

Рис. 2. Зависимости и некоторые частные примеры определения направления магистральной.

a — зависимость комплексного коэффициента A от срока действия магистральной в данной полосе лесного массива; $1 - Q_r = 450$ тыс. м³; $2 - Q_r = 300$ тыс. м³; $3 - Q_r = 150$ тыс. м³; *b* — зависимость предельного значения координаты $x_{пр}$ точки B от ширины полосы; $1 - A = 1,75 \times 10^{-5}$; $2 - A = 3,5 \cdot 10^{-5}$; $3 - A = 7,0 \cdot 10^{-5}$; *в* — пример назначения направления магистральной при ширине полос *в тах*, определяемой по формуле (10); *г* — возможный вариант направления магистральной $OAB'C$ с ответвлением AD для лесных массивов со сложной конфигурацией границ и весьма неравномерным размещением запасов леса.

На рис. 2, *a* представлена зависимость $A = f(n)$ для лесовозной дороги с гравийной дорожной одеждой при $C_m = 30\,000$ р.; $k_m = 0,05$ р./м³ · км; $k_b = 0,09$ р./м³ · км; а на рис. 2, *б* — зависимость $x_{пр} = f(b)$ для трех пространственных значений A .

С учетом того, что при размещении веток в лесном массиве эксплуатационная площадь последнего разделяется на отдельные зоны тяготения к веткам, ширину каждой полосы целесообразно принимать равной оптимальному расстоянию между ветками у мест их примыкания к магистральной. Таким образом,

$$b = \sqrt{\frac{C_b - C_{ус}}{30\gamma b_{ус}}}, \quad (9)$$

где C_b — стоимость постройки и содержания (за срок службы) 1 км головного участка ветки, р./км;

$C_{ус}$ — стоимость постройки и содержания 1 км уса, р./км;

$b_{ус}$ — стоимость пробега леса по усу, р./м³ · км).

Из формулы (7) и рис. 2, *б* видно, что координата $x_{пр} = 0$ при

и

$$q = \min \{q\}.$$

Оптимальный информационный граф содержит только вершины x_p, x_q, x_r, x_s, x_t , соединенные дугами $u_{pq}, u_{qr}, u_{rs}, u_{st}$.

Применение предлагаемого алгоритма для решения задачи упорядочения потоков большой размерности реально только на современных ЭВМ. На рис. 2 приведен фрагмент информационного графа, полученного в результате решения на ЭВМ ЕС-1022 задачи упорядочения потоков информации о сырье, пиломатериалах и простоях оборудования СЛДК.

Сопоставление схемы потока до и после упорядочения показало, что общее количество сообщений, документов сократилось на 41 % при полном сохранении полезной информации на всех уровнях управления. Так, например, отсутствующие на рис. 2 вершины $x_{124}, x_{125}, x_{126}$ соответствуют документам «Журнал распила сырья в лесоцехе», «Журнал для разноса бревен по диаметрам», «Спецификация распиленных бревен», которые содержат ту же информацию, что и документ «Справка о распиле сырья в лесоцехе» (x_{95}).

Организация информационных потоков в соответствии с оптимальным информационным графом возможна лишь при условии концентрации функций формирования всех выходных сообщений в специализированной системе обработки данных.

Упорядочение потоков информации оказывает большое влияние на повышение качества функционирования системы управления при любом уровне ее оснащения техническими средствами. При традиционных, неавтоматизированных формах обеспечивается значительное снижение загрузки управленческого персонала заполнением различных дублирующих документов. Применение ЭВМ предполагает строгую формализацию входной информации и процедур ее обработки, поэтому упорядочение потоков информации является предпосылкой создания АСУ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Зингер И. С., Садовников В. И., Семенов А. И. Производство, информация, управление.— М.: Наука, 1976. [2]. Оре О. Теория графов: Пер. с англ./ Под ред. Н. Н. Воробьева.— М.: Наука, 1980. [3]. Садовников В. И., Эпштейн В. Л. Потоки информации в системах управления.— М.: Энергия, 1974.

