

УДК 674-419.33: 674.2

Д. Л. Рапинчук, ассистент (БГТУ);  
 А. С. Пардаев, канд. техн. наук, ст. преподаватель (БГТУ);  
 О. К. Леонович, канд. техн. наук, зав. НИЛ ОСиКМ (БГТУ)

### ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ КЛЕЕНЫХ БРУСЬЕВ ДЛЯ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ МЕТОДОМ ИСПЫТАНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ НАГРУЖЕНИЯ

Представлены результаты стендовых испытаний образцов клееных многослойных деревянных брусьев. Проанализированы различные схемы физико-механической анизотропии древесины. Осуществлена верификация предложенной методики оценки прочности и жесткости конструкций из древесины в системах конечно-элементного анализа.

Bench test of samples glued multilayered wooden bars is lead. Various plans of physicomachanical anisotropy of wood are analysed. Verification of the offered technique of an estimation of durability and rigidity of designs from wood in systems of the certainly-element analysis is carried out.

**Введение.** Высокие темпы строительства в нашей стране, обусловленные социальной ориентацией экономики, развитием инфраструктуры малых и средних населенных пунктов, повышенным вниманием к развитию туризма, вовлекают в производство все большее количество конструкционных материалов. В этой связи особую актуальность приобретает использование древесины для строительства как исторически обусловленного и экологически безопасного вида домостроения.

Ввиду неоднородности натуральной древесины как конструкционного материала, при организации массового строительства возникает необходимость оценки прочностных показателей деревянных элементов конструкций. Особенно это актуально в отношении новых конструкций клееных брусьев, изготовленных с использованием различных клеевых материалов и по разным технологиям.

Натурные испытания прочностных свойств конструкционных материалов достаточно дорогостоящи. В последнее время, с учетом постоянного совершенствования вычислительной техники и информационных технологий, значительное развитие получило имитационное моделирование процессов производства и напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций [1, 2], прежде всего, посредством метода конечных элементов (МКЭ), который дает возможность разработки и внедрения новых и эффективных методик расчета и оптимизации объектов проектирования из древесины [3], а также позволяет сократить количество дорогостоящих и трудоемких стендовых испытаний.

Цель данной работы заключается в определении предела прочности при статическом изгибе и модуля упругости древесины брусьев для деревянного домостроения, а также верификации предложенной методики оценки прочности и жесткости объекта исследования в системах

конечно-элементного анализа посредством имитационного моделирования.

Объектом исследования является клееный многослойный деревянный брус из древесины сосны прямоугольного сечения.

Предметами исследования являются прочность и жесткость клееных брусьев, а также их напряженно-деформированное состояние при статическом изгибе.

Данные исследования проводились в рамках ХД № 28-498 «Разработка технических условий на брус деревянный клееный многослойный» и ГБ № 7-06/01 «Разработка конструкций и ресурсосберегающей технологии столярно-строительных изделий. Обоснование конструкции и разработка технологии клееных брусьев».

**Основная часть.** Физико-механические характеристики конструктивных элементов из древесины зависят от большого количества факторов, учет которых является одной из основных задач при проведении испытаний. На основании этого стендовые испытания по определению прочностных показателей клееных брусьев проводили на Научно-исследовательском республиканском унитарном предприятии по строительству «Институт БелНИИС».

Испытанием подвергался клееный многослойный брус из древесины сосны III–IV сорта сечением  $b \times h = 140 \times 180$  мм, изготовленный на ОАО «Борисовский ДОК». Образцы испытывались согласно требованиям СТБ 1591-2005 [4]. Схема испытаний представлена на рис. 1.

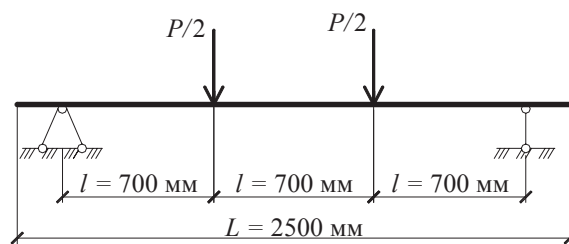


Рис. 1. Схема испытаний клееных брусьев

При испытании контролировали прогибы в середине пролета бруса и величины осадок опор. Брус загружали равными ступенями. Между ступенями загрузки давали выдержку 20 мин, во время которой осуществляли наблюдение за возможным появлением в элементах испытываемой конструкции деформаций разрушения, трещин и повреждений. Величины нагрузок по ступеням загрузки, а также значения прогибов и модулей упругости древесины приведены в таблице.

