

УДК 624.011.14

Ю.А. Варфоломеев, А.В. Лукичев

Варфоломеев Юрий Александрович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 300 научных трудов в области обеспечения долговечности древесины в строительстве экологически безопасными методами.



Лукичев Артем Валерьевич родился в 1980 г., окончил в 2002 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры инженерных конструкций и архитектуры АГТУ. Имеет 3 печатные работы в области обработки пиломатериалов.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КЛЕЕНЫХ БАЛОК С РАЗЛИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ СЛОЕВ

Проанализированы результаты испытаний на изгиб клееных деревянных элементов с различным расположением слоев по сечению. Отмечено повышение прочности вертикально-слойных балок по отношению к прочности горизонтально-слойных балок-аналогов по мере увеличения числа слоев.

Ключевые слова: деревянные клееные конструкции, вертикально-слойные элементы, прочность при изгибе.

В настоящей работе исследована прочность при изгибе прямолинейных клееных деревянных элементов с различным расположением слоев по сечению: горизонтальным и вертикальным.

Для оценки влияния положения слоев на прочность клееных балок проводили испытания шести серий образцов [1]. Первая серия состояла из двадцати вертикально-слойных балок, вторая – из контрольных балок-аналогов с горизонтально расположенными слоями.

Образцы обеих серий изготавливали из еловых досок IV сорта по ГОСТ 8486–86 длиной 4 ... 6 м. Доски раскраивали по длине по двум схемам: две заготовки длиной 2 м и четыре заготовки длиной 1 м. Одна из каждой двух заготовок шла на изготовление вертикально-слойных, а другая – горизонтально-слойных образцов. Слои образцов обеих серий были из одной доски.

Короткие горизонтальные заготовки сращивали попарно на зубчатые шипы В-32×8×1 в одну длинную так, чтобы направление годичных колец в слоях оказывалось противоположным. Длинные заготовки строгали

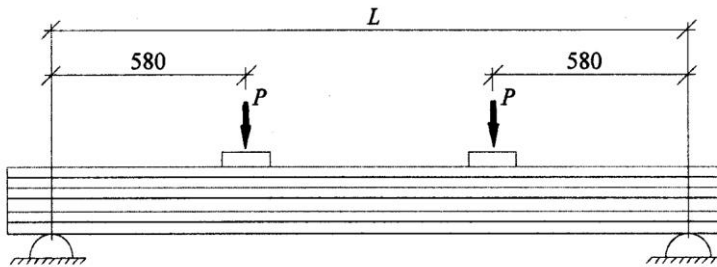


Рис. 1. Схема испытаний балок на изгиб

до толщины 30 мм и склеивали пластинами, получая четырехслойные балки, в которых нечетные слои (1-й и 3-й) имели зубчатые соединения, а четные слои (2-й и 4-й) были цельными. Для склеивания применяли клей ФРФ-50 (ТУ 6-05-1880–79).

В результате были получены аналогичные вертикально- и горизонтально-слойные балки сечением 120×120 мм и длиной 1960 мм. Их испытывали до разрушения при ступенчатом нагружении с использованием гидродомкратов в двух точках, расположенных на расстоянии 580 мм от опор (рис. 1). Одна ступень составляла 20 % от расчетной нагрузки. Среднее значение прочности вертикально-слойных образцов – 44,18 МПа (коэффициент вариации $V = 15,0 \%$), горизонтально-слойных – 31,95 МПа ($V = 11,2 \%$). У горизонтально-слойных образцов зубчатые соединения находились в растянутой зоне.

Аналогично были изготовлены и испытаны еще четыре (с третьей по шестую) серии балок (рис. 2).

Балки третьей серии имели поперечные размеры 134×192 мм. Они состояли из шести слоев толщиной 32 мм и высотой 134 мм, расположенных вертикально. Поперечные размеры балок четвертой серии с горизонтальными слоями – 192×134 мм. Для их изготовления использовали сосновые доски III сорта по ГОСТ 8486–86, которые раскраивали на заготовки длиной 2 м. Как и в двух первых сериях, заготовки из одной доски использовали для склеивания вертикально- и горизонтально-слойных балок. При изготовлении горизонтально-слойных балок обращали внимание на то, чтобы слои в середине пролета не имели сортообразующих пороков. Полученные таким образом балки (и балки-аналоги) были испытаны до разрушения. Среднее значение прочности балок третьей серии составило 49,7 МПа ($V = 11,3 \%$), четвертой серии – 37,7 МПа ($V = 10,0 \%$).

