

УДК 624.011.1:539.4

А. Я. Найчук, д-р техн. наук, А. Н. Петрукович, канд. техн. наук

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КЛЕЕННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СЛОЕВ ПОВЫШЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Одним из способов изготовления деревянных клеенных конструкций является склеивание досок с прорезями по пласти, размещенными соосно с продольной осью симметрии параллельно боковым кромкам слоев. Данный способ направлен на повышение экономии материала путем увеличения толщины досок при изготовлении клеенного пакета и снижение энергетических затрат при сушке пиломатериалов. В статье исследуется влияние прорезей в досках пакета на напряженное состояние элемента.

Введение

Проблема повышения долговечности клеенных деревянных конструкций (КДК) за счет снижения внутренних напряжений между склеиваемыми слоями не имеет на сегодняшний день однозначного решения. Появление внутренних напряжений в элементах деревянных конструкций обусловлено следующими причинами:

- 1) различная влажность слоев древесины в процессе изготовления;
- 2) неравномерные влажностные деформации древесины по толщине пакета в процессе эксплуатации, вызванные изменениями температурно-влажностного режима окружающей среды.

На сегодняшний день существует множество подходов к изготовлению КДК

с предварительно выполненными прорезями (канавками) в слоях склеиваемого пакета, большинство которых имеют описание в трудах различных авторов [1, 2].

Один из способов изготовления КДК заключается в том, что перед сушкой материала на пластиах склеиваемых досок выполняются компенсационные прорези. Ширина прорезей в досках составляет 2...3 мм, глубина – до $\frac{2}{3}$ от толщины слоя; расстояния от края доски до прорези и между прорезями принимаются равными $\frac{1}{4}$ ширины доски (рис. 1). Такой прием позволяет уменьшить энергозатраты на сушку материалов и снизить вероятность возникновения внутренних напряжений при сушке.

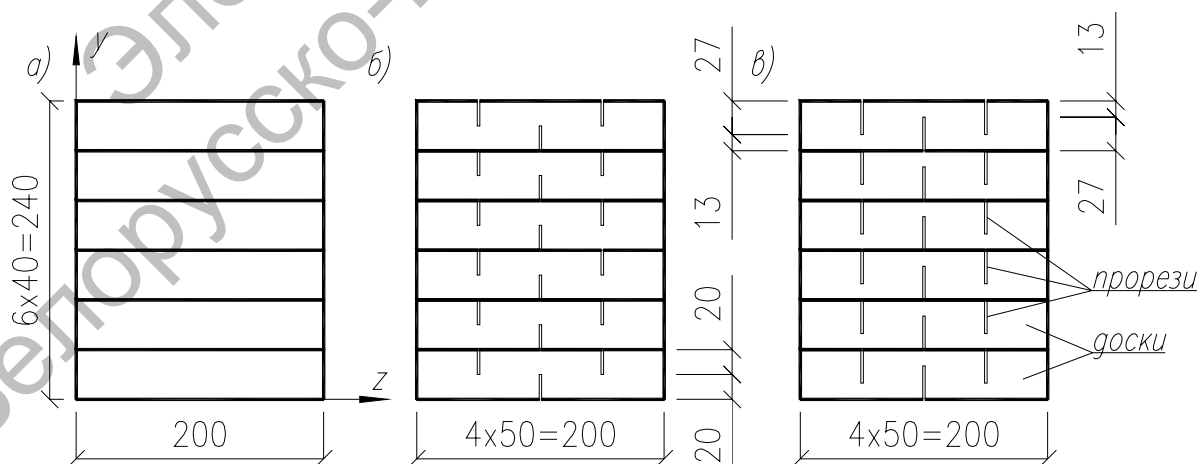


Рис. 1. Схемы типов поперечных сечений клеенного элемента: а – тип I; б – тип II; в – тип III

Данная статья содержит результаты численного исследования влияния указанных выше прорезей на напряженное состояние клеенного деревянного элемента под нагрузкой.

