

специализированные технологические и другие типы программ, так как стоимость самой ЭВМ может быть в десятки, а иногда и в сотни раз меньше, чем стоимость создания программного обеспечения.

Создание и внедрение высокоэффективного оборудования зачастую сдерживается из-за отсутствия методик расчета экономической эффективности, учитывающих не только экономию труда, но и сырья. Так, проведенные нами расчеты с учетом экономии сырья показали, что высокопроизводительные линии, например для раскроя хлыстов на лесопильных предприятиях, по критерию максимального объемного выхода пиломатериалов даже при их высокой стоимости могут окупиться за срок менее года. Иными словами, именно высокопроизводительная техника лесопильного производства нового поколения может позволить выйти нам на передовые позиции в мире по уровню производительности труда на промышленных лесопильных предприятиях (~ 1 чел.-ч на 1 м³ выпускаемых пиломатериалов в транспортных пакетах) и решить проблемы создания ресурсосберегающей технологии лесопиления при окупаемости капитальных вложений в короткие сроки.

Очевидно, эффективное применение техники нового поколения требует рационального уровня концентрации и специализации лесопильных предприятий по породам, виду сырья (бревна или хлысты), размерам и качеству бревен, назначению пилопродукции, числу сечений пиломатериалов и другим технологическим параметрам.

Поставка на одно предприятие хлыстов и бревен усложняет транспортные потоки и всю его технологию и имеет целый ряд других негативных последствий. Поэтому наиболее рациональна специализация определенного предприятия или предприятий на получение сырья только в виде хлыстов. Следует учитывать, что низкий уровень специализации информационных и материальных потоков может свести на нет эффективность современного оборудования.

Интенсификация экономики является не только технологической и технической, но и психологической проблемой. Поэтому подготовка и переподготовка инженерно-технических кадров на базе старых методов расчета технологических и производственных процессов лесопиления не дадут положительных результатов. Необходимо создать специальные учебные курсы с широким использованием имитационных и других моделей на ЭВМ и специализацию инженеров-технологов по лесопилению не позже чем с 3-го курса.

Поступила 10 июля 1986 г.

УДК 624.011 : 674.028.9.002.237

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КЛЕЕННЫХ БАЛОК В ЗОНЕ НАБЛЮДАЕМОГО РАЗРУШЕНИЯ

Е. Н. СЕРОВ

Ленинградский инженерно-строительный институт

Теоретические исследования по анизотропии древесины, изложенные в трудах Е. К. Ашкенази, А. Н. Митинского, А. А. Рабиновича, Ю. С. Соболева, Б. Н. Уголева и др., создали базу для разработки уточненных инженерных методов расчета конструкций, в том числе и новых — клееных. Однако простое сравнение максимальных краевых $\sigma_{x, max}$ и касательных $\tau_{xy, max}$ напряжений с соответствующими расчетными со-

противлениями клееной древесины иногда не дает верного представления о характере работы клееных деревянных конструкций (КДК) и не объясняет причин их разрушения. Последнее относится и к клееным балкам, особенно высоким [3].

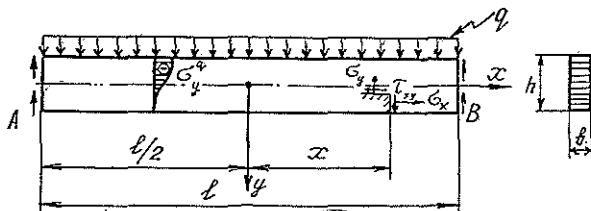


Рис. 1. Расчетная схема балки.

Фундаментальными исследованиями С. Г. Лехницкого доказано, что в случае совпадения продольной оси элемента с осью симметрии материала при чистом изгибе напряженное состояние анизотропной балки тождественно с состоянием изотропной, так как в этом случае все коэффициенты Ченцова превращаются в нули. В балке, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой q , влияние анизотропии сказывается только при определении σ_x . В транслопной клееной балке постоянной высоты (рис. 1) компоненты тензора напряжений в форме, удобной для сравнения с точным решением в изотропной постановке, определяются по уравнениям:

$$\sigma_x^q = \frac{q}{2I} \left(\frac{l^2}{4} - x^2 \right) y + \frac{q}{2I} \left(\frac{2y^3}{3} - \frac{h^2 y}{10} \right) \left(\frac{E_0}{2G_0} - \mu_0 \right); \quad (1)$$

$$\sigma_y^q = \frac{q}{2I} \left(\frac{h^2 y}{4} - \frac{h^3}{12} - \frac{y^3}{3} \right); \quad (2)$$

$$\tau_{xy}^q = -\frac{qx}{2I} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right). \quad (3)$$

В формулах (1)–(3) обозначено:

E_0 — модуль упругости вдоль волокон;

G_0 — модуль сдвига в плоскостях, параллельных волокнам;

μ_0 — коэффициент Пуассона при силовых воздействиях вдоль волокон.

