

Предложенное математическое и программное обеспечение дает возможность определять параметры круглых пил с вращательным движением подачи при поштучной, групповой и пачковой поперечной распиловке лесоматериалов, причем разных пород в группе (пачке). Кроме того, блок-схемы могут быть использованы при организации системы автоматизированного проектирования пильных механизмов и оптимизации их параметров, а также при разработке программ управления процессами поперечной распиловки лесоматериалов.

Поступила 11 декабря 1990 г.

УДК 624.011.1 : 674.028.9

РАСЧЕТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ МЕСТНОМ СМЯТИИ

Б. В. ЛАБУДИН

Ленинградский инженерно-строительный институт

В действующих нормах [8] отсутствуют рекомендации для расчета на местное смятие элементов клееных деревянных конструкций (КДК) с произвольно ориентированной нагрузкой по отношению к волокнам и, следовательно, слоям, за исключением узлов соединений КДК [4], работающих под углами от 0 до 45° при отношении размеров штампа d и опорной площадки l в диапазоне $0,25 \leq d/l \leq 0,50$.

При действии нагрузки поперек волокон на части длины элемента (при длине незагруженных участков не менее длины площадки смятия и толщины элементов), за исключением оговоренных в п. 4, табл. 3, нормы напряжения местного смятия рассматривают по формуле (1) [8]. Это, на наш взгляд, некорректно, поскольку при этом не учитываются такие факторы, как относительные размеры штампа, угол приложения силы к волокнам или слоям, характер работы материала в зависимости от этого угла.

Исследования, выполненные нами в Архангельском лесотехническом и Брестском политехническом институтах [2], позволили сформулировать более общие подходы к оценке сопротивления клееной древесины местному смятию при варьировании относительных размеров жесткого штампа и направления действия вектора внешних сил по отношению к волокнам (слоям).

При этом исходили из того, что справедливы следующие гипотезы и допущения:

материал является сплошной средой ввиду весьма малой толщины жестких клеевых прослоек, соединяющих слои пиломатериала между собой;

различие упругих характеристик для отдельных слоев пиломатериала, произвольно ориентированного в поперечном сечении пакета, находится в пределах статистического разброса, т. е. справедливо осреднение физико-механических свойств материала в пределах сечения образца;

влиянием специфичных для клееной древесины локальных дефектов (сучки, наклон волокон, зубчато-шиповые стыки с местным ослаблением и др.), находящихся в пределах норм, пренебрегаем;

компоненты напряжений и деформаций считаем связанными линейно, т. е. в соответствии с обобщенным законом Гука;

напряжения, возникающие при изменении эксплуатационных воздействий (температура, влажность и др.), учитываются только на стадии конструктивного расчета в соответствии с нормами [4, 8].

Таким образом, клееную древесину считаем трансверсально-изотропной (транстропной), упругой, однородной средой, что соответствует выводам других исследователей [1, 7, 9].

Испытания клееной сосновой древесины производили на образцах, выпиленных из заводских элементов КДК в виде призм с размерами в основании $b \times l = 60 \times 100$ мм и высотой $h = 90$ мм (рис. 1). Толщина ламелей $(20,0 \pm 0,5)$ мм; клей ФРФ-50. Отношение размеров штампа к ширине образца d/l принимали равным 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; угол наклона действующей нагрузки к слоям α варьировали от 0 до 90° .

Для исследований использовали пресс МУП-50. Скорость нагружения $(15,0 \pm 2,5)$ кН/мин. В каждой точке испытывали не менее 5 образцов.

