

**ПРИМЕНЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД
В ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ
НА НАКЛОННЫХ ВВИНЧЕННЫХ СТЕРЖНЯХ**

**USE OF SOFT HARDWOOD IN WOODEN ELEMENTS
OF COMPOSITE SECTION ON INCLINED METAL RODS**

В.И. ЛИНЬКОВ

V.I. LINKOV

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

(National Research Moscow State University of Civil Engineering)

E-mail: Linkov-kdip@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы применения древесины мягких лиственных пород в деревянных элементах составного сечения на податливых связях в виде наклонных ввинченных стержней для реконструкции объектов текстильной промышленности постройки до 1917 г. Приводятся результаты испытаний образцов НМС-соединений на ввинченных стержнях деревянных элементов из осины. Определены верхняя граница области упругой работы НМС-соединений элементов из древесины мягких лиственных пород, деформации соединений. Выполнена сравнительная оценка несущей способности и деформативности НМС-соединений на ввинченных стержнях для соединений, выполненных из сосновых и осиновых деревянных элементов. По результатам испытаний образцов выполнены расчеты изгибаемых элементов составного сечения пролетом 6 м с применением теории составных стержней А.Р.Ржаницына. Расчетом определены параметры напряженно-деформированного состояния и несущая способность по первой и второй группам предельных состояний балок составного сечения из трех осиновых брусков сечением 100×150 мм каждый. Показана возможность применения древесины мягких лиственных пород, в том числе осины, в несущих деревянных конструкциях.

The article discusses the use of soft hardwood in wooden elements of composite section on flexible links in the form of inclined screwed rods for the reconstruction of textile industry buildings built before 1917. The results of testing samples of IMR-compounds on screwed rods of wooden aspen elements are given. The upper limit of the elastic work area of NMS-compounds of softwood elements, deformations of compounds is determined. A comparative assessment of the carrying capacity and deformability of IMR-connections on screwed rods for connections made of pine and aspen wooden elements was carried out. According to the test results of the samples, calculations of bent elements of a composite section with a span of 6 m were performed using the theory of Rzhanitsyn's composite rods. The calculation determined the parameters of the stress-strain state and the bearing capacity of the first and second groups of limit states of the beams of the composite section of three aspen bars with a section of 100×150 mm each. The possibility of using soft hardwood, including aspen in bearing wooden structures.

Ключевые слова: деревянные конструкции составного сечения на податливых связях, древесина мягких лиственных пород, НМС-соединения на винченных стержнях, расчетная несущая способность, деформативность соединения, верхняя граница области упругой работы, теория составных стержней, коэффициент жесткости шва, прогибы конструкции, напряжения изгиба, расчетное сопротивление.

Keywords: wooden structures of composite section on flexible joints, soft hardwood, IMR-connections on screwed rods, design bearing capacity, deformability of the connection, upper boundary of the region of elastic work, theory of composite rods, seam stiffness coefficient, structure deflection, bending stresses, design resistance.

При реконструкции объектов текстильной промышленности [1] постройки до 1917 г. встречаются конструктивные схемы зданий, включающие несущие кирпичные стены и внутренний смешанный каркас, состоящий из металлических колонн, стальных главных и второстепенных деревянных балок, идущих с шагом не более 1,5 м. Деревянные балки выполнены из окантованных бревен, сечение которых при пролетах до 6 м превышает современную номенклатуру размеров пиломатериалов хвойных пород. Для замены, восстановления и повышения несущей способности существующих деревянных балок требуется применять элементы сос-

тавного сечения на механических связях, обладающих податливостью в отличие от жестких клеевых соединений [12...14]. Совместную работу нескольких брусьев, составляющих поперечное сечение элемента, обеспечивают соединениями на наклонных металлических стержнях без применения клея (НМС) [2...4]. В составных деревянных конструкциях представляется целесообразным применение древесины мягких лиственных пород, таких как осина, ольха, тополь [5], [11].

Цель настоящей работы – оценка несущей способности и деформативности НМС-соединений и конструкций составного сечения из древесины мягких лиственных пород.