Балки пятой серии имели поперечное сечение 120×160 мм, шестой – 160×120 мм. Каждое сечение состояло из десяти слоев размером 16×120 мм. Слои расположены вертикально у образцов пятой серии, горизонтально – у шестой серии. Длина всех образцов – 2 м. Для этих балок использовали сосновые доски IV сорта по ГОСТ 8486–86. Балки изготавливали по такой же методике, как и балки предыдущих серий. Один

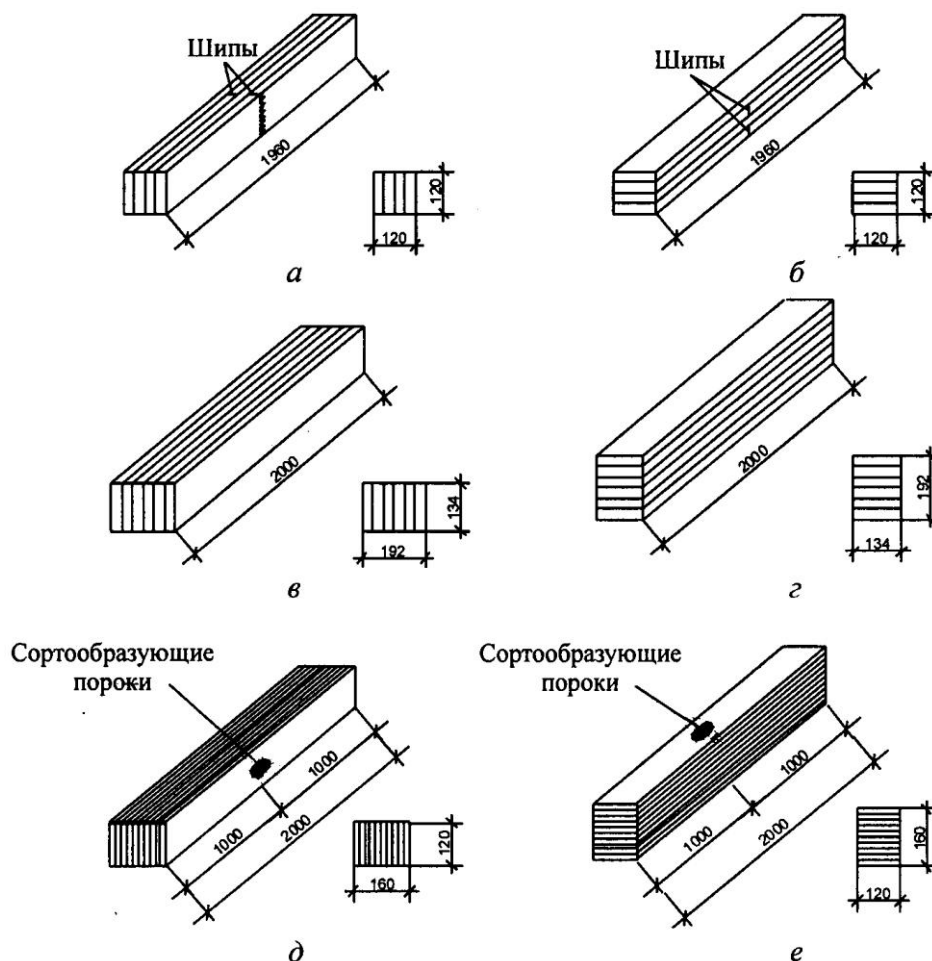


Рис. 2. Образцы для испытаний на изгиб: *a – e* – серии с первой по шестую; *a, в, д* – вертикально-слойные, *б, г, е* – горизонтально-слойные балки

крайний слой балки обязательно имел в середине пролета сучок диаметром 35 ... 40 мм, расположенный в центре по ширине слоя. Полученные балки были испытаны до разрушения. В горизонтально-слойных образцах слой с сучком располагали в сжатой зоне. Среднее значение прочности образцов пятой серии составило 46,0 МПа ($V = 14,0 \%$), шестой серии – 34,1 МПа ($V = 12,1\%$).

Таким образом, во всех парных сериях клееные балки, изготовленные при одинаковых условиях из одинаковых досок, обладали различной прочностью в зависимости от положения слоев: прочность вертикально-слойных балок была выше горизонтально-слойных. Это можно объяснить следующим образом. При вертикальном расположении слоев в изгибаемых элементах наиболее напряженные поверхности растянутой и сжатой зон об-

разованы кромками нескольких слоев. Благодаря этому естественные пороки и зубчатые клеевые соединения в ответственных зонах распределены значительно равномернее, чем в элементах с горизонтальным расположением слоев. В результате слои с зубчатыми соединениями и дефектными участками не ослабляют вертикально-слойные элементы в той мере, в какой они ослабляют горизонтально-слойные. Различие образцов по прочности можно характеризовать коэффициентом расположения слоев $K_{р.с.}$. Его рассчитывают как отношение прочности вертикально-слойной балки к прочности горизонтально-слойной.

