деформации $\varepsilon \cdot 10^{-3}$	Напряжения в балке		Доля напряжений за счет податливости связей $\sigma_D / \sigma_{\text{ц}}$, %
		цельного сечения $f_{\text{ц}}$, мм	за счет деформаций сдвига f_D , мм			цельного сечения $\sigma_{\text{ц}}$, МПа	за счет деформаций сдвига σ_D , МПа	
1	11442	15,44	2,584	16,7	11,96	10,37	1,588	15,3
2	10598	16,67	3,944	23,7	12,60		2,234	21,5
3	10055	17,57	4,319	24,6	12,72		2,354	22,7
4	9730	18,16	4,994	27,5	12,96		2,586	24,9
5	9594	18,42	4,912	26,7	12,98		2,607	25,1
Среднее за этапы 2-5				25,6	Среднее за этапы 2-5			23,6

Из табл. 2 видим, что влияние податливости связей на показатели напряженно-деформированного состояния балок с течением времени сохраняется. Так, прогибы балок f_D , вызванные податливостью соединений на наклонных ввинченных стержнях, увеличивают полные прогибы балок при длительном действии нагрузки и составляют на первом этапе работы балок 16,7% от прогибов балки условно-цельного сечения, к началу стабилизации прогибов на 107-е сутки действия постоянной нагрузки – 27,5% от прогибов балки условно-цельного сечения. Также имеет место увеличение относительных деформаций и нормальных напряжений в зоне чистого изгиба, что составляет на первом этапе работы балок 15,3%, к началу стабилизации прогибов и деформаций сдвига на 107-е сутки – 24,9% от нормальных напряжений в зоне чистого изгиба балки условно-цельного сечения. При этом абсолютная величина деформаций сдвига к моменту стабилизации прогибов на 107-е сутки составила $D_{107} = 0,914$ мм, на 155-е сутки $D_{155} = 0,923$ мм, что в 2,19 и в 2,17 раза меньше предельной деформации $[D_u] = 2$ мм для нагельных соединений деревянных конструкций.

На графике рис. 4 представлена зависимость деформаций сдвига $D_{\text{сдв}}$ от времени t в полулогарифмических координатах " $D_{\text{сдв}} - \lg t$ ", где t – время действия постоянной нагрузки на конструкцию [с].

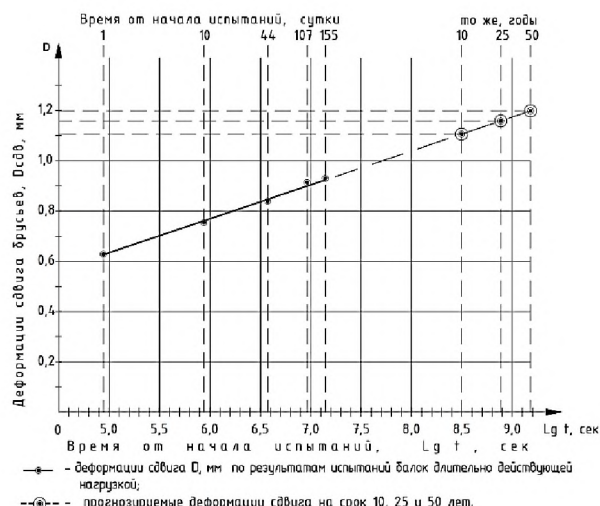


Рис. 4

На графике сплошной линией показана зависимость " $D_{\text{сдв}} - \lg t$ ", построенная на основе результатов эксперимента, пунктирной линией – предполагаемый характер увеличения деформаций сдвига при продолжении действия нормативной нагрузки

$N_{II}=35$ кН. Откладывая на оси абсцисс характерные сроки службы деревянных конструкций 10 лет ($lgt_{10}=8,499$), 25 лет ($lgt_{25}=8,897$) и 50 лет ($lgt_{50}=9,198$), определим величины деформаций сдвига соединений на наклонных ввинченных стержнях для соответствующих периодов нагружения. Деформации сдвига соединений на наклонных ввинченных стержнях в деревянных конструкциях составного сечения при действии постоянной нагрузки $N_{II}=35$ кН, соответствующей нормативной несущей способности конструкции, составят: для периода 10 лет – $D_{п10}=1,1$ мм, для периода 25 лет – $D_{п25}=1,15$ мм, для периода 50 лет – $D_{п50}=1,2$ мм. Полученные значения деформаций не превышают предельной деформации нагельных соединений $[Du]=2$ мм.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных испытаний четырех балок составного сечения натуральных размеров на соединениях с применением наклонных ввинченных стержней длительно действующей нагрузкой $N_{II}=35$ кН, соответствующей нормативной несущей способности конструкций, и выполненных расчетов, можно заключить следующее.