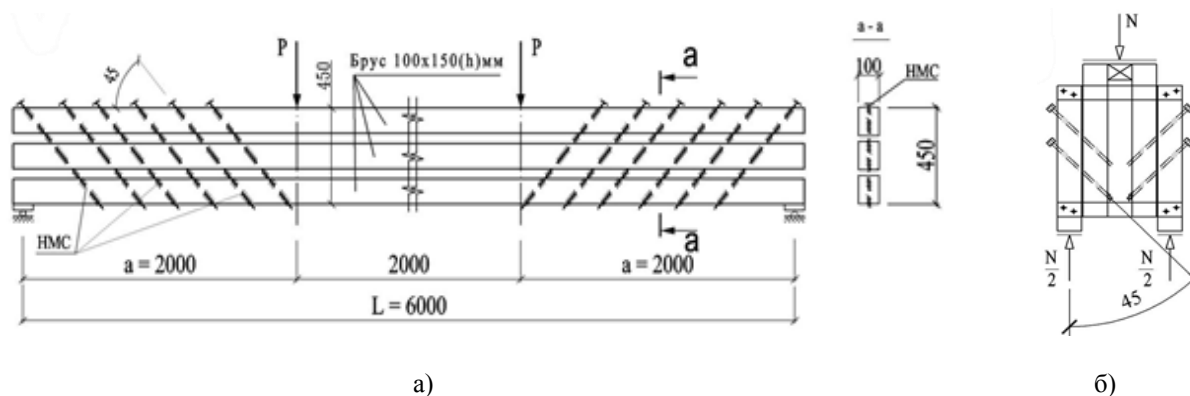


Рис. 1

На рис. 1 представлены конструкции из древесины мягких лиственных пород: а – деревянная балка составного сечения с НМС-соединениями на винченных стержнях $\varnothing 20$ мм; б – образец НМС-соединения деревянных элементов на винченных стержнях $\varnothing 10$ мм.

Расчет деревянных элементов составного сечения на податливых связях выполним

по теории составных стержней (ТСС) А.Р.Ржаницына [6], [7]. Для составной балки из трех брусьев, нагруженной сосредоточенными силами в третях пролета (рис. 1-а), были получены [8] выражения для прогибов с учетом деформаций сдвига податливых связей:

- прогибы W1 на участке 1 балки от опо-

ры до точки приложения силы при $0 \leq X \leq a$

$$\sum_{i=1}^3 E_i I_i W_1 = -\frac{PX^3}{6} + \frac{8}{9}P \left(\frac{X^3}{6} - \frac{\text{ch}\lambda_1(\ell-a)\text{sh}\lambda_1 X}{\text{ch}\lambda_1 \ell \lambda_1^3} \right) + C_1 X + C_2;$$

- прогибы W2 на участке 2 балки от точки приложения силы до середины пролета

$\ell = L/2$ при $a \leq X \leq \ell$, где $M^0 = Pa$

$$\sum_{i=1}^3 E_i I_i W_2 = -\frac{PaX^2}{2} + \frac{8}{9}P \left(\frac{aX^2}{2} + \frac{\text{sh}\lambda_1(X-a)}{\lambda_1^2} - \frac{\text{ch}\lambda_1(\ell-a)\text{sh}\lambda_1 X}{\text{ch}\lambda_1 \ell \lambda_1^3} \right) + C_1 X + C_2,$$

где C_1, C_2, C_4 – постоянные интегрирования, определены из граничных условий, $C_1 = -P \left(\frac{a^2}{18} - \frac{8}{9\lambda_1^2} + \frac{a\ell}{9} \right)$, $C_2 = 0$, $C_3 = \frac{1}{9}Pa\ell$, $C_4 = Pa \left(\frac{a^2}{54} - \frac{8}{9\lambda_1^2} \right)$, $\lambda_1 = \sqrt{\frac{9}{E \cdot F}} \xi$, E, F – модуль упругости и площадь поперечного сечения стержня; ξ – коэффициент жесткости шва

$$\xi = \frac{T_{\text{ст}} m}{\delta_c},$$

где $T_{\text{ст}}$ – сдвигающее усилие, приходящееся на одну связь; m – количество связей, приходящееся на единицу длины шва; δ_c – деформация взаимного сдвига двух соседних брусьев при сдвигающем усилии $T_{\text{ст}}$. Коэффициент жесткости шва ξ зависит от деформативности податливых связей, которая для каждого типа податливого соединения зависит от породы древесины и выражается отношением $\frac{\delta_c}{T_{\text{ст}}}$, в котором деформации соединения δ_c определяют по результатам испытаний образцов применяемых соединений.

Для определения деформаций δ_c были проведены испытания образцов НМС-соединений на ввинченных стержнях (рис. 1-б).