Методика расчета

В рамках выполненных исследований были рассмотрены три типа поперечных сечений клеенного элемента (см. рис. 1) шириной 200 мм, высотой 240 мм (шесть слоев толщиной 40 мм каждый). Рассматриваемые типы поперечных сечений элементов отличаются по конструктивному исполнению слоев:

- тип I – цельные слои;
- тип II – с прорезями глубиной $\frac{1}{2}$ толщины слоя на расстояниях $\frac{1}{4}$ ширины элемента, расположенными в шахматном порядке на верхней и нижней гранях для каждого отдельного слоя и клеенного пакета в целом;
- тип III – с прорезями глубиной $\frac{2}{3}$ толщины слоя на расстояниях $\frac{1}{4}$ ширины элемента, расположенными аналогично, как для типа II.

Расчет выполнялся с использованием программного комплекса, в основу которого положен метод конечных элементов (МКЭ), позволяющего выполнять численное моделирование слоев из ортотропного материала. При этом решение задачи выполнялось в объемной постановке.

Расчетная модель элемента была выбрана в виде балки на двух опорах, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой (рис. 2). Величина равномерно распределенной нагрузки выбиралась таким образом, чтобы значения максимальных нормальных напряжений от изгиба s_x в середине пролета балки, посчитанные с использованием обычных формул сопротивления материалов, составляли 10 МПа. То есть величина равномерно распределенной по верхней площади элемента нагрузки составила 0,133333 МПа. Нагрузка прикладывалась в пролете. Консольные свесы по краям использовались для соответствия расчетной модели натурным образцам.

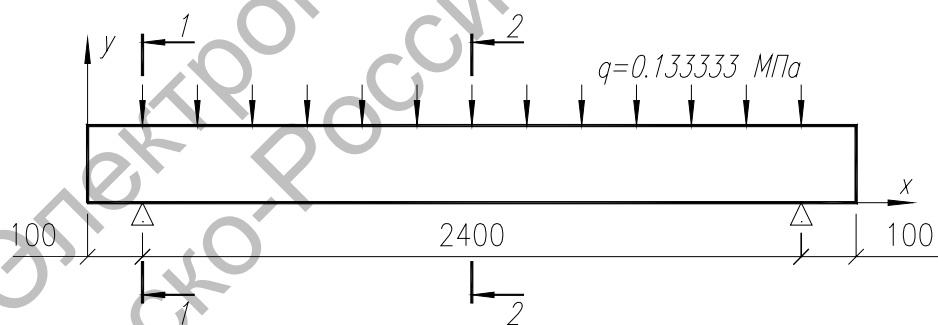


Рис. 2. Расчетная схема элемента

Упругие характеристики материала слоев принимались как для цельной древесины по трем направлениям главных осей анизотропии: $E_y = 1124$ МПа, $E_z = 920$ МПа, $E_x = 16600$ МПа, $G_{yz} = 670$ МПа, $G_{xz} = 690$ МПа, $G_{xy} = 1180$ МПа, $\mu_{zy} = 0,31$, $\mu_{zx} = 0,015$, $\mu_{yx} = 0,038$.

Клеевая прослойка задавалась в виде специального контактного слоя.

Результаты расчета

На основании численного расчета для трех представленных на рис. 1 типов сечений были получены значения нор-

мальных и касательных напряжений в характерных точках: на опоре (сечение 1–1) и

в середине пролета (сечение 2–2). Результаты расчетов приведены в табл. 1...б.

