

УДК 624.072.2.011

**С.И. Рощина, П.Б. Шохин, М.С. Сергеев**

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

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



Шохин Павел Борисович родился в 1986 г., окончил в 2009 г. Владимирский государственный университет, ассистент кафедры строительных конструкций Владимирского государственного университета. Имеет более 20 работ в области испытаний и расчета деревянных конструкций.  
E-mail: pashka333@bk.ru



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



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕРЕВОКОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК**

Показана возможность применения углеродных нанотрубок в составе деревокомпозитных конструкций; приведены методики их испытания.

*Ключевые слова:* деревокомпозитные балки, деформативность, прочность, углеродные нанотрубки, компаунд.

Углеродные нанотрубки известны своими уникальными механическими, электрическими и термическими свойствами и пригодны для широкого применения в клеевых композициях. Модуль Юнга (1000 ГПа) и прочность на растяжение (60 ГПа) были измерены на определенной программе структуре композиции. Такое сочетание свойств и формы элемента, совместимое с современными технологиями создания композитных конструкций, дает возможность получить новые конструкционным материалам.

Высокая прочность углеродных нанотрубок (УНТ) обеспечивает прочностные и упругие свойства композитных конструкций, а также на 10...50 % увеличивает их динамическую прочность.

Анализ научно-технической литературы [1–5] позволяет сделать вывод о том, что модификация полимерных композиционных материалов (ПКМ) нанонаполнителями (гибридные ПКМ) является одной из приоритетных задач современного материаловедения.

Цель наших исследований состоит в придании ПКМ функциональных свойств (электропроводность, теплопроводность, разработка интеллектуальных материалов) и увеличении физико-механических и эксплуатационных характеристик ПКМ за счет повышения взаимодействия между армирующим наполнителем и матрицей, роста коэффициента трещиностойкости.

Было принято решение о введении УНТ в состав эпоксидной смолы, так как она обладает высокими адгезионно-когезионными свойствами при взаимодействии с древесиной. Для этого ФГУП «Всероссийский национально-исследовательский институт авиационных материалов» совместно с Тамбовским государственным техническим университетом и ООО «Нанотехцентр» были изучены процессы совмещения эпоксидной смолы с различными типами УНТ.

В качестве композитной конструкции рассматривались деревянные балки перекрытия, усиленные стеклотканью на основе базальтового стекловолокна, приклеенной компаундом с включением УНТ и без них.

Исследование выполнено на моделях армированных балок, запроектированных по принципу полного физического и геометрического подобия с масштабным коэффициентом  $ml = 0,4$ . За основу приняты натурные конструкции пролетом 6 м.

При планировании эксперимента определяли оптимальное число испытываемых моделей и требуемое число образцов для установления статистических характеристик материала моделей. Испытания проведены на 5 группах балок по 3 образца в каждой:

первая группа (БД-1) – деревянные балки без армирования;

вторая группа (БК-1) – деревянные балки с армированием растянутой зоны стеклотканью в 2 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20;

третья группа (БК-2) – деревянные балки с армированием растянутой зоны стеклотканью в 4 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20;

четвертая группа (БКУНТ-1) – деревянные балки с армированием растянутой зоны стеклотканью в 2 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20 с включением в ее состав УНТ концентрацией 0,3 %;

пятая группа (БКУНТ-2) – деревянные балки с армированием растянутой зоны стеклотканью в 4 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20 с включением в ее состав УНТ концентрацией 0,3%.



Рис. 1. Общий вид экспериментального стенда



Рис. 2. Расстановка тензодатчиков по высоте сечения

Балки изготовлены из древесины сосны влажностью  $10 \pm 2 \%$ , сечением  $100 \times 70$  мм и пролетом 2250 мм. Все испытания проводились по двухточечной схеме нагружения на экспериментальном стенде (рис. 1), расстановка датчиков приведена на рис. 2.

На первом этапе нагружение заготовок балок осуществлялось до 0,80 нормативной нагрузки, ступенями по 0,1 от верхнего предела, на втором – до разрушения ступенями, равными 0,25 расчетной нагрузки. На обоих этапах время выдерживания под нагрузкой на каждой ступени принято 5 мин.