В формуле (1) первое слагаемое — напряжения, определяемые по элементарной теории, второе слагаемое — поправка, вводимая точным решением изотропной балки и умноженная на величину, которая вносится упругими характеристиками древесины. Назовем ее коэффициентом анизотропии

$$K_a = \frac{E_0}{2G_0} - \mu_0. \quad (4)$$

Для конкретной древесины K_a колеблется от 8 до 12, поэтому второе слагаемое в целом изменяется в зависимости от отношения l/h . Расчеты балок со значениями l/h в диапазоне новых типовых клееных конструкций, выполненные на ЭВМ, показали, что давление между волокнами анизотропного материала изменяет величину $\sigma_{x, \max}$ в пределах от 1 до 3% (см. табл. 1).

Ближе к нейтральному слою значения $\Delta\sigma_x$ уменьшаются до нуля. Следовательно, влиянием упругих характеристик анизотропии древесины на величину возникающих напряжений в реальных балках в первом

Таблица 1

l/h	9,0	9,6	10,1	11,8	12,0	12,2	14,0	15,9	17,6
$\Delta\delta_x, \%$	3,12	2,68	2,40	1,80	1,72	1,66	1,28	0,99	0,73

приближении можно пренебречь. И напротив, прочность древесины в зависимости от ориентации напряжений к направлению волокон изменяется более чем на порядок. Это обязывает ставить на первый план учет анизотропии прочности материалов при проектировании КДК.

Расчеты балок различными методами, в том числе и по выбранному нами критерию [4], позволили рассматривать плоское напряженное состояние при проверке их прочности в различных направлениях*.

В низких балках (в том числе из цельной древесины) величины главных напряжений в диапазоне всей тензориальной кривой имели максимальное приближение именно к прочности древесины вдоль волокон. Опорные давления в силу их малости, по сравнению, например, с реакциями в высоких балках, не приводили к опасным сочетаниям напряжений.

Напротив, в высоких балках главные напряжения σ_1 превосходили расчетные сопротивления клееной древесины под углом к волокнам R_α прежде всего в приопорных зонах. Наибольшие превышения σ_1 над R_α наблюдались в окрестностях нейтрального слоя на расстоянии $0,6 \dots 1,8$ высоты балки h от опорного сечения. Малый градиент σ_1 создает здесь практически однородное опасное напряженное состояние. Далее по длине балки опасные напряжения под углом к волокнам σ_α располагаются по синусоидальной кривой, проходящей от центра опорного сечения до растянутой кромки балки в середине ее пролета.

Наряду с этим в приопорной зоне высоких балок на напряженное состояние сечений заметно влияют возросшие величины опорного давления A . Компоненты главного напряжения от A приближенно определяют по формулам (5) — (8) [5]

$$\sigma_x^A = - \frac{2A \sin^2 \theta \cos^2 \theta}{\pi b (0,5h - y)} ; \quad (5)$$

$$\sigma_y = - \frac{2A \cos^4 \theta}{\pi b (0,5h - y)} ; \quad (6)$$

$$\tau_{xy}^A = - \frac{2A \sin \theta \cos^3 \theta}{\pi b (0,5h - y)} , \quad (7)$$

где
$$\theta = \arctg \frac{x_1}{0,5h - y} . \quad (8)$$

В формуле (8) x_1 — абсцисса рассматриваемой точки от сечения, проходящего через середину опорной площадки.

Если σ_x^A пренебрежимо малы по сравнению с прочностью материала вдоль волокон, то τ_{xy}^A и σ_y^A ближе к прочностным характеристикам древесины в указанных направлениях. Кроме того, от τ_{xy} в значительной степени зависит направление σ_1 . Напряжения σ_y становятся наиболее опасными при растяжении древесины поперек волокон $\sigma_{y,+}^A$. Формула (6) не учитывает возникновения напряжений $\sigma_{y,+}^A$. Известно [5], что от сосредоточенных сил P сжимающие напряжения $\sigma_{y,-}^A$ с увеличением расстояния от линии действия силы x_1 быстро уменьшаются и сменяются на растягивающие (отрывающие). Об их наличии в

* Здесь не рассматриваются причины разрушения по зубчато-шиповому соединению. Они приведены в работе [2].