**Результаты стендовых испытаний**

№ ступени	Нагрузка Р, кН	Прогиб в середине пролета $f$ , мм	Модуль упругости древесины $E_0$ , МПа
1	4,4	1,96	10 850
2	8,75	3,18	13 300
3	13,13	4,98	12 740
4	17,50	6,21	13 620
5	22,00	7,62	13 960
6	26,25	8,99	14 110
7	31,25	10,88	13 880
8	33,75	12,48	13 070
9	41,25	14,20	14 040
10	46,25	16,06	13 920
11	51,25	17,87	13 860
12	56,25		

При оценке прочности и жесткости клееных брусев методом конечно-элементного моделирования рассматривали следующие схемы физико-механической анизотропии древесины:

- древесина как материал с прямолинейной (поперечно изотропной) анизотропией;
- древесина как материал с прямолинейной ортогональной анизотропией;
- древесина как материал с криволинейной (цилиндрической) анизотропией.

Рассмотрение древесины как материала поперечно изотропного приводит к большей схематизации явления, менее полно отражает действительный характер анизотропии древесины, однако широко применяется в строительстве при проектировании конструкций зданий и сооружений, выполненных из древесины или древесноплитных материалов [5, 6].

Взгляд на древесину как на материал, элементарным объемам которого можно приписывать свойства ортогональной анизотропии, является в настоящее время наиболее распространенным и обоснованным опытными данными [7].

Однако, относя древесину в малых объемах с незначительной кривизной годичных слоев к ортотропным материалам, следует рассматривать ее в стволе как материал с криволинейной (цилиндрической) анизотропией [8].

Моделирование НДС объекта исследования в системах конечно-элементного анализа состоит из трех стадий: предпроцессорная подготовка, получение решения и постпроцессорная обработка [9]. Рассмотрим пример конечно-элементного анализа НДС клееного бруса из древесины при статическом изгибе.

На стадии предпроцессорной подготовки построена твердотельная модель бруса (разработана на базе существующих систем автоматизированного проектирования, рис. 2) и заданы необходимые для решения исходные данные, соответствующие образцам, подготовленным для стендовых испытаний. Выбраны координатные системы для последующего указания расположения годичных слоев в ламелях расчетной модели. Заданы тип конечных элементов (трехмерный конечный элемент с 20 узлами) и параметры, характеризующие физико-механические свойства древесины. Далее сгенерирована регулярная сетка КЭ (рис. 3), которая содержит элементы исключительно шестигранной формы и позволяющая провести расчет ортотропных материалов с большей точностью. Схема нагружения и закрепления (рис. 3) соответствует [4].

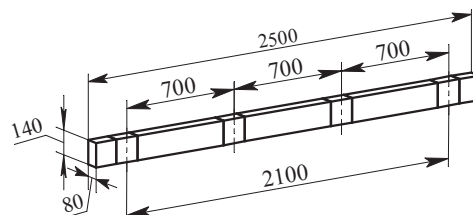


Рис. 2. Твердотельная модель бруса из древесины

Далее с учетом принятых допущений заданы статический вид анализа, его опции и шаг решения. Затем произведен расчет конечно-элементной задачи.

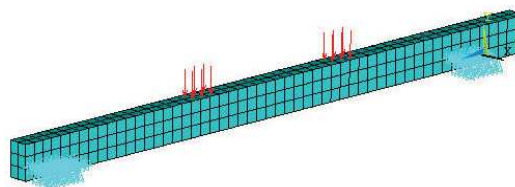


Рис. 3. Результат генерации объемной конечно-элементной сетки, приложения нагрузок и граничных условий к модели бруса

Результаты решения включают в себя значения перемещений, напряжений и деформаций, представленные в графическом виде (рис. 4–5).

Результаты расчета максимального прогиба в середине пролета бруса  $f$ , полученные на основе конечно-элементного моделирования и стен-

довых испытаний, представлены в виде диаграммы (рис. 6).

Из диаграммы видно, что рассмотрение древесины как материала поперечно-изотропного при проектировании строительных конструкций приводит к значительным погрешно-

стям – порядка 30%. Результаты моделирования при рассмотрении древесины как материала ортогонально анизотропного или цилиндрически анизотропного с погрешностью не более 5% соответствует экспериментальным данным.

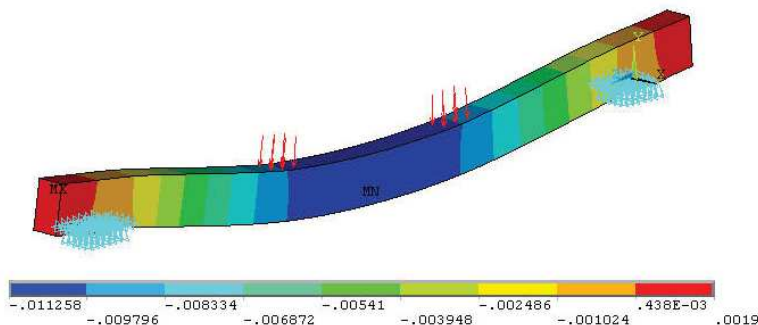


Рис. 4. Изображение поля перемещений в направлении  $Y$  (по толщине бруса), возникающие в модели бруса под действием нагружения