Поступила 6 марта 1984 г.

УДК 624.011.1 : 674.028.9 : 002.273

УТОЧНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ДОЩАТОКЛЕЕННЫХ РАМ С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ УЧАСТКАМИ

Е. Н. СЕРОВ, С. Ю. ТАБУНОВ

Ленинградский инженерно-строительный институт
Вологодский политехнический институт

Один из наиболее удачных типов клееных деревянных конструкций (КДК) для каркасных зданий — дощатоклееные рамы. Результаты натурных обследований и испытаний этих конструкций показали, что у различных типов клееных рам разные коэффициенты безопасности. Видимо, создавшееся положение требует более достоверных методов проверки их прочности.

По существующей методике, геометрическая нелинейность рам (т. е. влияние дополнительного момента от нормальной силы, действующей на деформированный элемент) учитывается коэффициентом ξ . Вывод этого коэффициента основан на решении дифференциального уравнения при синусоидальной форме изгиба прямолинейного шарнира опертого сжато-изогнутого стержня.

Ранее [1, 2] доказана некорректность подобного учета геометрической нелинейности. Современные клееные рамы состоят из Г-образных блоков с жестким сопряжением ригеля и стоек в карнизном узле. Форма изгиба их не может быть описана одним уравнением, тем более синусоидальной кривой.

Исследование влияния геометрической нелинейности в дощатоклееных рамах с прямолинейными участками [2, 5, 6] убедительно показали, что при высоте сечения карнизного узла не менее $1/30$ от пролета увеличение максимального изгибающего момента M_{max} , по сравнению с расчетом по недеформированной схеме, не превышало 2—5%. При расчетах же по существующей методике, значения M_{max} возрастали на 10—20%. Учитывая это, можно рекомендовать рассчитывать клееные рамы при $h_{max} \geq 1/30 L$, не принимая во внимание деформированное состояние. Лишь в большепролетных и уникальных рамных конструкциях целесообразно учитывать геометрическую нелинейность с помощью расчетов на ЭВМ [2, 6].

В существующей методике [7] проверку прочности криволинейных участков рам при $r/h \leq 7$ производят по формуле для сжато-изгибаемых элементов, основанной на линейном распределении напряжений по высоте сечения, с введением поправочных коэффициентов $K_{rн}$ и $K_{rв}$ к моментам сопротивления, которые косвенным образом учитывают влияние кривизны на краевые напряжения.

Целесообразность такой методики оценки вызывает сомнение, так как в этом случае расчетные формулы не отражают в явном виде характера распределения напряжений по высоте сечения. Для определения нормальных тангенциальных напряжений гораздо удобнее использовать формулу, основанную на теории кривых брусьев:

$$\sigma_{\theta i} = -\frac{N}{F} + \frac{M(r_i - r_0)}{F z_{\theta i} r_i}, \quad (1)$$

где N, M — нормальная сила и изгибающий момент;
 r_i — радиус кривизны слоя, в котором определяют напряжения;
 $r_0 = r - z_0$ — радиус кривизны нейтрального слоя;
 $z_0 = I/Fr$ — смещение нейтральной оси поперечного сечения от центральной оси криволинейного участка;
 F — площадь нетто сечения.

В работе [3] впервые указано на необходимость расчета цельноклееных карнизных узлов по универсальной формуле (1). Формулы СНиП П-25-80 представляют собой частный случай формулы (1). Например, для растянутой кромки криволинейного элемента прямоугольной формы из выражения (1) получим:

$$\sigma_{\theta н} = -\frac{N}{F} + \frac{M(r_n - r_0)}{F z_{\theta н} r_n} = -\frac{N}{F} + \frac{M}{F} \cdot \frac{r + 0,5h - r + h^2/12r}{(r + 0,5h)h^2/12r},$$

где $r_n = r + 0,5h$; $z_0 = h^2/12r$; $r_0 = r - h^2/12r$;