Табл. 1. Напряжения в сечении 1–1 (тип I)

Координата, мм		Нормальное напряжение, МПа			Касательное напряжение, МПа		
y	z	s_z	s_y	s_x	t_{zy}	t_{yx}	t_{zx}
80	0	0,0155	-0,4899	0,3419	0,0228	-0,3714	0,0223
	200	0,0154	-0,4867	0,33	-0,0198	-0,3704	-0,0184
100	0	0,0152	-0,4382	0,188	0,0325	-0,4372	0,0144
	200	0,0127	-0,44	0,1885	-0,016	-0,4375	-0,0121
120	0	0,0075	-0,3879	0,0225	0,0227	-0,4669	0,0106
	200	0,0034	-0,3943	0,0282	-0,0065	-0,4645	-0,0103

Табл. 2. Напряжения в сечении 2–2 (тип I)

Координата, мм		Нормальное напряжение, МПа			Касательное напряжение, МПа		
y	z	s_z	s_y	s_x	t_{zy}	t_{yx}	t_{zx}
0	0	0,0004	0	10,08	2E-05	0,004	0,0006
	100	0,0005	0	10,1	-5E-05	-1E-04	-4,2E-05
	200	0,0007	0	10,08	-1E-04	0,005	0,0003
40	0	0,0013	0	6,557	-0,001	0,001	0,0015
	200	0,0014	0	6,556	8E-04	4E-04	-0,0013
200	0	-0,0016	-0,1	-6,56	-6E-04	-0,009	0,0005
	200	-0,0013	-0,1	-6,55	8E-04	0,008	0,0003
220	0	-1,6E-05	-0,1	-8,28	-2E-04	0,011	9,7E-05
	200	-0,0003	-0,1	-8,28	1E-04	-0,013	-0,0004
240	0	-0,0008	-0,1	-10,1	6E-05	-0,004	-8,4E-05
	100	-0,0003	-0,1	-10,1	-7E-05	-0,001	0,0002
	200	-0,0012	-0,1	-10,1	1E-04	0,004	-0,0017

Табл. 3. Напряжения в сечении 1–1 (тип II)

Координата, мм		Нормальное напряжение, МПа			Касательное напряжение, МПа		
y	z	s_z	s_y	s_x	t_{zy}	t_{yx}	t_{zx}
80	0	0,0118	-0,5914	0,3564	0,0072	-0,3679	0,0062
	99	-0,4765	-0,7626	0,0946	0,278	-0,3744	0,0577
	101	-0,4658	-0,7535	0,1057	-0,2692	-0,3685	-0,0555
	200	0,0086	-0,5973	0,3526	0,0014	-0,3657	-0,007
100	99	-0,4616	-0,6142	-0,0277	-0,1921	-0,3778	-0,1079
	101	-0,4435	-0,7496	-0,0989	0,3098	-0,4446	0,1044
120	0	0,0023	-0,3876	0,0481	-0,0028	-0,4565	0,0043
	99	-0,2612	-0,3635	0,0397	0,1837	-0,2851	0,1318
	101	-0,1898	-0,6215	-0,0711	-0,262	-0,5318	-0,1505
	200	-0,0004	-0,3975	0,0383	0,0025	-0,4559	-0,0035

Табл. 4. Напряжения в сечении 2–2 (тип II)

Координата, мм		Нормальное напряжение, МПа			Касательное напряжение, МПа		
y	z	s_z	s_y	s_x	t_{zy}	t_{yx}	t_{zx}
0	0	-4E-05	0,0011	10,021	-3E-05	0,0024	-0,0044
	101	-0,0006	-0,0008	10,034	-0,0002	-0,0061	0,0007
	200	-0,0002	0,0013	10,011	1,6E-05	0,0041	0,0069
40	0	0,0003	-0,0099	6,5152	0,0002	-0,0004	0,0002
	99	0,0024	-0,0087	6,5288	0,0009	0,0023	-0,0018
	101	0,0025	-0,009	6,5284	-0,0006	0,0028	-0,0015
	200	0,0004	-0,0106	6,5177	-9,1E-05	0,0061	0,0011
200	0	-0,0006	-0,1255	-6,5292	-0,0003	0,0091	-0,0021
	99	-0,0002	-0,1262	-6,5404	0,0132	7E-05	-0,0002
	101	-0,002	-0,1257	-6,5418	-0,0128	0,0045	-0,0001
	200	3E-05	-0,1249	-6,5245	0,0006	-0,0026	-0,0006
220	0	-8E-05	-0,1292	-8,245	-0,0002	-0,0109	0,0005
	99	-0,0055	-0,1149	-8,2542	-0,0042	0,0014	-0,0008
	101	-0,0006	-0,1431	-8,2685	0,0061	0,0065	-0,0027
	200	4E-05	-0,1296	-8,2457	0,0006	0,0104	-0,0009
240	0	-0,0014	-0,1354	-10,034	-0,0007	0,0068	-0,0002
	100	-0,0066	-0,1471	-10,071	-0,0036	0,0147	0,0002
	200	-0,001	-0,1349	-10,032	0,0003	-0,0012	0,0024