1. При длительном действии нагрузки, соответствующей нормативной несущей способности конструкций, стабилизация основных параметров напряженно-деформированного состояния – деформаций сдвига соединений, прогибов в середине пролета, относительных деформаций и нормальных напряжений в зоне чистого изгиба – наступила на 107-е сутки после приложения нагрузки на конструкцию. Основные показатели составили: прогибы $f_{107}=23,16$ мм $=1/259L < [fu]=1/200L$, деформации сдвига $D=0,914$ мм $< [Du]=2$ мм, нормальные напряжения в зоне чистого изгиба $\sigma_{107}=12,96$ МПа $< R_{II}=13$ МПа, и не превысили предельных значений.

2. Установлено влияние податливости соединений на наклонных ввинченных стержнях на несущую способность деревянных балок составного сечения по 1 и 2-й

группам предельных состояний. Податливость соединений на наклонных ввинченных стержнях, составившая $D_{II}=0,914$ мм, по сравнению с балками цельного сечения вызвала увеличение прогибов в середине пролета на 27,5%, относительных деформаций и нормальных напряжений в зоне чистого изгиба конструкций – на 24,9%.

3. Для соединений на наклонных ввинченных стержнях установлены значения деформаций сдвига в конструкциях составного сечения на период 10, 25 и 50 лет, которые составили соответственно $D_{п10}=1,1$ мм, $D_{п25}=1,15$ мм, $D_{п50}=1,2$ мм. Полученные значения деформаций не превышают предельной деформации нагельных соединений $[Du]=2$ мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Линьков В.И.* Сравнительная оценка несущей способности и деформативности НМС-соединений на наклонных ввинченных стержнях и болтах // Научное обозрение. – 2015, № 14. С. 117...122.
2. *Найчук А.Я., Бабаев М.В.* К вопросу оценки несущей способности стальных винтовых стержней, завинченных под углом к волокнам древесины // Промышленное и гражданское строительство. – 2010, №1. С. 21...23.
3. *Линьков В.И.* Конструкции на основе деревянных элементов составного сечения с соединениями на наклонных металлических стержнях без применения клея // Промышленное и гражданское строительство. – 2012, № 11. С. 29...31.
4. *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.
5. *Ковальчук Л.М., Турковский С.Б. и др.* Деревянные конструкции в строительстве. – М.: Стройиздат, 1995.
6. *Турковский С.Б. и др.* Клееные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). – М.: РИФ "Стройматериалы", 2013.
7. Series Type solutions for built-up timber beams with semi-rigid connections. Proceedings of the Institution of Civil Engineers (London). – 1980. P. 707...719.
8. *Walford G. Bryan.* Tests on nailed and glued layered timber cylindrical shells // ASCE J Struct. Div. – Vol. 106, 1980. P. 247...263.
9. *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.

10. Hugo, Francois de V. Wooden beams joined with steel plates // ASCE J Struct. Div. – Vol. 103,1977. P. 1005...1014.

11. Арленов Д.К. О новом нормативном значении модуля упругости древесины // Промышленное и гражданское строительство. – 2013, № 3. С. 19...20.

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

REFERENCES

1. Lin'kov V.I. Sravnitel'naja ocenka nesushhej sposobnosti i deformativnosti NMS-soedinenij na naklonnyh vvinchennyh sterzhnjah i boltah // Nauchnoe obozrenie. – 2015, № 14. S. 117...122.

2. Najchuk A.Ja., Babaev M.V. K voprosu ocenki nesushhej sposobnosti stal'nyh vintovyh sterzhnej, zavinchennyh pod uglom k voloknam drevesiny // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2010, №1. S. 21...23.

3. Lin'kov V.I. Konstrukcii na osnove derevjannyh jelementov sostavnogo sechenija s soedinenijami na naklonnyh metallicheskih sterzhnjah bez primenenija kleja // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2012, № 11. S. 29...31.

4. Lin'kov V.I. Modelirovanie raboty derevjannyh balok sostavnogo sechenija na podatlivyh svjazjah s primeneniem teorii sostavnyh sterzhnej A.R.

Rzhanicyna // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2011, № 5. S. 30...35.

5. Koval'chuk L.M., Turkovskij S.B. i dr. Derevjanye konstrukcii v stroitel'stve. – M.: Strojizdat, 1995.

6. Turkovskij S.B. i dr. Kleenye derevjanye konstrukcii s uzlami na vkleennyh sterzhnjah v sovremenom stroitel'stve (sistema CNIISK). – M.: RIF "Strojmaterialy", 2013.

7. Series Type solutions for built-up timber beams with semirigid connections.Proceedings of the Institution of Civil Engineers (London). – 1980. P. 707...719.

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

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

10. Hugo, Francois de V. Wooden beams joined with steel plates // ASCE J Struct. Div. – Vol. 103,1977. P. 1005...1014.

11. Arleninov D.K. O novom normativnom znachenii modulja uprugosti drevesiny // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013, № 3. S. 19...20.

12. Pogorel'cev A.A., Pjaticrestovskij K.P. Obosnovanie normiruemyh znachenij modelej uprugosti pri raschetah derevjannyh konstrukcij // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013, № 10. S.33...35.

Рекомендована кафедрой металлических и деревянных конструкций. Поступила 28.04.17.