Результаты эксперимента позволяют проверить гипотезу о повышении коэффициента $K_{р.с.}$ при увеличении числа слоев. Однако непосредственное сопоставление полученных экспериментальных данных невозможно, поскольку в парных сериях действовал другой фактор – наличие в слоях зубчатых соединений и крупных сучков в середине пролета. Причем влияние этого фактора в случаях с вертикально- и горизонтально-слойными образцами было неодинаково.

Для исключения влияния постороннего фактора и приведения данных к единому набору условий (пиломатериалы III и IV сортов без зубчатых соединений и сучков в середине пролета) в расчеты введен коэффициент поправки на расположение пороков и зубчатых соединений $K_{расп.}$. Его рассчитывали следующим образом: из работы [2] были взяты данные о прочности пиломатериалов без зубчатых соединений и пиломатериалов с зубчатыми соединениями В-32×8×1 в середине пролета. Она составила соответственно 32,79 и 27,68 МПа (закон распределения Пирсона, обеспеченность 0,99). В балках первой серии зубчатыми соединениями были ослаблены два слоя из четырех, тогда как в балках второй серии слой с зубчатым соединением, помещенный в растянутую зону, определял прочность всей балки (как будто все четыре слоя имели зубчатые соединения). Для балок первой серии $K_{расп.} = 1 + ((32,79/27,68) - 1)2/4 = 1,09$, для второй – $K_{расп.} = 1 + ((32,79/27,68) - 1)4/4 = 1,18$. Для балок третьей и четвертой серий, не имеющих пороков и зубчатых соединений в середине пролета, $K_{расп.} = 1$. Различие между прочностью пиломатериалов III и IV сортов незначительно.

В балках пятой серии сучком был ослаблен один слой из десяти. Влияние на прочность сучка диаметром 40 мм в середине пролета можно учесть по формуле [3]

$$\sigma_{отн} = 1 - (a/b),$$

где $\sigma_{отн}$ – прочность древесины, ослабленной сучком, по отношению к прочности чистой древесины;

a – диаметр сучка, мм;

b – ширина доски, мм.

Следовательно, для балок пятой серии $K_{расп.} = 1/(1 - (a/b)) = 1/(1 - (40/120)) = 1,03$. В балках шестой серии сучок в сжатом слое совершенно не оказал влияния на прочность, т. е. для этой серии $K_{расп.} = 1$.

Таблица 1

Расчет приведенных сопротивлений изгибу

Номер серии	Сечение, мм		Число слоев	Сорт древесины по ГОСТ 8486–86	Пролет, м	Тип и местоположение порока	Среднее сопротивление $\sigma_{вр}$, МПа	Коэффициент вариации, V, %	Нормативное сопротивление σ_n , МПа	Коэффициент поправки на расположение пороков и соединений, $K_{расп}$	Приведенное сопротивление σ_n , МПа	Коэффициент повышения прочности $K_{рс}$
	b	h										
1	120	120	4	IV	1,96	Зубчатые шипы в середине пролета в 1-м и 3-м слоях	44,2	15,0	33,3	1,09	36,4	1,18
2	120	120	4	IV	1,96	« в 1-м (растянутом) и 3-м слоях	32,0	11,2	26,1	1,18	30,9	
3	192	134	6	III	2,00	–	49,7	11,3	40,5	1,00	40,5	1,28
4	134	192	6	III	2,00	–	37,7	10,0	31,6	1,00	31,6	
5	160	120	10	IV	2,00	Сучок в середине пролета в крайнем слое	46,0	14,0	35,3	1,02	36,0	1,30
6	120	160	10	IV	2,00	Сучок в середине пролета в крайнем (сжатом) слое	34,1	12,1	28,0	1,00	28,0	

Примечания. 1. В сериях 1 и 2 образцы изготовлены из древесины ели, 3 – 6 – сосны. 2. Четные номера серий – горизонтально-слойные образцы; нечетные – вертикально-слойные.

6*

Для каждого типа образцов было рассчитано приведенное сопротивление изгибу как произведение нормативного сопротивления на поправочный коэффициент:

$$\sigma_{п} = \sigma_{н} K_{расп.}$$

Полученные приведенные сопротивления, в свою очередь, позволили рассчитать значения коэффициента повышения прочности $K_{р.с}$ для каждой из трех парных серий образцов. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что с увеличением числа слоев клееных элементов значение $K_{р.с}$ повышается, достигая максимальных значений $K_{р.с} = 1,3$ у десятислойных балок.