приопорных зонах и опасности свидетельствует также появление трещин в торцевых частях у опор конструкций даже из цельной древесины. Касательные и отрывающие напряжения в элементах КДК с увеличением пролетов последних, а следовательно, и опорных реакций, получили существенное возрастание. Итак, при проверке прочности конструкций из сильно анизотропных материалов необходимо учитывать местные σ_y и τ_{xy} .

Расчеты клееных балок на ЭВМ и экспериментальные исследования выявили возникновение отрывающих напряжений именно в приопорной зоне конструкций. Опасные сочетания напряжений чаще всего имели место в окрестностях нейтрального слоя указанной зоны в интервале $0,7 \dots 1,6 h$. Наибольшие ординаты отрывающих напряжений наблюдались в пределах $0,8 \dots 1,1 h$, что удовлетворительно согласуется с решением в изотропной постановке. Ниже нейтрального слоя зона возникновения напряжений $\sigma_{y,+}^A$ смещается к линии действия сосредоточенной силы, а в сжатой зоне балки, наоборот, смещается от этой линии, вытягиваясь вдоль оси x (рис. 2).

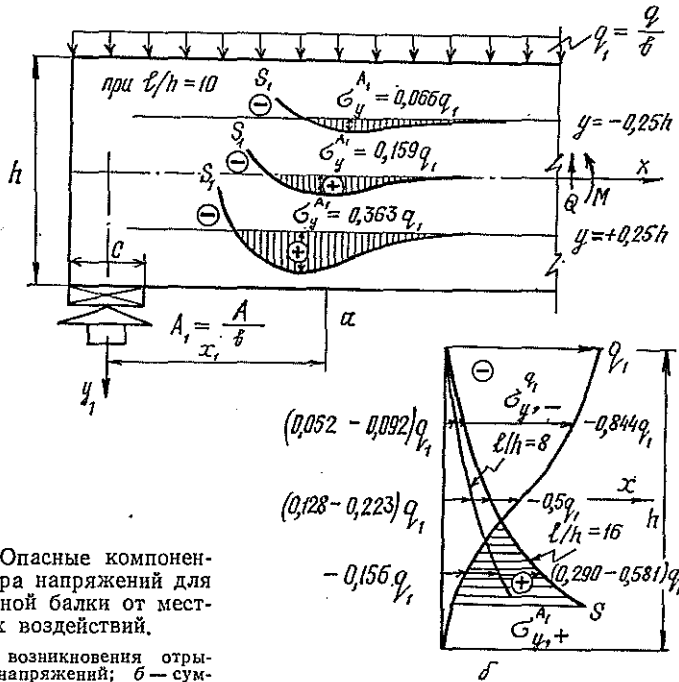


Рис. 2. Опасные компоненты тензора напряжений для ортотропной балки от местных воздействий.

a — зоны возникновения отрывающих напряжений; b — суммирование местных напряжений, сжимающих и растягивающих древесину поперек волокон.

Суммирование сжимающих напряжений $\sigma_{y,-}^q$ с растягивающими $\sigma_{y,+}^A$ (на единицу ширины сечения b) показывает, что граница перехода от сжатия поперек волокон к растяжению не доходит до нейтрального слоя на $0,1 \dots 0,2 h_0$.

Координаты точек пересечения кривых $\sigma_{y,-}^q$ и $\sigma_{y,+}^A$ для балок с различными отношениями l/h_0 можно определить по приближенным формулам (9) и табл. 2

$$x_1 = 0,5 \left[\frac{c + h_0(l - c)}{h_0 + 0,6(l - c)} \right]; \quad y = Kh_0, \quad (9)$$

где c — размер опорной площадки вдоль балки.

Таблица 2

l/h_0	8	10	12	14	16
K	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09

Группирование геометрического места опасных точек в окрестностях нейтрального слоя упрощает задачу инженерного расчета, так как здесь и значения напряжений $\sigma_{y,+}^A$, и их местоположение практически идентичны с изотропной балкой. Главные напряжения действуют под углом, близким к 45° . Рассмотрение плоского напряженного состояния упрощается еще и потому, что диагональное направление, как показали наши исследования, является квазисимметричным. Иными словами, главные деформации в этом направлении коаксиальны с главными напряжениями, как это имеет место в направлениях осей симметрии древесины. Последнее делает тождественными расчеты балок как по первой, так и по второй теориям прочности.