Табл. 5. Напряжения в сечении 1–1 (тип III)

Координата, мм		Нормальное напряжение, МПа			Касательное напряжение, МПа		
y	z	s_z	s_y	s_x	t_{zy}	t_{yx}	t_{zx}
80	0	0,0075	-0,4977	0,3706	0,0127	-0,3718	0,0029
	99	-0,2746	-0,7774	0,1668	0,3808	-0,3736	0,1519
	101	-0,2477	-0,7968	0,1631	-0,3842	-0,3742	-0,1515
	200	-0,0005	-0,5124	0,3657	-0,0033	-0,3674	-0,0063
100	0	-0,0022	-0,4636	0,1938	0,0057	-0,4184	0,0010
	99	-0,0231	-0,6128	0,1344	-0,0307	-0,4297	-0,0069
	101	-0,0289	-0,6259	0,1319	0,0484	-0,4211	0,0059
	200	0,0046	-0,4466	0,2025	-0,012	-0,425	-0,0009
120	0	-0,0005	-0,3909	0,0531	-0,0041	-0,4616	0,0033
	99	-0,0639	-0,5261	-0,0041	0,2308	-0,4276	0,175
	101	-0,0589	-0,5268	0,0037	-0,2213	-0,428	-0,1613
	200	0,0011	-0,3882	0,0479	0,0024	-0,461	-0,0028

Табл. 6. Напряжения в сечении 2–2 (тип III)

Координата, мм		Нормальное напряжение, МПа			Касательное напряжение, МПа		
y	z	s_z	s_y	s_x	t_{zy}	t_{yx}	t_{zx}
0	0	-0,0003	0,0002	9,9765	-1,8E-05	0,0022	0,0004
	99	-0,0007	8,3E-05	9,9859	-0,0002	0,0023	0,0002
	101	-0,0003	2,5E-05	9,9893	0,0002	0,0028	-0,0003
	200	-0,0005	0,0001	9,9712	-0,0002	0,0025	0,0003
40	0	-0,0002	-0,0111	6,4829	5,6E-05	-0,0024	1,1E-05
	99	0,0022	-0,0084	6,4975	0,0008	-0,0032	0,0024
	101	0,0029	-0,0081	6,4975	-0,0014	-0,0007	0,0044
	200	0,0009	-0,0107	6,4907	-0,0016	-0,0015	-0,0023
200	0	0,0002	-0,1234	-6,494	-3,8E-05	0,0011	-3,9E-05
	99	-0,0034	-0,1158	-6,5036	0,0287	0,0029	0,0012
	101	-0,0015	-0,1137	-6,5018	-0,0327	0,0024	0,0026
	200	0,0003	-0,1233	-6,4922	-5,7E-05	0,0023	-0,0004
220	0	0,0005	-0,1304	-8,2049	-5,9E-05	-0,0042	0,0005
	99	-0,0013	-0,1324	-8,2181	-0,0006	-0,0033	-0,0004
	101	-0,0016	-0,132	-8,2171	-3,9E-05	-0,0032	-0,0004
	200	0,0004	-0,1303	-8,2026	0,0001	-0,0048	0,0004
240	0	-2,3E-05	-0,1337	-9,982	8,4E-05	0,0027	6,7E-05
	99	0,0041	-0,1166	-9,9788	0,0267	-0,0037	0,0008
	101	0,0061	-0,1179	-9,9778	-0,0299	-0,0009	0,0007
	200	-0,0002	-0,1336	-9,9836	0,0001	0,0007	-0,0009