Деревянные элементы сечением 35×70 мм выполнены из осины. Наклонные металлические стержни диаметром 10 мм с укреплённым шагом резьбы установлены в образце по 2 штуки на один срез соединения под углом 45° к направлению волокон и оси действия сдвигающего усилия в заранее просверленные отверстия $d_{\text{отв}} = 7,2$ мм. Результаты испытаний осиновых НМС-соединений, в том числе в сравнении с аналогичными образцами НМС-соединений из древесины сосны (по данным [9]) представлены в табл. 1 (деформативность образцов НМС-соединений на ввинченных стержнях из древесины хвойных (сосна) и мягких лиственных (осина) пород) и в табл. 2 (несущая способность образцов НМС-соединений на ввинченных стержнях из древесины хвойных (сосна) и мягких лиственных (осина) пород), а также на графиках на рис. 2-а (рис. 2 – результаты испытаний образцов и расчета конструкций: а – деформации НМС-соединений на ввинченных стержнях $\varnothing 10$ мм; б – расчетные прогибы деревянных балок составного сечения с учетом фактических деформаций НМС-соединений на ввинченных стержнях $\varnothing 20$ мм).

Т а б л и ц а 1

N _{сдв} , кН	N _{ст} , кН	σ _{среза} , МПа	D _п , мм, среднее по трем образцам		Деформативность D _п /σ _{среза} , мм/МПа		Отношение сосна / осина
			сосна	осина	сосна	осина	
0	0	0	0	0	0	0	0
3	1,06	0,682	0,2	0,33	0,293	0,487	1,663
6	2,12	1,365	0,55	0,78	0,403	0,573	1,422
9	3,18	2,047	0,91	1,24	0,444	0,607	1,366
12	4,24	2,730	1,28	1,73	0,469	0,633	1,350
15	5,30	3,412	1,67	2,25	0,489	0,660	1,349
18	6,36	4,095	2,1	2,83	0,513	0,691	1,348
21	7,43	4,777	2,58	3,48	0,540	0,729	1,350
24	8,49	5,460	3,12	4,28	0,571	0,784	1,373
27	9,55	6,142	3,9	5,39	0,635	0,878	1,382
30	10,61	6,824	4,8	6,85	0,703	0,723	1,427
Среднее по нагрузкам от 6 до 24 кН					0,490	0,668	1,365

№ образца	N _{I-II} , кН		Среза I-II, МПа		Отношение сосна / осина
	сосна	осина	сосна	осина	
1	24,0	21,0	5,460	4,777	1,143
2	27,0	24,0	6,142	5,460	1,125
3	24,0	21,0	5,460	4,777	1,143
Среднее	25,0	22,0	5,687	5,005	1,137

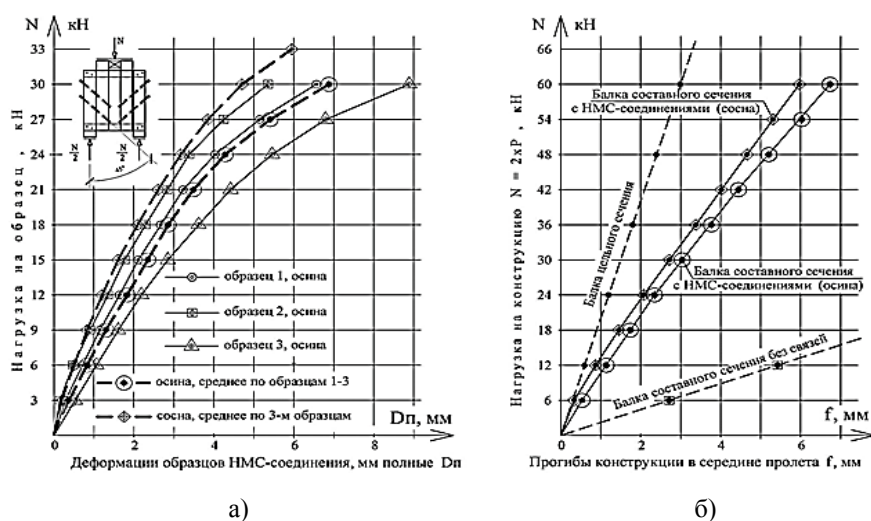


Рис. 2

В пределах упругой работы НМС-соединений для образцов из осины деформации в 1,35...1,42 раза больше, а несущая способность в 1,14 раза меньше, чем в образцах НМС-соединений из древесины хвойных пород (сосна).