Таким образом, превосходство в прочности вертикально-слойных балок над аналогичными горизонтально-слойными возрастает по мере увеличения числа слоев.

Закономерности, полученные нами при испытаниях на изгиб балок изготовленных из наиболее распространенных пород древесины, произрастающих в северных районах нашей страны, свидетельствуют о необходимости учитывать положение слоев в отечественных нормативных документах по расчету деревянных клееных конструкций. Следует отметить, что национальные стандарты некоторых стран подобные закономерности уже отражают в рекомендациях по проектированию клееных деревянных конструкций. Так, согласно руководящим материалам СР 112 (Великобритания), расчетные сопротивления вертикально-слойной древесины при изгибе и скалывании вдоль волокон следует получать умножением расчетных сопротивлений горизонтально-слойной древесины соответствующего конструкционного сорта на повышающий коэффициент K_{11} , величина которого зависит от числа вертикально склеенных слоев (табл. 2) [3, 4].

Таблица 2

**Поправочный коэффициент K_{11} для вертикально-слойных балок
(изгиб и скалывание вдоль волокон) согласно СР 112**

Число слоев	4	5	6	7	8	9
Поправочный коэффициент	1,19	1,21	1,23	1,24	1,25	1,26

По данным табл. 1 и 2 построена диаграмма зависимости коэффициентов $K_{р.с}$ и K_{11} от числа слоев n (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что значения коэффициента K_{11} , полученные нами по результатам проведенных испытаний, оказа-

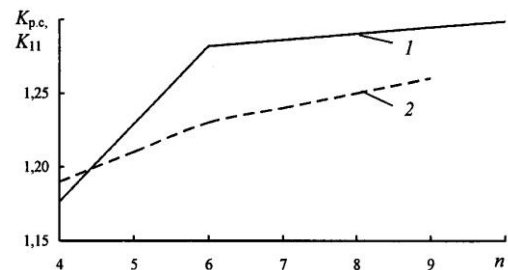


Рис. 3. Диаграммы зависимости коэффициента повышения прочности $K_{р.с}$ (K_{11}) от числа слоев n клееных элементов: 1 – эксперимент; 2 – данные норм Великобритании

лись выше значений, установленных СР 112. Это можно объ-

яснить тем, что нормы Великобритании не учитывают тот факт, что разница в прочности между вертикально- и горизонтально-слоистыми балками тем выше, чем ниже сорт используемых пиломатериалов (и, соответственно, выше насыщенность пороками), поскольку при вертикальном расположении слоев влияние пороков и зубчатых соединений снижается. Между тем образцы всех шести серий были изготовлены именно из низкосортных (III и IV сорта) пиломатериалов.

Выводы

1. Прочность на изгиб вертикально-слоистых балок при количестве слоев 4 и более превышает прочность горизонтально-слоистых балок аналогичного сечения с тем же количеством слоев, изготовленных из пиломатериалов того же сорта. Причем этот разрыв в прочности возрастает с увеличением числа слоев клееных элементов.

2. В отечественные нормы необходимо ввести поправочные коэффициенты, учитывающие более высокую прочность на изгиб вертикально-слоистых конструктивных элементов. Это будет способствовать их более широкому применению в строительстве, что, в свою очередь, приведет к снижению материалоемкости конструкций, а также создаст условия для использования низкосортной древесины в производстве клееных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Варфоломеев, Ю.А.* Обеспечение долговечности изделий из древесины [Текст] / Ю.А. Варфоломеев. – М.: Ассоль, 1992. – 288 с.

2. *Ковальчук, Л.М.* Нормативная прочность пиломатериалов с зубчатыми клеевыми соединениями при изгибе и растяжении [Текст] / Л.М. Ковальчук, Ю.А. Варфоломеев, Е.Б. Рюмина // Лесн. журн. – 1988. – № 3. – С. 69 – 72. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. CP 112. British standard Code of Practice. The structural use of timber. Metric units [Text] // The Council for Codes of Practice, British Standards Institution. Part 2. – London, 1971.

4. *Ozelton, E.C.* Timber designers' manual [Text] / E.C. Ozelton, J.A. Baird. – London: Crosby Lockwood Staples, 1976. – 518 p.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 12.12.05

Yu.A. Varfolomeev, A.V. Lukichev

Experimental Research of Laminated Wood Beams Strength with Different Layer Arrangement

The bending test results for laminated wood elements with different layer arrangement in the section are analyzed. Vertically-laminated beams are characterized by higher strength in comparison with analogous horizontally-laminated beams with increase of the layers' number.