

A. A. Shadrin, A. V. Makarënko

Development of Mathematical Model for Technological Process of Joint Raw Material Processing from Final Felling and Intermediate Cutting

A simulation mathematical model is developed combining the main factors affecting the technological process of timber processing - size-and-quality characteristics of raw material, sawn timber requirements, equipment productivity of and other. The criteria for optimizing the raw material treatment are defined.

УДК 624.01.1:674

Е. Н. Серов

Серов Евгений Николаевич родился в 1934 г., окончил в 1963 г. Ленинградский инженерно-строительный институт, доктор технических наук, профессор кафедры конструкций из дерева и пластмасс С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет более 100 научных работ в области прочности клееной древесины как анизотропного материала.



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КЛЕЕННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Обосновано применение уточненного критерия, учитывающего прочность клееной древесины при растяжении по наклонным площадкам и поперек волокон (слоев).

Началом использования современных клееных деревянных конструкций (КДК) можно считать 1907 г., когда были получены патенты на синтетическую смолу (Бакулэндом) и клееную древесину (Гетцером), хотя известны и более ранние сооружения на животных клеях в Англии и Швейцарии.

Со второй половины XX века КДК стали широко применять, особенно при возведении большепролетных зданий. Массовое производство КДК было налажено не только в лесобеспеченных странах. Так, лесодефицитная Германия, импортирующая более 80 % лесоматериалов, к 1982 г. производила их в 5 раз больше, чем бывший СССР.

Это объясняется тем, что изделия из КДК обладают высокой прочностью, химической нейтральностью и огнестойкостью. К тому же древесина представляет собой возобновляемое сырье. Энергоемкость производства пиломатериалов в 4 – 126 раз меньше, чем других материалов, используемых для несущих конструкций.

Склеивание древесины приводит к нетрадиционным средствам связи, несвойственным для конструкций из цельной древесины (ДК).

Напряженно-деформированное состояние (НДС) КДК также изменяется по сравнению с ДК, так как клееной древесине свойственна повышенная степень анизотропии. Прочность ее вдоль волокон возрастает за счет вырезания крупных пороков из отдельных слоев в клееном многослойном пакете. Прочность поперек волокон, наоборот, уменьшается вследствие неизбежного наличия кососрезанных волокон в каждом слое и склеивания ламелей по этим скосам, а в зоне сучков – практически поперек волокон.

Доказано, что с течением времени степень анизотропии древесины увеличивается [6, 9]. Необходимые расчетные характеристики для оценки НДС принимают по данным [7], а также по другим исследованиям [13].

Устоявшиеся и апробированные длительной практикой методы конструирования и расчета ДК при переносе без корректировки на КДК во многих случаях оказываются не пригодными, не соответствующими возможностям и особенностям работы клееной древесины [7, 13].

Опыт массового использования КДК показал, что в некоторых из них при эксплуатационных нагрузках возникают существенные дефекты и повреждения, приводящие в итоге к отказам – авариям (разрушению).

Наблюдаемое макроразрушение связывают с широким диапазоном причин: применение некачественных клеев, различные технологические недостатки, режимы эксплуатации и др. Реже анализируется конкретное конструктивное решение его действительным НДС.

Отказы КДК пытаются объяснить наличием точек с большими, чем в расчетных сечениях, напряжениями [8], накоплением повреждений в узких активных зонах с высоким уровнем напряжений у кромок [4].

Объяснение возникновения в КДК магистральных трещин от действия только касательных напряжений дало повод сначала для введения в нормы коэффициента 0,6 при расчете сопротивления клееной древесины скальванию, а затем существенного его уменьшения. Это не вскрыло сущности явления, а завуалировало его.

Экспериментальные исследования и диагностика различных типов натуральных КДК показали, что очаги первых признаков разрушения возникают часто вне зон, проверяемых расчетом по максимальным напряжениям, т. е. условие

$$\sigma_i / R_i m_i \leq 1 \quad (1)$$

оказывается недостаточным.