С применением ТСС А.Р.Ржаницына и с учетом фактических деформаций НМС-соединений определим расчетные прогибы деревянных балок составного сечения пролетом 6 м из трех брусков сечением каждый 100×150(н) мм из древесины мягких лиственных пород (осина) и хвойных пород (сосна). Совместная работа деревянных брусков обеспечивается НМС-соединениями на винченных стержнях в количестве 6 штук на каждом полупролете балки (рис. 1-а). Для

определения деформаций сдвига НМС-соединений на винченных стержнях в качестве исходных принимаем деформации $D_{п}$ по табл. 1, полученные из испытаний образцов НМС-соединений на винтах $\varnothing 10$ мм. Поскольку в реальных конструкциях применяют винты $\varnothing 20$ мм, введем коэффициент $K_{мф}$, учитывающий масштабный фактор. По данным [10] для НМС-соединений на винченных стержнях $K_{мф} = 1,75$. Результаты вычислений представлены в табл. 3 (показатели напряженно-деформированного состояния составной деревянной балки из древесины мягких лиственных пород (осина), рассчитанные по ТСС А.Р.Ржаницына) и на графике на рис. 2-б.

Таблица 3

Нагрузка на констр. $N=2P$, кН	Напряжения, МПа		Деформации δ_c , мм, НМС-соединения на стержнях $\varnothing 20$ мм для образцов из древесины		Прогибы в L/2 $f_{расч}$, мм, для составных балок из древесины	
	изгиба $\sigma_{и}$	среза по резьбе стержня	сосна	осина	сосна	осина
6	2,1	0,315	0,161	0,268	4,9	5,9
12	4,2	0,630	0,323	0,537	9,7	11,9
18	6,3	0,944	0,585	0,884	15,6	18,6
24	8,4	1,259	0,868	1,247	21,7	25,4
30	10,5	1,574	1,155	1,616	27,8	32,2
36	12,5	1,889	1,446	1,988	34,0	39,1
42	14,6	2,203	1,741	2,369	40,2	46,1
48	16,7	2,518	2,039	2,761	46,4	53,2
54	18,8	2,833	2,343	3,163	52,7	60,3
60	20,9	3,148	2,658	3,586	-	67,7

Принимая расчетное сопротивление осины по СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции,

$$R_{и} = R_{и}^A m_{дл} m_{п} = 19,5 \cdot 0,66 \cdot 0,8 = 12,9 \cdot 0,8 = 10,3 \text{ МПа.}$$

Из табл. 3 видим, что по первой группе предельных состояний несущая способность деревянных балок составного сечения из осины и сосны при симметричном нагружении двумя сосредоточенными силами в третях пролета составляет $2P=30$ кН и 36 кН, что соответствует погонной расчетной нагрузке $q_{эКВ} = 6,7$ кН/м и 8,1 кН/м соответственно. Принимая предельный прогиб $f_{ц} = \frac{1}{250}L = \frac{1}{250}6000 = 24$ мм, видим, что по второй группе предельных состояний несущая способность составных деревянных балок из осины и сосны составляет $2 \times P=24$ кН и 30 кН, что соответствует погонной нормативной нагрузке $q_{эКВ} = 5,4$ кН/м и 6,75 кН/м соответственно.

ВЫВОДЫ

1. Испытания образцов НМС-соединений на ввинченных стержнях без применения клея показали, что использование древесины мягких лиственных пород (осина) по сравнению с древесиной сосны приводит к снижению несущей способности НМС-соединений на ввинченных стержнях в 1,137 раза и к увеличению деформативности соединений в 1,365 раза.

2. Нагрузка $N_{г-п}$, соответствующая верхней границе области упругой работы НМС-соединений на ввинченных стержнях $\varnothing 10$ мм, для образцов из древесины осины составила в среднем $N_{г-п} = 22$ кН, что соответствует расчетной несущей способности образцов $N_{п} = 16,9$ кН и подтверждает возможность применения древесины мягких лиственных пород (осина) в несущих деревянных конструкциях составного сечения с НМС-соединениями на ввинченных стержнях.

3. На основе теории составных стержней А.Р. Ржаницына с учетом фактических деформаций НМС-соединений на ввинченных стержнях определена расчетная несущая спо-

собность изгибаемых элементов составного сечения $b \times H=100 \times (3 \times 150)$ мм пролетом 6 м из древесины мягких лиственных пород (осина). При шаге конструкций 1,5 м несущая способность балок составного сечения из осиновых брусьев составила по первой группе предельных состояний $g=670/1,5=450$ кг/м², по второй группе предельных состояний $g_{п}=540/1,5=360$ кг/м².