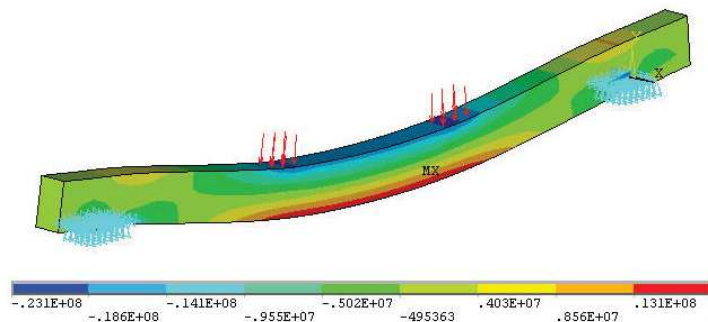


Рис. 5. Изображение поля напряжений в направлении  $Z$  (по длине бруса), возникающих в модели бруса под действием нагружения

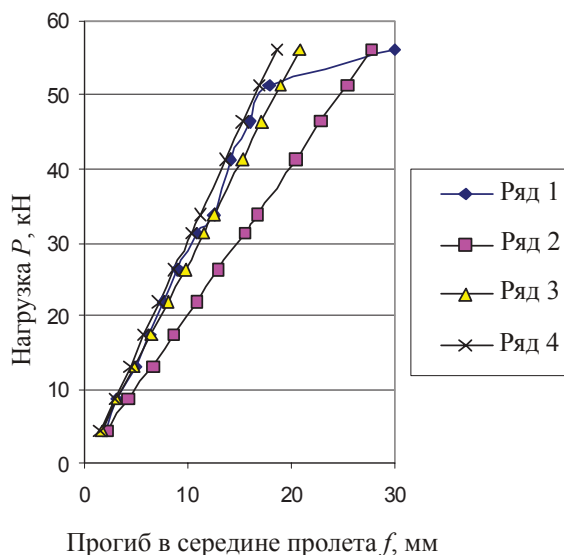


Рис. 6. Зависимость прогиба бруса от нагрузки при статических испытаниях на изгиб: результаты экспериментальных данных (ряд 1); результаты моделирования при рассмотрении древесины: как материала поперечно-изотропного (ряд 2); как ортогонально анизотропного (ряд 3); как цилиндрически анизотропного (ряд 4)

**Заключение.** Проведено стендовое испытание образцов клееных многослойных деревянных брусьев. Проанализированы различные схемы физико-механической анизотропии древесины. Осуществлена верификация предложенной методики оценки прочности и жесткости конструкций из древесины в системах конечно-элементного анализа. Результаты испытаний и моделирования позволяют сделать следующие выводы:

– при проектировании конструкций зданий и сооружений, выполненных из древесины и древесных материалов, с использованием систем конечно-элементного моделирования следует принимать ортогонально анизотропную (орто-тропную) расчетную схему физико-механической анизотропии древесины.

– в случае, когда необходимо учесть структурные особенности древесины (например, пороки), при рассмотрении процессов механического нагружения следует принимать ортогонально анизотропную расчетную схему на основе цилиндрической системы координат.

#### Литература

1. Пижурин, А. А. Основы научных исследований в деревообработке: учеб. для ВУЗов / А. А. Пижурин, А. А. Пижурин – М.: МГУЛ, 2005. – 305 с.

2. Гурьев, А. Т. Имитационное моделирование процессов лесного комплекса: учеб. посо-

бие / А. Т. Гурьев, А. Л. Блок. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. – 188 с.

3. Пардаев, А. С., Обеспечение формоустойчивости неоднородных массивов древесины с учетом цилиндрической анизотропии их элементов при усушке и разбухании: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / А. С. Пардаев; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2008. – 21 с.

4. Конструкции деревянные и металлодеревянные. Методы испытаний нагружением: СТБ 1591-2005. – Введ. 01.01.2006. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 14 с.

5. Строительные нормы Беларуси. Деревянные конструкции: СНБ 5.05.01–2000. – Введ. 01.07.2001. – Минск: Минстройархитектуры, 2001. – 74 с.

6. Деревянные конструкции: СНиП II-25-80. – Введ. 01.01.1982. – М.: Госстандарт России: ГП ЦПП, 1995. – 32 с.

7. Древесина. Показатели физико-механических свойств малых чистых образцов: ГСССД 69-84. – Введ. 01.01.1985. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 29 с.

8. Уголев, Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учеб. для лесотехнических вузов / Б. Н. Уголев. – 3-е изд. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.

9. Kent, L. Lawrence ANSYS Tutorial Releases 10 / L. Kent. Lawrence – University of Texas at Arlington: SDC Publications. – 2006. – 860 p.

*Поступила 01.04.2010*