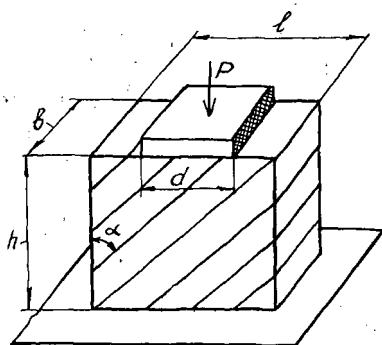


Рис. 1. Форма и размеры опытных образцов клееной древесины

После статистической обработки результатов и определения средних значений предела прочности $\sigma_{см \alpha}$ в зависимости от соотношения d/l и угла α представилась возможность выявить закономерности изменения не только прочностных характеристик клееной древесины, но и расчетных сопротивлений смятию под углом к волокнам (слоям) $R_{см \alpha}$.

С этой целью за Y принимали механические характеристики $\sigma_{см \alpha}$, а за X — отношение размеров штампа и образца d/l . Используя математический аппарат метода наименьших квадратов (МНК), получили уравнения связи между указанными параметрами Y и X .

Как известно [3], наиболее трудным является выбор вида уравнений связи. Воспользуемся набором стандартных программ, имеющихся в блоке расширения памяти (БРП-3) для микрокалькулятора МК-52, специальной программой «Статан» для микроЭВМ и получим коэффициенты A и B , а также ошибку уравнения. По величине ошибки можно судить о приемлемости аппроксимирующих выражений, часть из которых имеет линейную зависимость параметров, а другая представлена нелинейными уравнениями:

$$\begin{aligned}
 Y &= AX + B; & Y &= AX^B; \\
 Y &= AB^X; & Y &= A + B/X; \\
 Y &= 1/(AX + B); & Y &= X/(AX + B). \\
 Y &= A \ln X + B;
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Значения X , Y , α , коэффициентов A и B , а также 7 уравнений связи с ошибками приведены в таблице. Экспериментальные пары X и Y использовали для получения каждого из уравнений. Было рассмотрено 16 уравнений связи, но в данной работе они все не приведены.

Из данных таблицы видно, что наиболее близкими и точно отражающими количественные изменения $\sigma_{см \alpha}$ в зависимости от d/l при постоянных параметрах внешней среды являются следующие уравнения: $Y = AX + B$ (линейное) и $Y = A \ln X + B$ (нелинейное).

Учитывая, что для нелинейного уравнения наименьшая погрешность получена при углах $45 \dots 90^\circ$, данное уравнение связи принимаем в качестве исходного для последующих вычислений.

α , град	X	Y	Аппроксимирующие уравнения	Ошибка уравнения
0,0	0,25	54,0	$Y = -16x + 58$	0,00000
	0,50	50,0	$Y = 58,9188 \cdot 0,7154^X$	0,16827
	0,75	46,0	$Y = 1/(0,00705X + 0,0166)$	0,34447
	1,00	42,0	$Y = -8,4197 \ln X + 43,017$	0,88588
			$Y = 43,0903X^{-0,17495}$	1,04940
		$Y = 40,564 + 3,5692/X$	1,65792	
		$Y = X/(0,0255X - 0,00227)$	3,73202	
22,5	0,25	34,0	$Y = -15,8286X + 38,7857$	1,78992
	0,50	—	$Y = 40,691 \cdot 0,5621^X$	2,07353
	0,75	29,4	$Y = 1/(0,02136X + 0,02255)$	2,42679
	1,00	21,3	$Y = -7,7813 \ln X + 23,8914$	2,44056
			$Y = 23,7011X^{-0,2805}$	2,61020
		$Y = 21,3274 + 3,2712/X$	2,87647	
		$Y = X/(0,0504X - 0,0070)$	6,92809	
30,0	0,25	26,2	$Y = -15,520X + 31,350$	1,25080
	0,50	24,9	$Y = 34,2156 \cdot 0,4622^X$	1,67071
	0,75	20,9	$Y = 1/(0,03946X + 0,0240)$	2,32243
	1,00	14,6	$Y = -7,6965 \ln X + 17,0954$	2,08000
			$Y = 16,8909X^{-0,3778}$	2,43006
		$Y = 15,2462 + 3,0738/X$	2,75456	
		$Y = X/0,07706X - 0,01466)$	14,32955	
45,0	0,25	20,5	$Y = -9,88X + 22,20$	0,90595
	0,50	16,7	$Y = 22,9713 \cdot 0,548^X$	0,74229
	0,75	13,6	$Y = 1/(0,0371X + 0,0411)$	0,61649
	1,00	13,3	$Y = -5,5099 \ln X + 12,7643$	0,46680
			$Y = 12,9604X^{-0,3321}$	0,41837
		$Y = 10,9128 + 2,4538/X$	0,54124	
		$Y = X/(0,0857X - 0,0104)$	1,30237	
67,5	0,25	11,0	$Y = -9,16X + 12,60$	0,64167
	0,50	7,2	$Y = 14,7580 \cdot 0,2628^X$	0,29575
	0,75	5,3	$Y = 1/(0,2108X + 0,0353)$	0,19814
	1,00	4,0	$Y = -5,0642 \ln X + 3,878$	0,12434
			$Y = 4,187X^{-0,7173}$	0,25477
		$Y = 2,1923 + 2,2477/X$	0,35420	
		$Y = X/(0,3015X - 0,0675)$	10,47012	
90,0	0,25	8,8	$Y = -7,68X + 10,30$	0,45497
	0,50	6,1	$Y = 12,344 \cdot 0,2415^X$	0,15851
	0,75	4,0	$Y = 1/(0,285X + 0,03431)$	0,40298
	1,00	3,1	$Y = -4,205 \ln X + 3,0115$	0,14887
			$Y = 3,2465X^{-0,7564}$	0,39283
		$Y = 1,6538 + 1,8461/X$	0,44678	
		$Y = X/(0,395X - 0,0919)$	13,71570	