Анализируя результаты расчета, можно сделать следующие выводы:

– величина нормальных напряжений s_x для типов сечений II и III меньше напряжений для цельного сечения (тип I) на 1 %; распределение их по ширине пакета для всех трех типов сечений практически одинаковое;

– наличие напряжений s_y на опоре обусловлено местным сжатием на опоре;

– в середине пролета (сечение 2–2) в нижней зоне балки напряжения s_y практически равны нулю, а их проявление в верхней зоне вызвано приложением распределенной нагрузки по площади;

– для элементов типа II в сечении 1–1 напряжения s_z принимают наибольшие значения, в то время как для остальных типов сечений они значительно ниже;

– в сечении 2–2 для всех рассматриваемых типов сечений напряжения s_z практически равны нулю;

– значения касательных напряжений t_{yx} для всех типов сечений практически одинаковые, их распределение соответствует положениям сопротивления материалов;

– касательные напряжения t_{zy} для сечения типа III в сечении 1–1 на 25...30 % больше, чем для типа II и на порядок больше, чем для типа I; в сечении 2–2 указанные напряжения для всех типов сечений принимают значения, близкие к нулю;

– касательные напряжения t_{zx} для сечения типа III в сечении 1–1 вблизи пропилов на пластьях слоев пакета больше, чем для типа II в 2,5...3 раза, а в толщине слоев наоборот – для типа II они на порядок больше, чем для типа III; для сечения типа I они значительно меньше, чем для остальных типов;

– в сечении 2–2 касательные напряжения t_{zx} для всех типов сечений принимают значения, меньшие, чем в сечении 1–1.

Заключение

На основании анализа результатов выполненных численных исследований можно сделать вывод, что значения напряжений, определяющих прочность балочного элемента заданных размеров для трех различных типов сечений, практически равны. Таким образом, очевидно, что выполненные согласно описанной выше технологии пропилы в пластьях досок клеенного пакета незначительно влияют на его прочность под нагрузкой.

Выполненные расчеты впоследствии получили экспериментальное подтверждение в ходе изготовления элементов с толщинами слоев (33 ± 1) и (68 ± 1) мм с последующей сушкой до влажности (10 ± 2) % и испытаниями [1].

Выполненные расчеты и последующие натурные исследования подтвердили эффективность подобного способа изготовления клеенных деревянных конструкций, повышающего экономичность и совершенствование технологии изготовления КДК. То есть, при изготовлении КДК из досок с прорезами прочность конструкций остается практически неизменной, происходит снижение внутренних напряжений, вызванных температурно-влажностными деформациями, снижаются затраты на производство КДК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Славик, Ю. Ю. Способ изготовления деревянных клеенных конструкций из слоев повышенной толщины с сохранением надежности конструкций / Ю. Ю. Славик, С. В. Паук // Уникальные и специальные технологии в строительстве : информ. сб. – 2005. – № 1(2). – С. 62–64.

2. Ковальчук, В. М. Производство деревянных клеенных конструкций / В. М. Ковальчук. – М., 1979.

РУП «Институт БелНИИС»
Брестский государственный технический университет
Материал поступил 18.02.2008

A. J. Najchuk, A. N. Petrukovich
Numeric research of stress for glued
wooden constructions with layers of
increased thickness

One of the ways of wooden glued constructions production is gluing boards with parallel saw cuts on their faces. It helps to reduce inputs of wood and energy for drying because of increasing of board thickness. The article contains the analysis for saw cuts influence on the stress in load carrying building construction.

Электронная библиотека
Белорусско-Российского университета