Здесь σ_i – максимальное (нормальное, касательное) напряжение, выделенное из плоского НДС;

R_i – соответствующее расчетное сопротивление (в некоторых странах допускаемое напряжение $[\sigma_i]$);

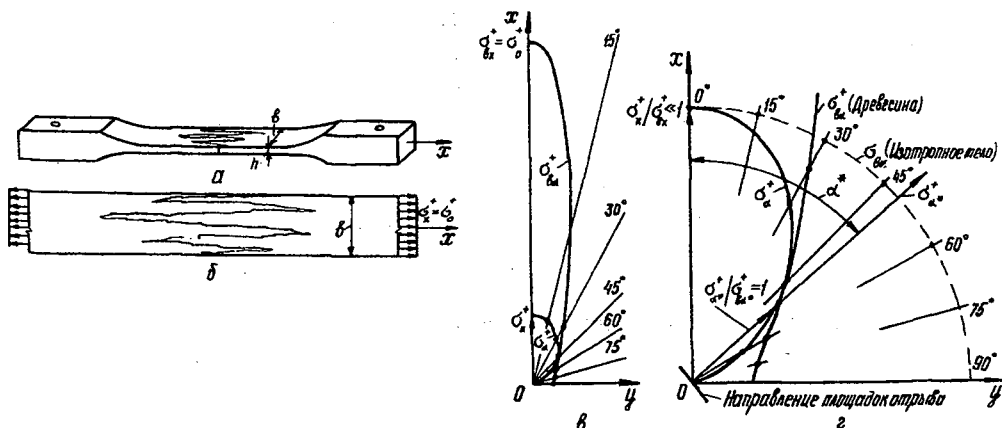
m_i – совокупность коэффициентов условий работы, геометрии сечения, толщины слоев и др.

Нашими исследованиями доказана необходимость дополнительной оценки прочности КДК по категориям, учитывающим все компоненты плоского, а иногда и объемного НДС.

Оценку осуществляют не в тех сечениях, где σ_i максимально, а в тех зонах, где меньшие по величине приведенные напряжения σ_α больше приближены к границе прочного сопротивления материала, что опаснее максимальных. Эта особенность очень анизотропного материала проявляется при испытании даже стандартных образцов древесины [1, 2, 5, 12].

Здоровая (чистая) древесина, например, при растяжении вдоль волокон никогда не разрушается по площадкам, перпендикулярным к направлению усилий: отрыв происходит не по поперечному сечению, как в металле, а по серии зацепистых наклонно расположенных в рабочей зоне трещин (см. рисунок а, б).

Картина наблюдаемого отрыва убеждает, что предельное состояние под углом к волокнам ($\sigma_\alpha^+ / \sigma_{\alpha\alpha}^+ = 1$) наступает значительно раньше, чем вдоль волокон ($\sigma_0^+ / \sigma_{00}^+ \ll 1$). Это легко видно на образце, а также при совмещении эпюр действующих приведенных напряжений σ_α^+ и временных сопротивлений древесины $\sigma_{\alpha\alpha}^+$ в полярных координатах (см. рисунок в, г).



Одноосное растяжение чистой древесины сосны вдоль волокон: а – общий вид образца, имеющего разрушения в рабочей зоне с зацепистыми берегами трещин под углом к направлению волокон X ($\sigma_{\alpha\alpha}^+ \gg \sigma_{\alpha\alpha}^+$; $R_0^+ \gg R_{\alpha\alpha}^+$); б – фрагмент образца в области отрыва; в – полярные диаграммы действующих напряжений σ_α^+ при $\sigma_x^+ = 103,5$ МПа по [1] и предполагаемых временных сопротивлений древесины $\sigma_{\alpha\alpha}^+$ при $\sigma_{\alpha\alpha}^+ \approx 515...520$ МПа; г – фрагмент полярных диаграмм $\sigma_x^+ - \sigma_\alpha^+$ и $\sigma_{\alpha\alpha}^+$ (пунктирная линия – $\sigma_{\alpha\alpha}^+$ изотропного тела, $\sigma_{\max}^+ / \sigma_{\alpha\alpha}^+ = 1$; сплошная – $\sigma_{\alpha\alpha}^+$, σ_α^+ древесины, $\sigma_{\max}^+ / \sigma_{\alpha\alpha}^+ \ll 1$; $\sigma_{\alpha\alpha}^+ / \sigma_{\alpha\alpha}^+ = 1$)