Абстрагируясь от зоны контакта и области действия сжимающих местных напряжений и рассматривая зону наблюдаемых разрушений, можно предложить аппарат проверки прочности приопорных зон клееных балок с использованием первой теории прочности

$$\sigma_1 = 0,5 \left[\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right] \leq R_{p,\alpha} m_{cl} m_b. \quad (10)$$

Здесь σ_x , σ_y , τ_{xy} — суммарные напряжения, состоящие из полученных по элементарной теории и местных возмущений от сосредоточенных сил;

$R_{p,\alpha}$ — расчетное сопротивление клееной древесины под углом α к волокнам

$$\alpha = 0,5 \operatorname{arctg} \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}. \quad (11)$$

Локальные отрывающие напряжения от действия сосредоточенных сил определяются из выражения

$$\sigma_{y,+}^P = \frac{PS}{b}, \quad (12)$$

где S — числовой коэффициент, зависящий от положения точки, для которой вычисляют местное напряжение.

В интервале примерно по $0,25 h$ от нейтральной оси кривую величин S удовлетворительно аппроксимируют выражением

$$S = \frac{1}{h} (0,016l + 10y^3 + y^2). \quad (13)$$

Знак y в уравнении (13) зависит от направления P . Для силы, приложенной снизу (опорное давление), знаки y положительны и соответствуют показанным на рис. 1; для P , действующей сверху вниз (сосредоточенная сила на верхней кромке балки), знаки меняются на обратные.

Предложенный подход позволяет оценить прочность зоны наблюдаемого разрушения клееных балок, нагруженных как равномерно распределенными, так и сосредоточенными нагрузками. Рассмотрение таких балок даже при малом значении P (прогоны) выявило дополнительную особенность их напряженного состояния. В промежутке между сечениями опорным и проходящим под первым прогоном отрывающие напряжения действуют по всей высоте сечения и, в зависимости от шага прогонов и высоты сечения балки, могут суммироваться (рис. 3). На

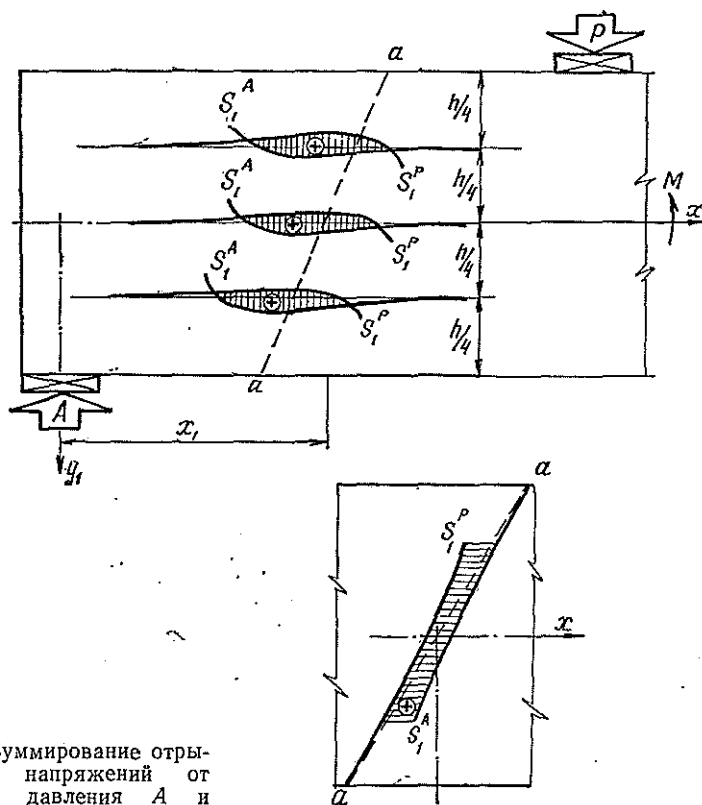


Рис. 3. Суммирование отрывающих напряжений от опорного давления A и сосредоточенной силы P .

практике возникают подобные ситуации как при эксплуатационных нагрузках, так и во время испытаний.

Например, балка (сечением 30×160 мм, длиной 1200 мм), испытываемая двумя сосредоточенными силами P на расстоянии по 300 мм от опор разрушилась от скалывания по нейтральному слою при $P = 17,92$ кН [1].

