

УДК 624.072.2.011

***С.И. Рощина, М.С. Сергеев, А.В. Лукина***

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

Рощина Светлана Ивановна окончила в 1988 г. Владимирский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительных конструкций Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Имеет более 110 печатных работ в области испытаний и расчета армированных деревянных конструкций на длительную нагрузку и ползучесть.  
E-mail: rsi3@mail.ru



Сергеев Михаил Сергеевич родился в 1987 г., окончил в 2010 г. Владимирский государственный университет, ассистент кафедры строительных конструкций Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Имеет более 20 работ в области испытаний и расчета деревянных конструкций.  
E-mail: sergeevmichael@inbox.ru



Лукина Анастасия Васильевна в 2007 г. окончила Владимирский государственный университет, магистрант кафедры строительных конструкций Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Имеет 4 работы в области исследования композитных конструкций на основе металла и древесины.  
E-mail: pismo.33@yandex.ru



## **АРМИРОВАННЫЕ ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

Рассмотрен вопрос исследования армированных деревянных конструкций и применения их в строительстве.

*Ключевые слова:* армированные деревянные конструкции, деформативность, прочность, длительно-действующие нагрузки.

Ускоренные темпы развития строительства в нашей стране требуют новых и совершенствования существующих конструктивных форм, которые бы отвечали требованиям экономичности и индустриализации. Необходимость и целесообразность использования деревянных конструкций, как наиболее экологичных и обладающих высокими конструктивными свойствами, позволяют расширить область их применения и повысить конкурентоспособность.

Однако отрицательные свойства древесины (зависимость ее свойств от строения, влияние пороков, ползучесть и т.д.) ограничивают область применения и требуют значительного расхода качественных пиломатериалов. Одним из способов устранения отрицательных свойств древесины является армирование деревянных конструкций (АДК).

Армирование позволяет совершенно по-новому и более эффективно компоновать узловые соединения и стыки деревянных конструкций, что повышает их сборность, облегчает транспортировку и монтаж, а также ремонт и реконструкцию действующих конструкций.

Разработка и выпуск промышленностью эффективных синтетических клеев, которые обеспечивают прочное и надежное соединение разнородных материалов, позволили подойти к созданию армированных деревянных конструкций.

Для армирования деревянных конструкций используют как обычную, так и предварительно напряженную арматуру. Первый способ нашел более широкое применение, поскольку дает положительный эффект при относительно небольших трудозатратах и капиталовложениях.

В конструкциях с предварительно напряженной арматурой деформативность снижается от 2 до 8 раз по сравнению с неармированными, прочность оказывается значительно меньше, чем у обычных армированных конструкций с таким же процентом армирования. Кроме того, предварительное напряжение арматуры создает дополнительные сдвигающие усилия в древесине, которые вместе с напряжениями, возникающими от действий внешних нагрузок, приводят к преждевременному достижению предельных значений сдвигающих усилий в древесине приопорной зоны, а в дальнейшем и к разрушению от действия поперечных сил.

Первые исследования в нашей стране были выполнены В.Ю. Щуко в 60-х гг. XX в. Они позволили выявить основные свойства композитных конструкций, разработать методы их расчета и технологию изготовления АДК [9–11].

В результате экспериментально-теоретических исследований АДК было определено рациональное размещение арматуры по траекториям главных растягивающих деформаций, обеспечивающее прочность приопорных сечений на действие сдвигающих усилий. Арматуру растянутой зоны размещали по линиям главных растягивающих деформаций путем отгиба стержней в приопорных участках в сторону сжатой зоны [4]. Прочность балок с рациональным размещением арматуры увеличивается по сравнению с традиционным способом армирования на 12...15 % за счет усиления опорных зон, деформативность снижается на 8...10 % за счет анкеровки растянутой арматуры отгибом в приопорных участках.

Были проведены многочисленные исследования сжато-изгибаемых и изгибаемых конструкций на моделях и натуральных образцах, что позволило сделать вывод о высокой эффективности АДК.