В дальнейшем, используя численные значения коэффициентов уравнений связи (см. таблицу) и применяя аппарат двойной аппроксимации, получаем выражение для вычисления предела прочности смятию (сжатю) клееной древесины при различных соотношениях размеров штампа и площадки смятия (0,25; 0,50; 0,75; 1,00) в диапазоне углов 0...90°:

$$\sigma_{\text{сма}} = B + (-A \ln X), \quad (2)$$

где

$$B = Ne^{-n\alpha} = 47,352 e^{-0,0324\alpha};$$

$$A = M\alpha^m = 34,173\alpha^{-0,462}$$

В формуле (2) второй член учитывает увеличение предела прочности клееной древесины при уменьшении относительных размеров площадки смятия в зависимости от угла α . При $X = d/l = 1$ он равен

нулю, а выражение (2) определяет предел прочности на смятие (сжатие) по всей поверхности, при $d/l < 1$ он имеет отрицательные значения, поэтому в формуле (2) появляется знак минус.

Ранее нами [2] была апробирована степенная функция с логарифмическим показателем степени, удачно аппроксимирующая кривые изменения пределов прочности при растяжении клееной древесины под различными углами к волокнам (слоям). С учетом полученных результатов выражение (2) можно записать в виде уравнения, которое позволяет вычислять меняющиеся значения $\sigma_{см\alpha}$ при наличии данных в трех характерных точках для углов 0, 45 и 90°, т. е. строить кривые по реперным экспериментальным или взятым из справочной литературы значениям:

$$\sigma_{см\alpha} = \frac{\sigma_{см0}}{1 + \beta\alpha^n} + (-D \ln \varphi), \quad (3)$$

где $\sigma_{см0}$ — предел прочности на смятие (сжатие) клееной древесины вдоль волокон, МПа;

$$\beta = (c - b) \sigma_0 / 45^k;$$

$$k = \lg(a - b) / (c - b);$$

$$a = 1/\sigma_{90}; \quad b = 1/\sigma_0; \quad c = 1/\sigma_{45};$$

D — коэффициент, учитывающий изменение прочности в зависимости от угла α (получен после обработки экспериментальных результатов),

$$D = 100 / (0,164\alpha + 9,15);$$

φ — относительные размеры площадки смятия, $\varphi = d/l$.