4. Применение в несущих конструкциях из цельной древесины элементов из мягких лиственных пород (осина) способствует освоению менее дефицитных лесных ресурсов и приводит, по сравнению с древесиной хвойных пород (сосна), к снижению стоимости исходных лесоматериалов не менее чем на 35%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рощина С.И., Лукин М.В., Лисятников М.С., Сергеев М.С. Реконструкция покрытия над одноэтажной пристройкой льнопрядильной фабрики в г. Вязники // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 4. С. 226...230.
2. Клюкин А.А., Пятикрестовский К.П. Покрытие-оболочка с ребрами из цельнодеревянных элементов составного сечения // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2015, № 1 (96). С. 103...106.
3. 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.
4. Линьков В.И. Соединения на наклонных ввинченных стержнях в деревянных балках для реконструкции зданий текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 3. С. 212...217.
5. Пятикрестовский К.П. О проектировании рациональных деревянных конструкций из цельной древесины // Строительная механика и расчет сооружений. – 2016, № 6 (269). С. 63...69.
6. Ржаницына А.Р. Теория составных стержней строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1948.
7. Ржаницына А.Р. Составные стержни и пластинки. – М.: Стройиздат, 1986.
8. 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.
9. Линьков В.И. Исследование несущей способности соединений элементов деревянных конструкций на наклонных винтах // Сб. науч. тр.: Экспериментальные исследования и расчет строительных

конструкций. – ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко, 1986. С.81...86.

10. *Линьков В.И.* Влияние диаметра стержня на несущую способность и деформативность соединения // Сб. науч. тр.: Экспериментальные исследования и расчет строительных конструкций. – ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, 1986. С. 117...124.

11. *Pyatikrestovsky K.P., Travush V.I.* A complex analysis of stress-strain state of ribbed wooden structures with anisotropic sheathing // *Materials Physics and Mechanics.* – V. 31, № 1-2, 2017. P. 56...58.

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

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 grid-ers providing opportunities in wood construction. *Virginia Polytechnic Institute & State University Department.* – VA, USA, 1982. P. 55...64.

REFERENCES

1. Roshchina S.I., Lukin M.V., Lisyatnikov M.S., Sergeev M.S. Rekonstruktsiya pokrytiya nad odno-etazhnoy pristroykoy l'nopryadil'noy fabriki v g. Vyazniki // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2017, № 4. S. 226...230.

2. Klyukin A.A., Pyatikrestovskiy K.P. Pokrytie-obo-lochka s rebrami iz tsel'noderevyannykh elementov sostavnogo secheniya // *Vestnik Irkutskogo gos. tekhn. un-ta.* – 2015, № 1 (96). S. 103...106.

3. Lin'kov V.I. K voprosu proektirovaniya sostavnykh derevyannykh balok na naklonnykh metalliches-kikh sterzhnyakh dlya pokrytiy rekonstruiemykh ob"-ektov tekstil'noy promyshlennosti // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2018, №3. S.84...89.

4. Lin'kov V.I. Soedineniya na naklonnykh vvinchen-nykh sterzhnyakh v derevyannykh balkakh dlya rekon-struktсии zdaniy tekstil'noy promyshlennosti // *Izv. vu-*

zov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 3. S. 212...217.

5. Pyatikrestovskiy K.P. O proektirovanii ratsional'-nykh derevyannykh konstruktсий iz tsel'noy drevesiny // *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy.* – 2016, № 6 (269). S. 63...69.

6. Rzhantsyn A.R. Teoriya sostavnykh sterzhney stroitel'nykh konstruktсий. – M.: Stroyizdat, 1948.

7. Rzhantsyn A.R. Sostavnye sterzhni i plastinki. – M.: Stroyizdat, 1986.

8. 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.

9. Lin'kov V.I. Issledovanie nesushchey sposobnosti soedineniy elementov derevyannykh konstruktсий na naklonnykh vintakh // Сб. науч. тр.: Эксперименталь'nye issledovaniya i raschet stroitel'nykh konstruktсий. – TsNIISK im. V.A.Kucherenko, 1986. S.81...86.

10. Lin'kov V.I. Vliyaniye diametra sterzhnya na nesushchuyu sposobnost' i deformativnost' soedineniya // Сб. науч. тр.: Эксперименталь'nye issledovaniya i raschet stroitel'nykh konstruktсий. – TsNIISK im.V.A.Kucherenko, 1986. S. 117...124.

11. Pyatikrestovsky K.P., Travush V.I. A complex analysis of stress-strain state of ribbed wooden structures with anisotropic sheathing // *Materials Physics and Mechanics.* – V. 31, № 1-2, 2017. P. 56...58.

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

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 grid-ers providing opportunities in wood construction. *Virginia Polytechnic Institute & State University Department.* – VA, USA, 1982. P. 55...64.

Рекомендована кафедрой металлических и деревянных конструкций. Поступила 16.04.19.