| Обозначение балки | Пролет, м | Испытательная нагрузка, кН/м | Продолжительность испытаний, сут | Относительные деформации*     |                               |                                     |                                     | Прогитб, мм |       | $K_t = f_t/f_0$ | $\varphi_t = (f_t - f_0)/f_0$ | Остаточные прогибы, мм |
|-------------------|-----------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------|-----------------|-------------------------------|------------------------|
|                   |           |                              |                                  | Древесина                     |                               | Арматура                            |                                     | $f_0$       | $f_t$ |                 |                               |                        |
|                   |           |                              |                                  | $\varepsilon^D/\varepsilon^C$ | $\varepsilon^D/\varepsilon^T$ | $\varepsilon^{sp}/\varepsilon^{st}$ | $\varepsilon_{sp}/\varepsilon_{st}$ |             |       |                 |                               |                        |
| Б-6-1-2           | 6         | 3,6                          | 367                              | 0,92/1,16                     | 1,11/1,27                     | -                                   | -                                   | 23,0        | 30,16 | 0,762           | 0,311                         | 3,76                   |
| Б-6-3-4           | 6         | 9,7                          | 367                              | 1,12/1,29                     | 1,19/1,31                     | -                                   | -                                   | 22,54       | 28,80 | 0,783           | 0,277                         | 4,98                   |
|                   |           |                              |                                  | 0,95/1,15                     | 0,98/1,18                     | 1,10/1,19                           | 0,97/1,17                           | 22,40       | 26,05 | 0,860           | 0,163                         | 2,05                   |
| Б-12-1-2          | 12        | 9,9                          | 270                              | 0,97/1,10                     | 1,04/1,22                     | 1,02/1,21                           | 1,06/1,25                           | 25,05       | 28,82 | 0,869           | 0,151                         | 2,70                   |
|                   |           |                              |                                  | 1,06/1,30                     | 1,11/1,35                     | 1,08/1,25                           | 1,13/1,32                           | 45,20       | 51,9  | 0,870           | 0,148                         | 2,45                   |
| Б-18-1-2          | 18        | 8,9                          | 181                              | 1,15/1,39                     | 1,17/1,41                     | 1,12/1,31                           | 1,18/1,38                           | 46,25       | 55,4  | 0,835           | 0,197                         | 3,60                   |
|                   |           |                              |                                  | 0,95/1,21                     | 1,08/1,26                     | 1,01/1,19                           | 1,10/1,26                           | 64,87       | 77,2  | 0,840           | 0,184                         | -                      |
|                   |           |                              |                                  | 1,05/1,29                     | 1,12/1,34                     | 1,03/1,18                           | 1,09/1,30                           | 68,75       | 80,95 | 0,849           | 0,174                         | -                      |

\* Необходимо умножить на 10<sup>-3</sup>.

Установлено, что АДК имеют несущую способность в 1,5...3,5 раза больше, чем аналогичные неармированные конструкции. Экономический эффект от замены обычных конструкций на армированные достигается за счет снижения расхода древесины на 30...40 %, монтажного веса на 12...20 %, приведенных затрат на 4...8 % [8].

Чтобы в полной мере оценить эксплуатационную пригодность и особенности напряженно-деформированного состояния АДК, для внедрения АДК в практику строительства необходимо было исследовать их работу при длительном действии нагрузки [1, 2]. Исследования проводились на моделях и натуральных образцах балок и арок.

Основные результаты испытаний балок пролетом 6, 12 и 18 м длительно действующей нагрузкой приведены в таблице.

Исследования показали, что прочность элементов АДК подчинена общим временным закономерностям изменения прочности древесины при длительном действии нагрузки. В ходе испытаний конструкций длительно действующей нагрузкой в диапазоне 0,35...0,65 от предела временной прочности определены две области затухающей и незатухающей ползучести [5-7].

Нагрузка, разделяющая эти области, характеризует предел длительной прочности, который по экспериментальным данным составляет 0,5...0,7 предела временной прочности.

При разрушении АДК арматура сохраняет сцепление с древесиной по всей длине, что позволяет конструкциям длительное время выдерживать нагрузку до 0,5...0,7 от разрушающей за счет поддерживающего влияния арматуры и деревянной неразрушенной части сечения.

Изучение напряженно-деформированного состояния АДК при кратковременных и длительных нагрузках потребовало разработки методов расчета таких конструкций с учетом особенностей их напряженно-деформированного состояния, разнородности материалов в комплексной конструкции, ползучести древесины и клея и т.д.

В армированных деревянных конструкциях, состоящих из различных по строению и составу материалов, при длительном действии нагрузки происходит процесс перераспределения усилий, который необходимо учитывать при их расчете. Из-за различной степени ползучести материалов АДК со временем происходит перераспределение усилий между арматурой и древесиной, в результате чего нормальные напряжения в арматуре могут значительно возрастать, а в древесине, соответственно, уменьшаться. Подобное перераспределение усилий – фактор положительный, так как при эксплуатации АДК происходит догружение более однородного (изотропного) материала (арматуры) и разгрузка анизотропного материала (древесины).

Экспериментальные исследования показали, что характер предшествующего нагружения оказывает значительное влияние на все последующие деформации. Установлено, что с достаточной точностью изменение деформативности древесины под нагрузкой во времени может быть оценено как линейная ползучесть, а саму древесину можно рассматривать как упруго-вязкий материал.

К новым разработкам в области АДК относится деревянная балка, армированная внешним армированием и наклонно вклеенными стержнями [3]. Основными элементами таких балок являются древесина и стальной прокат в виде швеллера и арматурных стержней. Сечение исследуемых балок составляет 100×240 мм. Швеллер устанавливается либо в верхней (сжатой), либо в нижней (растянутой) зоне балки, номер проката выбирается по ширине сечения балки (№ 12). Крепление швеллера к телу балки выполняется с помощью наклонно вклеенных арматурных стержней класса А-400 периодического профиля диаметром 10 мм. Расположение их принимается по главным (либо растягивающим, либо сжимающим) напряжениям под углом 45° с шагом 300 мм по длине балки.