Выражение (3) нами использовано для построения графических зависимостей $\sigma_{см\alpha}$ от угла α и относительных размеров штампа φ (рис. 2).

Из графиков видно, что все кривые хорошо вписываются в границы доверительного интервала, обозначенные на рис. 2 штриховкой, и область фактического рассеяния результатов эксперимента с вероятностью $p_B = 0,95$. Лишь при относительных размерах штампа, равных 0,75 и 0,50, кривые приближаются к нижней доверительной границе, что вполне допустимо.

Кратковременные значения пределов прочности могут служить основой для получения расчетных сопротивлений $R_{см\alpha}$ клееной древесины на указанные воздействия. Поэтому необходимо во вторую часть выражения (3) ввести коэффициент надежности материала, учитывающий ранее выявленный характер разрушения образцов (хрупкое разрушение при $\alpha = 0 \dots 45^\circ$, а пластичное — $45 \dots 90^\circ$). Используя исследования Ю. М. Иванова и рекомендации ЦНИИСК [5, 6], имеем уравнение для коэффициента надежности:

$$K_\alpha = K_1(t) \beta K_2 K_3,$$

где $K_1(t)$ — коэффициент длительной прочности узлов и соединений,

$$K_1(t) = B_1 - C_1 \lg t_3 = 1,84;$$

B_1 — коэффициент, учитывающий расчетный срок эксплуатации конструкции, $B_1 = 17,1 / (17,1 - \lg t_3)$;

t_3 — эквивалентное время действия максимальной нагрузки, лет, $t_3 = 0,167t$;

t — нормативный срок эксплуатации КДК в нормальных условиях ($t = 50$ лет);

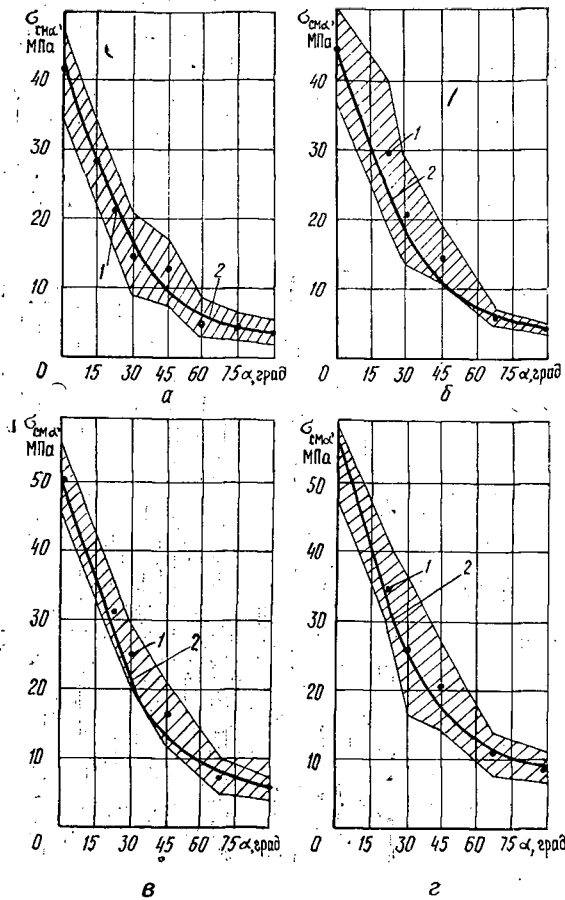


Рис. 2. Зависимость анизотропии предела прочности $\sigma_{cm \alpha}$ клееной древесины при смятии от угла наклона слоев (волокон) α для различных значений ψ : а — 1,00; б — 0,75; в — 0,50; г — 0,25; 1 — средние значения $\sigma_{cm \alpha}$; 2 — кривые, построенные по формуле (3)

$$C_1 = (B_1 - 1) / \lg t_{3\beta}$$

β — множитель, учитывающий периодичность действия расчетной нагрузки, $\beta = 0,8$;