тогда

$$\sigma_{\theta н} = -\frac{N}{F} + \frac{M}{F} \cdot \frac{6(1 + h/6r)}{h(1 + 0,5h/r)} = -\frac{N}{F} + \frac{M}{WK_{rн}}.$$

Известно, что клееной древесине свойственна резко выраженная анизотропия упругих и прочностных свойств. Как показали экспериментально-теоретические исследования [6, 8], в криволинейных участках рам степень влияния анизотропии зависит от показателя кривизны $\beta = r/h$ при постоянных показателях анизотропии ($K = E_0/E_{90}$, $m = E_0/G_0 - 2 \mu_{90}$) и может быть учтена коэффициентами анизотропии, позволяющими корректировать тангенциальные σ_{θ} и радиальные σ_r напряжения. Эти напряжения определяют по сравнительно простым формулам для кривых изотропных брусков, отражающих качественную картину распределения напряжений по высоте сечений.

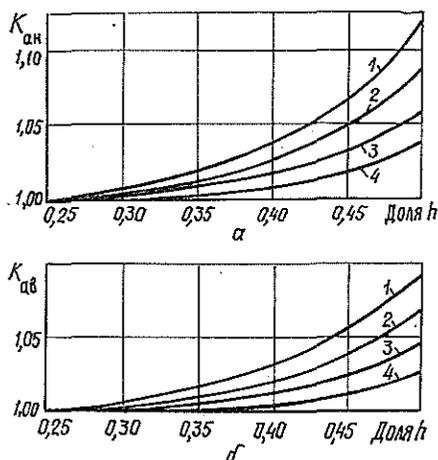


Рис. 1. Графики коэффициентов анизотропии для корректировки тангенциальных напряжений при различных показателях кривизны β на разных расстояниях от центра тяжести сечения.

a — в растянутой зоне: 1 — $\beta = 4$; 2 — 5; 3 — 6; 4 — 7; b — в сжатой зоне: 1 — $\beta = 4$; 2 — 5; 3 — 6; 4 — 4.

На рис. 1 приведены графики для определения коэффициентов анизотропии $K_{ан}$ и $K_{ав}$ при корректировке тангенциальных напряжений на произвольных уровнях по высоте поперечных сечений, где наблюдается расхождение в напряжениях по изотропному и анизотропному решениям. Следовательно, проверку прочности по тангенциальным напряжениям в криволинейных участках рам при $\beta \leq 7$ рекомендуется производить в зоне биссектрисного сечения по следующим формулам:

в растянутой зоне на уровне r_i

$$\sigma_{\theta i} = -\frac{N}{F} + \frac{M(r_i - r_0)}{Fz_0 r_i} K_{ан i} \leq R_p m_{rni} m_{сл} m_{в}; \quad (3)$$

в сжатой зоне на уровне r_i

$$\sigma_{\theta i} = -\frac{N}{F} - \frac{M(r_i - r_0)}{Fz_0 r_i} K_{ав i} \leq R_c m_{rni} m_{сл} m_{в}. \quad (4)$$

При $r_i = r_n$ и $r_i = r_b$ формулы (3) и (4) дают максимальные крайние напряжения.

Несмотря на то, что в рамках радиальные напряжения сжимающие и не имеют, как правило, решающего значения, знать их необходимо для оценки плоского напряженного состояния. В работе [3] впервые предложены формулы для приближенного определения σ_r , полученные на основе зависимости

$$\sigma_r = \int_0^y \sigma_{\theta} / r_i dy;$$

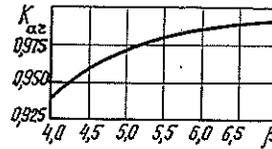
в сжатой зоне от r_b до r_0 на уровне r_i

$$\sigma_{r_i} = \frac{N}{F} \ln \frac{r_i}{r_B} + \frac{M}{Fz_0} \left[\ln \frac{r_B}{r_i} + \frac{r_0(r_i - r_B)}{r_B r_i} \right]; \quad (5)$$

