

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКИХ ДЕРЕВОКЛЕЕННЫХ БАЛОК В ПОКРЫТИИ ЗДАНИЙ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЦЕХОВ

APPLICATION OF HIGH GLUED WOODEN BEAMS IN THE CEILING OF BUILDINGS TEXTILE PLANTS

С.И. РОЩИНА, М.С. ЛИСЯТНИКОВ, В.И. МЕЛЕХОВ, Б.В. ЛАБУДИН, М.В. ЛУКИН
S.I. ROSCHINA, M.S. LISYATNIKOV, V.I. MELEKHOV, B.V. LABUDIN, M.V. LUKIN

(Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых)
(Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs)

E-mail: rsi3@mail.ru, mlisyatnikov@mail.ru, forest@narfu.ru, labudin@hotmail.ru, lukin_mihail_22@mail.ru

В статье обозначены главные проблемы применения высоких клееных балок в покрытии текстильных цехов. Сформулированы основные пути решения выявленных недостатков. Проведены исследования, направленные на повышение прочности высоких клееных балок.

In the article the main problems indicated by the use of wooden high laminated beams in the coating of textile plants. The basic ways to address identified deficiencies. The research aimed at improving the strength of high glulam beams.

Ключевые слова: текстильные цеха, клееные деревянные конструкции, олигомер на основе углеродных нанотрубок, приопорная зона, латинский квадрат.

Keywords: textile plants, glued wooden structures, the oligomer is based on carbon nanotubes support zone, Latin square.

Применение большепролетных высоких деревянных клееных балок с соотношением $h/b \geq 6$ в покрытии производственных зданий легкой промышленности и, в первую очередь, в текстильных цехах, получило новое развитие [7], связанное с разработкой отечественных товаров в рамках программы импортозамещения. Результаты проведенных технических обследований клееных балок позволили установить, что отказ несущих элементов происходит в результате недостаточной сдвиговой прочности в нейтральной зоне сечения или из-за образования наклонных трещин в материале, вызванного растяжением в древесине под углом к волокнам [1], [6]. Одним из направлений повышения эксплуатационной надежности [5] клееных балочных конструкций является усиление опорных участков, что обес-

печивает повышение прочности и сопротивления скалыванию и растяжению.

Отдельные исследования в этом направлении посвящены применению для решения таких задач при изготовлении, монтаже и в эксплуатируемых конструкциях клеенных стержней и накладок [2]. Использование в усилении приопорных зон деревянных балочных конструкций клееных композиций на основе стеклоткани и нанотехнологий является новым направлением, требует проведения специальных исследований и является актуальной задачей.

Авторы статьи исследовали высокую клееную деревянную балку без усиления и с усилением приопорной зоны. Рассматривалась балочная конструкция сечением $0,24 \times 1,8$ м и длиной 18 м. Опорный участок клееной балки был усилен пререгом

на основе стеклоткани и наномодифицированного графитовыми трубками клеевого состава, включающего эпоксидно-диановую смолу ЭД-20 и отвердитель полиэтиленполиамин.

Предложен метод инженерного расчета. Приведенная площадь поперечного сечения балки:

$$A_{пр} = A_{др} (1 + \mu n), \quad (1)$$

где $A_{др}$ – площадь балки без усиления; μ – коэффициент армирования; n – отношение модулей упругости.

Статический момент инерции приведенного сечения балки с усилением:

$$S_{пр} = S_{др} (1 + n\mu), \quad (2)$$

где $S_{др}$ – статический момент инерции балки без усиления.

Момент инерции приведенного сечения балки с усилением:

$$I_{пр} = I_{др} (1 + n\mu), \quad (3)$$

где $I_{др}$ – момент инерции балки без усиления.

Коэффициент армирования:

$$\mu = \left(1 + \frac{2x}{h}\right) \left(1 + \frac{2x}{b}\right) - 1, \quad (4)$$

где x – толщина усиливаемого слоя; $I_{др}$ – момент инерции балки без усиления; h и b – высота и ширина сечения балки без усиления.

Обозначение балок, принятое в инженерном и численном исследованиях: ДКБ – деревоклееная балка; ДКБу^{1,3,5} – деревоклееная балка с усиленной опорной зоной клеевым олигомером в один, три и пять слоев соответственно.

Изополя напряжений и изополя перемещений деревоклееных балок представлены на рис. 1 (изополя нормальных и касательных напряжений, МПа. Изополя перемещений по оси Z деревоклеенной балки, мм (ДКБ)) и рис. 2 (изополя нормальных и касательных напряжений, МПа. Изополя перемещений по оси Z деревоклеенной балки, мм (ДКБу^{1,3,5})).