K_2 — компонента коэффициента надежности, учитывающая разброс опытных значений несущей способности в соединении (узле), $K_2 = 1 / (1 - 1,65 \sigma)$;

σ — среднее квадратичное отклонение ($\sigma = 0,22$);

K_3 — коэффициент, зависящий от характера разрушения соединения, а также учитывающий возникновение концентрации напряжений, дополнительные и остаточные напряжения и др. При $C_{\sigma 1}^{пл} = 0,13$ и $C_{\sigma 2}^{хр} = 0,20$

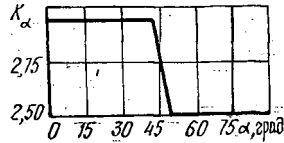
$$K_3 = 1,10 (1,00 - 1,65 C_{\sigma 1}^{пл}) / (1,00 - 1,65 C_{\sigma 2}^{хр})$$

С учетом нормального распределения прочностных показателей при доверительной вероятности $p_a = 0,95$, предельной относительной ошибке $\delta = 10\%$, $K_1(t) = 1,84$ и $\beta = 0,8$ были вычислены переменные коэффициенты для хрупкого и пластичного разрушений: $K_2^{хр} = K_2^{пл} = 1,57$; $K_3^{хр} = 1,3$ и $K_3^{пл} = 1,1$. Значения этих коэффициентов, зависящих от эмпирической дисперсии, объема выборки и распределения точек по закону χ^2 (хи-квадрат), близки к заданным в работе [5], что позволило принять их в качестве базовых.

Таким образом, принимаем следующие значения коэффициентов надежности материала для хрупкого и пластичного разрушений: $K_a^{хр} = 2,97$; $K_a^{пл} = 2,50$.

Очевидно, что при построении графических зависимостей K_α (рис. 3) в точке $\alpha = 45^\circ$ будет резкое изменение значений K_α , преодолеть которое можно путем сглаживания результатов в диапазоне $40 \dots 50^\circ$.

Рис. 3. Зависимость K_α от характера разрушения и угла α



Принимая во внимание сказанное выше, а также предполагая, что изменение расчетных сопротивлений качественно не будет отличаться от изменения кратковременных сопротивлений клееной древесины, можно преобразовать выражение (3). Для этого в первое слагаемое подставляем нормируемые значения расчетных сопротивлений [8], а во второе — коэффициент надежности. Тогда формула расчетного сопротивления, учитывающая величину прикладываемой через штамп нагрузки в зависимости от его относительных размеров и угла наклона силы по отношению к волокнам (слоям) при $0,1 \leq \psi \leq 1,0$ примет следующий вид:

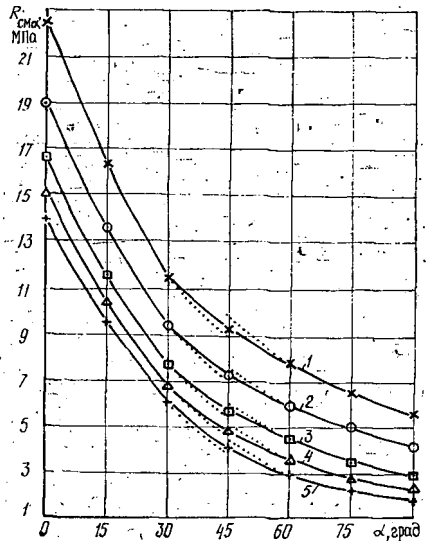
$$R_{\text{сма}} = \frac{R_0}{1 + \beta \alpha^{k_1}} + \left(-\frac{1}{K_\alpha}\right) D \ln \psi, \quad (4)$$

где R_0 — расчетное сопротивление смятию вдоль волокон, МПа;

$$\beta = (C_2 - B_2) R_0 / 45^{k_1}; \quad C_2 = 1/R_{45}; \quad B_2 = 1/R_0;$$

$$k_1 = \lg (A_2 - B_2) / (C_2 - B_2); \quad A_2 = 1/R_{90}.$$

Рис. 4. Изменение расчетных сопротивлений клееной древесины смятию под углом α к слоям (волокам) при различных значениях ψ : 1 — 0,10; 2 — 0,25; 3 — 0,50; 4 — 0,75; 5 — 1,00