Вычисленные по элементарной теории максимальные напряжения $\sigma_x = 42$ МПа, $\tau_{xy} = 5,6$ МПа. Превышения их над расчетными сопротивлениями древесины II сорта составляют

$$K_{\sigma_x} = \frac{42}{13} = 3,23; \quad K_{\tau_{xy}} = \frac{5,6}{1,6} = 3,5.$$

При оценке плоского напряженного состояния нейтрального слоя без учета $\sigma_{y,+}^A + P$ перенапряжения

$$K_{\sigma_1} = \frac{5,6}{1,2} = 4,67,$$

что больше $K_{\tau_{max}}$ на 33,4 %; ($R_{p,\alpha=45^\circ} = 1,2$ МПа).

С учетом местных напряжений

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 0; \quad \sigma_{y,+}^A + P = 0,211 \text{ МПа}; \\ \sigma_1 &= 5,71 \text{ МПа}; \quad \alpha = 45,54^\circ; \quad R_{p,\alpha} = 1,13 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

тогда

$$K_{\sigma_1} = \frac{5,71}{1,13} = 5,05,$$

что больше $K_{\tau_{max}}$ на 44,3 %.

Напряженное состояние на уровне $0,25h$ в растянутой зоне балки более благоприятное, здесь $K_{\sigma_1} = 1,42 \ll 5,05$.

Данные расчета раскрывают причину возникновения трещин в испытываемых элементах по геометрическому месту точек, где главные напряжения превышали прочность древесины под углом примерно в 5 раз, тогда как максимальные σ_x и τ_{xy} — в 3,2... 3,5 раза.

Особенно тщательную проверку следует выполнять в балках при подвижных нагрузках (пролетные строения мостов, подкрановые балки и др.). Здесь самое опасное положение груза — на расстоянии около $1,6h$ от опоры (на нейтральном слое суммируется наибольшая S). Однозначные ответы на все возникающие вопросы пока дать затруднительно, однако уже в первом предположении ясно, что учет местных напряжений, особенно действующих по площадкам с минимальной прочностью древесины, — один из путей совершенствования расчетов КДК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Кабанов В. А. Влияние температурно-влажностных воздействий на прочность и выносливость клеевых соединений деревянных балок: Дис. . . канд. техн. наук. — Воронеж, 1983, — 265 с. [2]. Попов В. Д., Серов Е. Н., Корзон С. А. Инженерный расчет зубчатого стыка. — Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1983, № 3, с. 74—78. [3]. Светозарова Е. И. О напряжениях в клеенощитых балках увеличенной высоты. — В кн.: Конструкции из клееной древесины и пластмасс. Л.: ЛИСИ, 1978, с. 10—15. [4]. Серов Е. Н., Хапин А. В. Выбор критерия прочности для клееной древесины изгибаемых и сжато-изгибаемых элементов конструкций. — Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1984, № 1, с. 72—76. [5]. Тимошенко С. П., Гудьер Д. ж. Теория упругости. — М.: Наука, 1979. — 560 с.

Поступила 5 июля 1985 г.

УДК 630*848.7

РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МНОГОСТАНОЧНЫХ ПОТОКОВ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ

А. С. ФЕДОРЕНЧИК, Н. Ф. КОВАЛЕВ

Белорусский технологический институт

Комплексная механизация и автоматизация производственных процессов потребовала применения дорогостоящего оборудования в технологических потоках нижних складов и деревообрабатывающих цехов. Потоки, отличаясь характером связей между машинами и установками, объединены в различные классы с жесткой, гибкой и комбинированной связями. Многолетний опыт эксплуатации таких потоков указывает на недостаточное их использование. Одна из причин, приводящих к уменьшению выработки, — отсутствие инженерно доступной методики расчета и проектирования потоков, которая бы в реальных условиях леспромов (при изменении сортиментной программы, некомплектной поставке техники, различной надежности машин и т. д.) позволяла выявить и ликвидировать узкие места.

Нами на основании методов теории массового обслуживания, надежности и вероятности, с учетом ранее выполненных исследований [1, 2], разработаны теоретические положения и получены аналитические зависимости, позволяющие определять пропускную способность потоков с буферными емкостями транзитного (БТР) и тупикового (БТТ) типов (см. рис.). Принято, что в процессе эксплуатации через БТР проходит весь объем заготовок; БТТ вступает в действие только тогда, когда