Разрушение балок БД начиналось в растянутой зоне, в месте расположения пороков в виде сучка, и происходило при средней нагрузке 1180 кг. После этого сжатые волокна древесины теряли устойчивость с образованием пластической складки. В опорной зоне балок никаких деформаций отмечено не было.

Разрушение балок БК-1 и -2 происходило при нагрузке соответственно 1800 и 2100 кг из-за разрушения растянутых волокон в зоне расположения порока в виде сучка.

Разрушение балок БКУНТ-1 и -2 происходило при нагрузке соответственно 2400 и 2700 кг из-за потери устойчивости сжатых волокон с образованием пластической складки. Результаты испытания композитных балок приведены в таблице.

Серия балок	Сечение		Нагрузка $P$ , кг	Деформация $\epsilon \cdot 10^{-4}$	Прогиб, мм	Разрушающая нагрузка, кг
	$h$	$b$				
БД-1	100,0	70,1	940	19,63/21,62	7,47	1180
БД-2	100,2	69,0		19,60/21,75	7,52	1200
БД-3	99,8	70,0		19,57/21,72	7,45	1160
БК-1-1	101,1	60,8	1250	15,94/13,48	8,88	1750
БК-1-2	100,8	70,0		15,88/13,59	8,92	1830
БК-1-3	101,0	70,3		15,88/13,44	8,90	1820

Окончание таблицы

Серия балок	Сечение		Нагрузка $P$ , кг	Деформация $\epsilon \cdot 10^{-4}$	Прогиб, мм	Разрушающая нагрузка, кг
	$h$	$b$				
БК-2-1	101,9	70,0	1400	20,48/14,54	9,09	2120
БК-2-2	102,3	70,1		20,48/14,46	9,22	2150
БК-2-3	102,1	70,0		20,53/14,50	9,25	2030
БКУНТ-1-1	101,2	69,7	1250	15,31/10,95	7,95	2400
БКУНТ-1-2	101,0	69,9		15,26/10,90	7,90	2420
БКУНТ-1-3	101,2	69,9		15,32/10,87	7,93	2400
БКУНТ-2-1	102,4	70,0	1400	20,50/11,00	8,0	2680
БКУНТ-2-2	102,4	70,2		20,53/10,98	7,98	2690
БКУНТ-2-3	102,2	69,8		20,44/11,02	8,02	2730

Примечание. В числителе приведены значения деформации на сжатие, в знаменателе – на растяжение.

На основании полученных результатов испытания деревокомпозитных балок с применением УНТ установлено:

армирование повышает их несущую способность на 34...56 % и уменьшает деформативность на 24...42 % по сравнению с обычными деревянными балками. Это позволяет использовать их под повышенные нагрузки, расширяет область применения и дает экономию древесины при производстве конструкций;

армирование с включением УНТ в состав компаунда повышает их несущую способность на 25...27 % и уменьшает деформативность на 20...25 % по сравнению с армированными деревянными балками без включения в состав компаунда УНТ;

склеивание деревянных балок компаундом с включением УНТ увеличивает трещиностойкость древесины, о чем свидетельствует характер разрушения конструкции;

армированные деревянные балки сохраняют общую устойчивость. При появлении трещин в балке и разрушении древесины покрытие из стеклоткани не имеет повреждений.

Проведенные исследования показали возможность эффективного применения усиленных элементами УНТ деревокомпозитных балок для нового строительства и при реконструкции зданий и сооружений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карлсен Г.Г., Слицкоухов Ю.В. Конструкции из дерева и пластмасс. М.: Стройиздат, 1986. 543 с.
2. Расчет композитных деревоклееных балок на основе применения инженерного метода /С.И. Рощина, М.В. Лукин, Б.В. Лабудин, В.И. Мелехов// Лесн. журн. 2012. № 3. С. 90–94. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций. М.: Стройиздат, 1976. С. 32.

4. *Рощина С.И.* Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. СПб., 2009. 20 с.

5. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80\*.

Поступила 15.10.12

*S.I. Roshchina, P.B. Shokhin, M.S. Sergeev*  
Vladimir State University

#### **Study of Composite Wood Structures Using Carbon Nanotubes**

The article deals with the use of carbon nanotubes in composite wood structures and describes beam test methods.

*Key words:* composite wood beams, deformability, strength, carbon nanotubes, compound.

---