максимальные на нейтральном слое

$$\sigma_r^{max} = \frac{N}{F} \ln \frac{r_0}{r_B} + \frac{M}{Fz_0} \left[\ln \frac{r_B}{r_0} - \frac{r_0 - r_B}{r_B} \right]. \quad (6)$$

Из рис. 2 видно, что влияние анизотропии целесообразно учитывать лишь при $\beta \leq 5$. Выявлены также некоторые особенности, связанные с изменением радиальных напряжений, вследствие возникновения напряжений поперек волокон от воздействия сжимающего вдоль волокон усилия. Окончательно формула для проверки максимальных радиальных напряжений примет вид



$$\sigma_r^{max} = -\frac{N}{F} \left(\ln \frac{r_B}{r_0} - \frac{E_{90}}{E_0} \mu_{90} \right) - K_{ar} \frac{M}{Fz_0} \times \left(\ln \frac{r_B}{r_0} + \frac{r_0 - r_B}{r_B} \right) \leq R_{c,90} m_{r_{ni}} m_{cл} m_B. \quad (7)$$

Рис. 2. График коэффициентов анизотропии для корректировки радиальных напряжений при различных показателях кривизны β .

Установлен и характер изменения напряжений τ_r , которые действуют не только в переходных зонах, но и в сопряженных прямолинейных участках, распространяясь на расстояние до $1h$. В связи с этим, радиальные напряжения в растянутых зонах криволинейных участков в любой точке по высоте сечения и длине определяют по формуле

$$\sigma_{r_i} = \left\{ -\frac{N}{F} \left(\ln \frac{r_n}{r_i} - \frac{E_{90}}{E_0} \mu_{90} \right) - K_{ar} \frac{M}{Fz_0} \left[\ln \frac{r_n}{r_i} + \frac{r_0(r_n - r_i)}{r_0 r_i} \right] \right\} \cos \varphi, \quad (8)$$

где φ — внутренний угол, измеряемый от биссектрисы до радиуса, проходящего через проверяемую точку.

При исследовании рам с криволинейными участками учитывали, что непосредственное приложение нагрузок осуществляется в верхней части стоечно-карнизного блока в виде увеличенной сосредоточенной силы (рис. 3). Как показали расчеты и характер разрушения рам, при определенных условиях зона биссектрисного сечения и область вблизи действия увеличенной сосредоточенной силы могут оказаться равноопасными. Поэтому необходима проверка прочности по главным напряжениям в растянутой зоне переходных участков на расстоянии x от приложения сосредоточенной силы p :

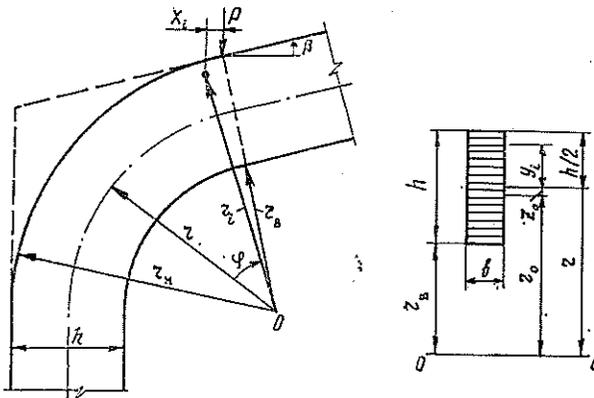


Рис. 3. Расчетная схема карнизного узла дощатоклееной рамы.

$$\sigma_a = 0,5 (\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}) \leq R_{p, \alpha} m_{гм} m_{сд} m_{в}. \quad (9)$$

Здесь $\sigma_x = \sigma_{\theta i} + \sigma_x^p$; $\sigma_y = \sigma_{ri} + \sigma_y^p$; $\tau_{xy} = \tau_{r\theta} + \tau_{xy}^p$ — суммарные напряжения, определенные с учетом локальных изменений от сосредоточенной силы;
 $R_{p, \alpha}$ — расчетное сопротивление к растяжению под углом α к волокнам [4]:

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

Местные напряжения σ_x^p , σ_y^p и τ_{xy}^p определяют по формулам

$$\sigma_x^p = - \frac{2p \sin^2 \theta \cos^2 \theta}{\pi b (0,5h - y)}; \quad (10)$$

$$\sigma_y^p = - \frac{2p \cos^4 \theta}{\pi b (0,5h - y)}; \quad (11)$$

$$\tau_{xy}^p = - \frac{2p \sin \theta \cos^3 \theta}{\pi b (0,5h - y)}; \quad (12)$$

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{x}{0,5h - y} + \beta. \quad (13)$$

В формулах (10) — (13) обозначено:

y — расстояние от центра тяжести сечения до i -того уровня по высоте ($y = 0,35h$);

x — расстояние от точки приложения сосредоточенной силы до проверяемого сечения ($x = 0,35h$);

β — угол наклона верхней грани ригеля к горизонтали;

b — ширина сечения.

Касательные и главные напряжения в стойке предлагают определять на расстоянии $x = 1h$ от пяты опоры и на уровне $y_i = Nh^2/12M$ от центра тяжести проверяемого сечения, где практически отсутствует σ_y :

$$\sigma_1 = \tau_{xy} = \frac{6Q (0,25h^2 - y_i^2)}{bh^3} \leq R_{p, 45} m_6 m_{сд} m_{в}, \quad (14)$$

где Q — поперечная сила в рассматриваемом сечении;

$R_{p, 45}$ — расчетное сопротивление клееной древесины растяжению под углом $\alpha = 45^\circ$ к направлению волокон.

Анализ результатов испытаний рам с криволинейными участками позволит нам скорректировать величины коэффициента слойности $m_{сд}$ для тонких досок и при количестве слоев не менее 15 определять этот коэффициент по таблице.

Толщина слоя, мм	19	16	12	6 и менее
Коэффициент слойности	1,1	1,15	1,2	1,3

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Светозарова Е. И., Душечкин С. А., Серов Е. Н. Конструкции из клееной древесины и водостойкой фанеры. Примеры проектирования.— Л.: ЛИСИ, 1974.— 132 с. [2]. Серов Е. Н. Конструкции из дерева и пластмасс: Методические указания по расчету трехшарнирных деревянных рам по деформированной схеме на ЭВМ «Наири-2».— Л.: ЛИСИ, 1977.— 51 с. [3]. Серов Е. Н. Расчет цельноклееного карнизного узла рамы.— В кн.: Крат. содерж. докл. XXVIII науч. конф. ЛИСИ. Л.: ЛИСИ, 1970, с. 161—164. [4]. Серов Е. Н. Учет трансверсальной изотропии клееной древесины при расчете изгибаемых элементов.— В кн.: Облегченные конструкции из древесины, фанеры и пластмасс: Межвуз. темат. сб. тр. Л., 1984, с. 19—30. [5]. Серов Е. Н., Табунов С. Ю. Новое в конструкции и методе расчета клееных рам для сельскохозяйственного строительства.— В кн.: Экспериментальные и теоретические исследования клееных деревянных конструкций для сельского строительства. М.: ЦНИИЭПсельстрой, 1983, с. 86—90. [6]. Серов Е. Н., Табунов С. Ю. Расчет клеедощатых рам с учетом геометрической нелинейности.— Л., 1984.— 20 с.— Рукопись представлена Ленингр. инж.-строит. ин-том. Деп. во ВНИИИСе Госстроя СССР 6 янв. 1984, № 4732. [7]. СНиП П-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования.— М.: Стройиздат, 1982.— 65 с. [8]. Табунов С. Ю. Расчет и выбор оптимальных параметров рам с прямолинейным ригелем и гнутоклееными стойками для сельскохозяйственных производственных зданий: Автореф. дис. . . канд. техн. наук.— Л., 1984.— 21 с.

Поступила 2 августа 1985 г.