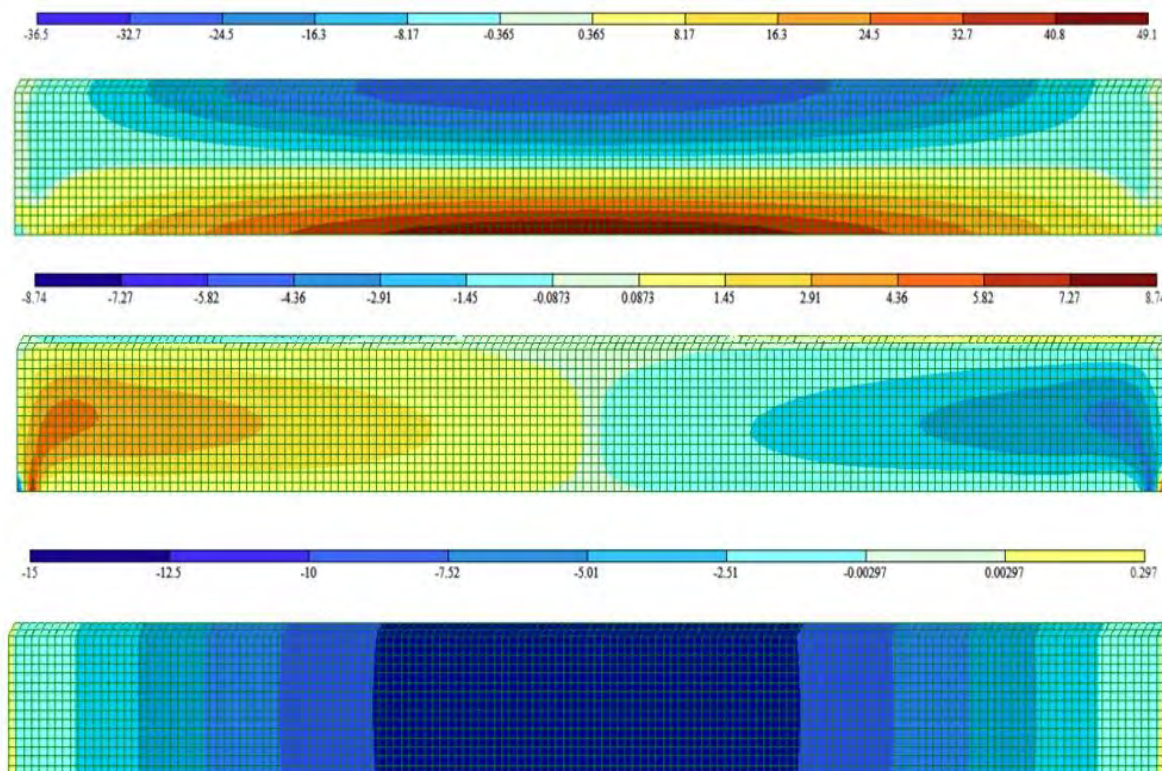


Рис. 1

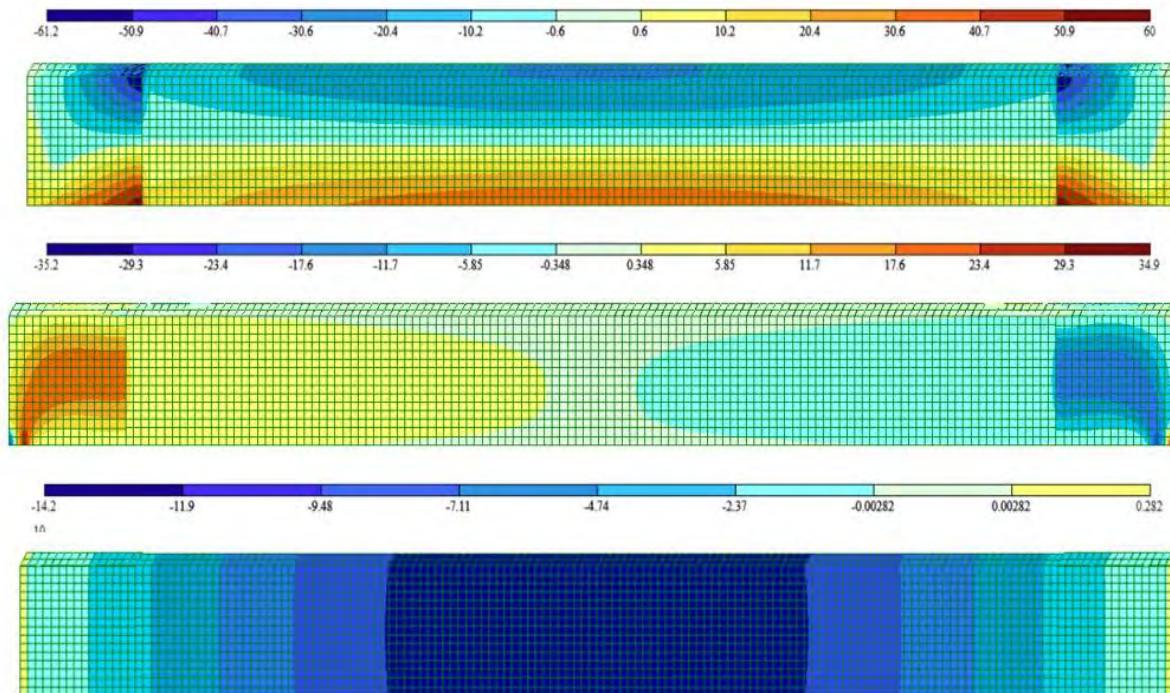


Рис. 2

При нагружении элементов деревоклееных конструкций до разрушения отчетливо проявляются три характерные и последовательные стадии напряженно-деформированного состояния: условно-упругая, упругопластическая, разрушение. Численные исследования выполнены с учетом анизотропных свойств древесины и ползучести [3], [4].

Планирование экспериментального исследования выполнено методом "латинского квадрата". Постоянным фактором выбрана эпоксидно-диановая смола ЭД-20. Коэффициент армирования a , концентрация углеродных нанотрубок (УНТ) u , температура отверждения олигомера t – варьируемые факторы. В результате планирования эксперимента получены эмпирические зависимости:

$$f(a) = 0,506 \ln a + 0,949, \quad (5)$$

$$f(u) = -0,0087u^2 + 0,0731u + 0,8827, \quad (6)$$