На рис. 4 приведены графические зависимости $R_{\text{сма}} = f(\alpha, \psi)$, построенные для пяти вариантов загрузки при нормируемых [8] расчетных сопротивлениях клееной древесины $R_0 = 14$ МПа; $R_{90} = 1,8$ МПа; $R_{45} = 4,2$ МПа, а также показано сглаживание результатов в диапазоне углов $30 \dots 60^\circ$.

Выводы

1. Полученные результаты существенно расширяют диапазон использования прочностных характеристик и расчетных сопротивлений клееной древесины сосны при работе на местное смятие (сжатие) в за-

всймости от угла приложения нагрузки и относительных размеров штампа и могут быть использованы при подготовке новых норм.

2: Методика расчета и обработки результатов может быть использована при соответствующем обосновании для других пород древесины и условий нагружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ашкенazi Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов.— М.: Лесн. пром-сть, 1978.— 224 с. [2]. Лабудин Б. В., Орлович Р. Б., Базенков Т. Н. Сопротивление элементов клееной древесины местному смятию под углом к волокнам // Лесн. журн.— 1991.— № 3.— С. 59—63.— (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Леонтьев Н. Л. Техника статистических вычислений.— 2-е изд., испр. и доп.— М.: Лесн. пром-сть, 1966.— 250 с. [4]. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25—80) / ЦНИИСК.— М.: Стройиздат, 1986.— 216 с. [5]. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций / ЦНИИСК.— М.: Стройиздат, 1976.— 28 с. [6]. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК.— М.: Стройиздат, 1980.— 40 с. [7]. Светозарова Е. И., Серов Е. Н., Лабудин Б. В. Некоторые вопросы совершенствования клееных деревянных конструкций в процессе изготовления // Лесн. журн.— 1985.— № 2.— С. 65—68.— (Изв. высш. учеб. заведений). [8]. СНиП II-25—80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования.— Введ. 01.01.82.— М.: Стройиздат, 1982.— 65 с. [9]. Соболев Ю. С. Древесина как конструкционный материал.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 248 с.

Поступила 19 июля 1991 г.

УДК 674.09

НОРМИРОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОЧНОСТИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КЛЕЕННЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

В. В. ОГУРЦОВ

Сибирский технологический институт

Для оценки эффективности использования прочности древесины пиломатериалов клееных несущих конструкций (КНК) применяют коэффициент полезного использования прочности (КПИ), физический смысл и математическое описание которого даны в работах [2, 4].

При расчете КПИ, условно принимают, что при идеальном расположении пиломатериалов по слоям, когда прочность пиломатериалов пропорциональна расстоянию от нейтрального слоя, относительная прочность КНК, выраженная в стандартных отклонениях, равна единице. При этом используют гарантированные значения прочности КНК и показателей посортного выхода конструкционных пиломатериалов, найденные методом имитационного моделирования при различных значениях сортовых градаций L_{01} , L_{02} , относительных ошибках измерения модуля упругости E и коэффициента корреляции r между E и σ . Алгоритм модели формирования и испытания представлен в работе [4].

Целью данной работы является обоснование эффективных методов формирования многослойных несущих конструкций с обеспечением заданной их прочности.

На ЭВМ ЕС-1036 имитировали четыре типа КНК при следующих условиях: 1) без учета результатов прочностной сортировки; 2) из пиломатериалов одного прочностного сорта (однозонные); 3) при формировании наружных слоев из пиломатериалов первого сорта, а внутренних — из второго сорта (трехзонные); 4) при формировании наружных слоев балки из пиломатериалов первого сорта, промежуточные — из второго, а внутренние — из третьего сорта (пятизонные).