В эксперименте использовали 4 варианта композитных балок и цельную деревянную балку, которая служила эталоном. В разработанных конструкциях композитных балок поперечное сечение уменьшено на 20...30 %, монтажная масса – на 30...40 % по сравнению с обычными деревянными балками [11].

Армирование композитных балок повышает их несущую способность более чем на 47...66 % и уменьшает деформативность на 54...62 % по сравнению с деревянными. Это позволяет использовать их для повышенных нагрузок, расширяет область применения и сокращает расход древесины при производстве деревянных клееных конструкций.

Приоритетным направлением в развитии АДК является разработка с применением в их составе углеродных нановолокон. Углеродные нанотрубки в настоящее время используются при создании новых конструкций из древесины и др. материалов. Они известны своими уникальными механическими, электрическими и термическими свойствами и пригодны для широкого применения. Модуль Юнга (1000 ГПа) и прочность на разрыв (60 ГПа) были измерены на индивидуальной структуре. Такое сочетание свойств и формы

продукта, совместимое с современными технологиями переработки полимеров, обеспечивает создание новых конструкционных материалов.

Основными элементами деревоклееной композитной балки являются древесина, стеклоткань на основе базальтового волокна и эпоксидная матрица с включенными в ее состав углеродными нанотрубками. Сечение исследуемых балок 100×70 мм. Стеклоткань приклеивали в растянутой зоне деревянной балки на эпоксидной матрице смолой ЭД-20 с включением в ее состав углеродных нанотрубок.

В предложенной конструкции деревоклееной балки обеспечивается снижение поперечного сечения на 20...25 %, повышение прочности на 34...56 %, уменьшение деформативности на 24...42 % по сравнению с обычными деревянными балками.

В ходе эксперимента определены границы применения новых разработанных конструкций. Стеклоткань на основе базальтового волокна рекомендуется использовать в широких диапазонах температур, что повышает огне- и химическую стойкость древесины, расширяет диапазон ее применения. При этом конструкции балок в целом не магнитны и радиопрозрачны, как древесина. Разрушение деревоклееной балки с применением углеродных нанотрубок, в отличие от цельнодеревянных, носит пластичный характер.

Разработанные деревоклееной балки рекомендуются для усиления деревянных конструкций в промышленном, гражданском и транспортном строительстве, в специальных сооружениях. Результаты исследований рекомендованы для внесения в действующие нормы проектирования.

Технико-экономические показатели свидетельствуют, что применение армированных деревянных конструкций по сравнению с неармированными сокращает приведенные затраты на 20...25 %, расход древесины в 1,8–2,1 раза, массу конструкций на 20...30 %, уменьшаются размеры поперечного сечения. Отмеченные факторы снижают трудоемкость изготовления, объем здания и, следовательно, затраты на ограждающие конструкции и отопление. Уменьшение габаритов и массы конструкций дает возможность более эффективно решать вопросы хранения, транспортировки и монтажа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белянкин Ф.П.* Длительное сопротивление древесины. М.: ОНТИ, 1934. 280
2. *Иванов Ю.М., Линьков И.М., Сороткин В.М.* Исследование влияния армирования на прочность и жесткость клееных деревянных изгибаемых элементов // Разработка и исследование клееных и фанерных армированных конструкций: тр. УНИИАС. Вып. 24. М., 1972. С. 13–39.
3. *Лукин М.В.* Совершенствование конструкций и технологии производства деревоклееных композитных балок: дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 150 с.
4. *Ретин В.А.* Деревянные балки с рациональным армированием: дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2000. 158 с.
5. *Ржаницин А.Р.* Теория ползучести. М.: Стройиздат, 1968. 416 с.

6. *Рощина С.И.* Армирование – способ повышения надежности и долговечности деревянных конструкций // Лесн. журн. 2008. № 2. С. 71–75. (Изв. высш. учеб. заведений).

7. *Рощина С.И.* Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2009. 200 с.

8. *Смирнов Е.А.* Прочность и деформативность клееных деревянных балок групповым армированием на части длины: дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 140 с.

9. *Щуко В.Ю.* Клееные деревянные балки, армированные стальной арматурой // Тр. Иркутского политехн. ин-та. Вып. 37. Иркутск, 1967. С. 51–59.

10. *Щуко В.Ю., Рощина С.И.* Армированные деревянные конструкции в строительстве: учеб. пособие. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2002. 68 с.

11. *Щуко В.Ю., Рощина С.И., Ретин В.А.* Прочность и деформативность клееных деревянных балок с продольно-поперечным армированием // Современные строительные конструкции. Одесса, 2003.

Поступила 13.12.12

*S.I. Roshchina, M.S. Sergeev, A.V. Lukina*

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs

### **Reinforced Wooden Structures**

The paper focuses on the study of reinforced wooden structures and their use in construction.

*Keywords:* reinforced wooden structures, deformability, strength, long-acting load.

---