Естественно, что в КДК типа балок, арок и рам при плоском НДС приведенные напряжения, максимально приближающиеся к кривой σ_{α}^+ древесины, будут действовать под углом к направлению волокон [7, 13].

Единого общепризнанного критерия оценки плоского НДС КДК в мировой практике пока не существует. В США и Германии для отдельных проверок используют критерий Норриса

$$\Sigma (\sigma_i^2 / [\sigma_i]^2) \leq 1, \quad (2)$$

где $[\sigma_i]$ – допускаемые напряжения, соответствующие действующим σ_i .

Критерий Норриса предполагает рассмотрение площадки в главных осях анизотропии материалов, что приводит к ошибочным результатам [3]. В наши нормы [10] уже включен критерий, основанный на первой классической теории разрушения. Он рассматривает приведенные напряжения на наклонных площадках, хорошо согласуется с результатами экспериментально-теоретических исследований и имеет вид

$$\sigma_{\alpha} / R_{\alpha} m_i \leq 1. \quad (3)$$

Однако это воззрение, которое связывает несущую способность КДК не столько с максимальными напряжениями, сколько с относительной величиной критерия (3) в направлениях сильно уменьшенной прочности материала, еще не вполне используется специалистами при оценке предельного состояния конструкций.

В критериальной оценке КДК по (3) весьма опасны даже незначительные σ_y^+ , растягивающие древесину поперек волокон, но не учитываемые по действующим отечественным и зарубежным нормам. Они возникают в различных подрезках, местах локального приложения сосредоточенных сил P и других случаях. Например, в стойках рам на подветренной стороне здания при дискретном креплении ограждающих конструкций возникает простое, хотя и незначительное, растяжение поперек волокон.

В балках [11] при действии сосредоточенных грузов и опорных реакций за пределами «прижима» на расстоянии от линий действия силы P при $x = h (1 \pm 0,15)$ в диапазоне $y = \pm 0,25 h$ от «нейтрального» слоя наибольшие «всплески» отрывающих напряжений определяются по формуле

$$\sigma_y^+ \approx 2 P \eta_p / bh; \quad (4)$$

где η_p – ордината положительной части эпюры нормальных напряжений от единичной сжимающей сосредоточенной силы,

$$\eta_p \approx (y/h)^3 + 0,1(y/h)^2 + 0,016. \quad (5)$$

Пробное явление возникает в трехшарнирных рамах и арках от распора. В рамах типа «бумеранг» (ДГР) с подрезками в ригеле (серия 1.822–1, вып. 1 и 2) возникают дополнительные касательные $\Delta\tau_{xy}$ и нормальные σ_y^+ напряжения:

$$\Delta\tau_{xy} = \sigma_x \operatorname{tg} \alpha_n; \quad \sigma_y^+ = \sigma_x \operatorname{tg}^2 \alpha_n, \quad (6)$$

где α_n – угол между направлениями волокон древесины и линией подрезки.

Эксцентриситет e при передаче нормальных сил N в сжато-изгибаемых элементах сопряжено с $\Delta\tau$ и σ_y^+ , которые с увеличением пролетов, например арок типа МДА, также приводили НДС элементов по критерию (3) в запредельное состояние. При этом

$$\Delta\tau_{\max} = 0,75 Ne/bh^2. \quad (7)$$

В криволинейных участках КДК при изгибе, уменьшающем кривизну элемента, радиальные напряжения σ_r^+ часто превосходят возможности клееной древесины при растяжении поперек волокон. Расчет кривых брусьев по формуле Навье, заложенный в отечественные и зарубежные нормы, позволяет определить тангенциальные σ_θ и радиальные σ_r напряжения только в двух точках сечения. По нашему убеждению, при расчете следует использовать формулы, отвечающие физической сущности работы кривых брусьев:

$$\sigma_{\theta i} = M(r_0 - r_i)/Fy_0r_i; \quad (8)$$

$$\sigma_{r i} = M[\ln(r_i - r_0) + r_0(r_i - r_1)/r_i r_1], \quad (9)$$

где r_0, r_1, r_i – соответственно радиусы кривизны «нейтрального слоя», ближайшей к центру кривизны кромки и рассматриваемой фибры;

y_0 – расстояние от центра тяжести сечения до нейтрального слоя.

Объем статьи не позволяет раскрыть другие белые пятна в современных нормах проектирования КДК.

Некоторые предложения уже переданы в ЦНИИСК и частично изложены в первой части пособия [14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашкенази Е.К. Опыт применения первой классической гипотезы к оценке прочности древесины при сложных напряженных состояниях // Техн. информ. по результатам научно-исследовательских работ. – Л.: ЛТА, 1954. – № 15. – С. 27–32.
2. Белянкин Ф.П. Прочность древесины при скалывании вдоль волокон. – К.: АН УССР, 1955. – 140 с.
3. Белянкин Ф.П., Яценко В.Ф., Марголин Г.Г. Прочность и деформативность стеклопластиков при двухосном сжатии. – К.: Наук. думка, 1971. – 153 с.
4. Иванов Ю.М. Влияние размеров элементов на прочность конструкций при изгибе // Лесн. журн. – 1994. – № 1. – С. 62–65. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Иванов Ю.М. К вопросу исследования складки разрушения древесины при сжатии вдоль волокон // Тр. Ин-та леса. – М.: АН СССР, 1953. – Т. IX. – С. 115–120.
6. Иванов Ю.М., Славик Ю.Ю. Длительная прочность древесины при растяжении поперек волокон // Строительство и архитектура. – 1986. – № 10. – С. 22–26. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Исследование прочности клееной древесины при работе под различными углами к волокнам / Б.В. Лабудин, Е.Н. Серов, Ю.А. Варфоломеев, В.А. Катаев // Лесн. журн. – 1990. – № 6. – С. 61–64. – (Изв. высш. учебных заведений).

8. *Клименко В.З., Рудник Т.С.* Расчет конструкций из клееной древесины на ЭВМ с учетом сложного напряженного состояния материала // Расчет и компьютерное проектирование деревянных конструкций: Материалы семинара. – Владимир – Суздаль, 1991. – С. 9–10.

9. *Орлович Р.Б.* Длительная прочность и деформативность конструкций из современных материалов при основных эксплуатационных воздействиях: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Брест, 1990. – 21 с.

10. Пособие по проектированию деревянных конструкций (К СНИП II-25–80) / ЦНИИСК. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.

11. *Серов Е.Н.* Анализ напряженного состояния клееных балок в зоне наблюдаемого разрушения // Лесн. журн. – 1986. – № 6. – С. 55–61. – (Изв. высш. учеб. заведений).

12. *Серов Е.Н.* Особенности разрушения стандартных образцов и их связь с работой конструкций // Лесн. журн. – 1994. – № 1. – С. 75–79. – (Изв. высш. учеб. заведений).

13. *Серов Е.Н.* Рациональное использование анизотропии прочности материалов в клееных деревянных конструкциях массового изготовления: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Л., 1988. – 21 с.

14. *Серов Е.Н., Санников Ю.Д.* Проектирование клееных деревянных конструкций: Учеб. пособие. Ч. 1. Проектирование балок и стоек каркасных зданий. – СПб ГАСИ, 1995. – 140 с.

С.-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

Поступила 10.03.2000 г.

E.N. Serov

Improving the Design Rules for Glued Laminated Structures

The use of adjusted criterion is substantiated that takes into account the strength of glued laminated timber (beams, arches and frames) extended along the inclined areas and across grain (layers).