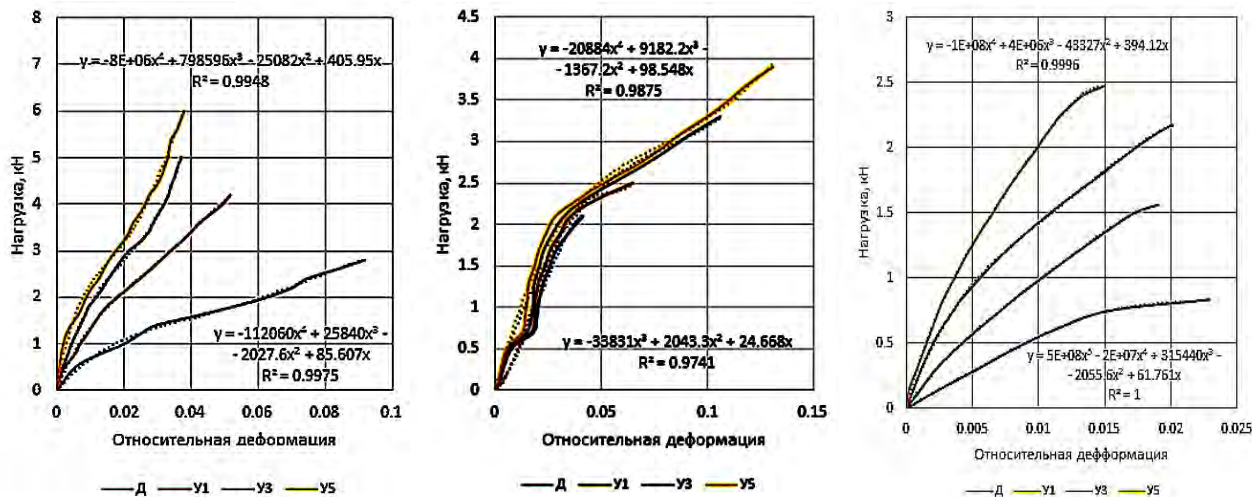
$$f(t) = 0,0061t^2 + 0,0186t + 0,9889. \quad (7)$$

По найденным частным уравнениям каждой переменной получена эмпирическая зависимость, учитывающая влияние каждого фактора на прочность опытных образцов:

$$P = \Delta_{cp} f(a) f(u) f(t), \quad (8)$$

где Δ_{cp} – средняя теоретическая прочность.

В эксперименте исследовали образцы древесины с усилением У и стандартные деревянные образцы Д при действии кратковременной нагрузки. Испытания опытных образцов проводили для оценки прочности усиленной древесины при различном напряженном состоянии, возникающем в опорных участках высоких балок. Полученные результаты представлены на рис. 3 зависимостями "нагрузка – относительная деформация" при испытаниях: а) – на скалывание вдоль волокон; б) – на сжатие поперек волокон; в) – при растяжении под углом к волокнам для каждого вида испытаний.



а)

б)

в)

Рис. 3

Данные по результатам испытаний сведены в табл. 1.

Таблица 1

Обозначение образца	Разрушающая нагрузка, кН	Предел прочности, МПа	Увеличение прочности, %
Скалывание вдоль волокон			
Д	2,78	13,33	100
У1	4,16	16,15	121
У3	4,99	17,98	135
У5	6,01	19,8	149
Сжатие поперек волокон			
Д	2,09	3,93	100
У1	2,52	4,31	110
У3	3,29	5,07	129
У5	3,9	5,49	139
Растяжение под углом к волокнам			
Д	0,84	2,79	100
У1	1,56	4,74	170
У3	2,18	5,56	199
У5	2,47	5,88	207

Примечание. Цифры 1, 3, 5 в обозначении усиленных образцов указывают количество слоев поверхностного усиления.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований сделаны следующие выводы и рекомендации.

1. Разработана методика расчета усиленных высоких балочных деревокомпозитных конструкций.

2. Выполнены численные исследования балочных деревоклееных конструкций в программном комплексе "ЛИРА 9.6". Установлено, что расхождение инженерного метода расчета с численным экспе-

риментом составляет по прочности 4...8%, по жесткости 7...12%.

3. Выполнены экспериментальные исследования прочности и деформативности стандартных образцов и образцов с поверхностным усилением на основе методической сетки опытов.

4. Установлено, что предел прочности деревоклееных конструкций увеличивается при скалывании до 49%, сжатии поперек волокон – 39%, растяжении под углом к волокнам – в 2 раза.

5. Выявлено, что характер разрушения усиленных композитом опытных образцов имеет пластический характер в отличие от цельнодеревянных образцов, что позволяет повысить эксплуатационную надежность конструкций.

6. Разработанные высокие деревоклееные балочные конструкции с усиленными приопорными зонами олигомером на основе УНТ рекомендуется применять в текстильных цехах с пролетами более 18 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лабудин Б.В. Совершенствование клееных деревянных конструкций с пространственно-регулярной структурой. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007.

2. Лабудин Б.В., Серов Е.Н. Клееные деревянные конструкции: состояние и проблемы развития // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2013, №2.

3. Рощина С.И. Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки: Дис...докт. техн. наук. – М.: МГАКХиС, 2009.

4. Рощина С.И., Лукин М.В., Шохин П.Б., Сергеев М.С., Лисятников М.С. Allowance for creep in the study of the reinforced wood-based constructions // Life Science Journal. – 2014, №11 (9s). P. 192...195.

5. Шохин П.Б. Повышение эксплуатационной надежности деревокомпозитных балочных конструкций: Дис. ... канд. техн. наук. – Архангельск, 2012.

6. Youngquis J.A. Solid wood products // Encyclopedia of Forest Sciences. – 2004. P. 1331...1338.

7. Yue-Jun Yin, Yue Li. Probabilistic loss assessment of light-frame wood construction subjected to combined seismic and snow loads // Engineering Structures. – 2011. P. 380...390.

REFERENCES

1. Labudin B.V. Sovershenstvovanie kleenyh derevjannyh konstrukcij s prostranstvenno-reguljarnoj strukturoj. – Arhangel'sk: Izd-vo AGTU, 2007.

2. Labudin B.V., Serov E.N. Kleenye derevjannye konstrukcii: sostojanie i problemy razvitija // Izv. vuzov. Lesnoj zhurnal. – 2013, №2.

3. Roshhina S.I. Prochnost' i deformativnost' kleenyh armirovannyh derevjannyh konstrukcij pri dlitel'nom dejstvii nagruzki: Dis...dokt. tehn. nauk. – M.: MGAkHiS, 2009.

4. Roshhina S.I., Lukin M.V., Shohin P.B., Sergeev M.S., Lisjatnikov M.S. Allowance for creep in the study of the reinforced wood-based constructions // Life Science Journal. – 2014, №11 (9s). P. 192...195.

5. Shohin P.B. Povysenie jekspluatacionnoj nadezhnosti derevokompozitnyh balochnyh konstrukcij: Dis. ... kand. tehn. nauk. – Arhangel'sk, 2012.

6. Youngquis J.A. Solid wood products // Encyclopedia of Forest Sciences. – 2004. P. 1331...1338.

7. Yue-Jun Yin, Yue Li. Probabilistic loss assessment of light-frame wood construction subjected to combined seismic and snow loads // Engineering Structures. – 2011. P. 380...390.

Рекомендована кафедрой менеджмента и маркетинга. Поступила 26.10.16.