

вин А. Н., Пожиток А. И. Решение задач тепломассопереноса численными методами: Текст лекций для аспирантов.—М.: МЛТИ, 1985.—63 с. [7]. Промышленное изготовление цементно-стружечных плит / В. Г. Разумовский, И. М. Гольдберг, Н. Б. Фельдман, М. С. Фортенко // Плиты и фанера: Обзор информ. / ВНИПИЭИлеспром.—М., 1987.—Вып. 12.—44 с. [8]. Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров / Пер. с англ.: Под ред. С. Н. Похожаева.—М.: Мир, 1985.—384 с.

Поступила 27 августа 1991 г.

УДК 624.011.1.002.237

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В СОПРЯЖЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОД БОЛЬШИМИ УГЛАМИ

Е. Н. СЕРОВ, Р. Б. ОРЛОВИЧ

Инженерно-строительный институт (г. Санкт-Петербург)
Брестский политехнический институт

В реализации принципа согласования полей действующих и расчетных напряжений при проектировании жестких узлов клееных деревянных рам целесообразна оптимизация геометрических параметров гнуто-клееных деталей [3]. В биссектрисном сечении сопряжения ригеля и стойки с максимальными моментами M и осевыми силами N , кроме вызванных ими нормальных тангенциальных σ_θ и радиальных σ_r напряжений, действуют самоуравновешенные касательные напряжения $\tau_{\theta r}$ (при поперечной силе $Q = 0$). Они связаны с градиентом σ_θ и не учитываются при определении напряженного состояния узла не только нормами [5], но и теорией расчета криволинейных анизотропных брусьев [1]. Тем не менее, по данным экспериментальных исследований [4], их влияние на прочность узлов имеется.

Существующие методы расчета карнизных узлов рам основаны на методе приближений, согласно которому для удовлетворения требований предельного состояния варьируется не только высота сечения, но и радиус кривизны r_{cp} . Заметим, что изменение последнего на каждом шаге приближения, строго говоря, требует повторного статического расчета рамы вследствие изменения геометрической формы ее оси.

В качестве примера решения поставленной задачи рассмотрим алгоритм проектирования карнизного узла клееной рамы, реализованный на ЭВМ. В предложенном алгоритме указанный итерационный процесс совмещен с подбором оптимального радиуса кривизны r_{cp} гнуто-клееной детали или стоечно-карнизного блока. За рабочую гипотезу принято, что исчерпание прочности узла наступает при следующем условии:

$$\omega_1 = \sigma_1 / R_\alpha^+ > 1, \quad (1)$$

где ω_1 — относительная величина главного растягивающего напряжения σ_1 ;

$$\sigma_1 = 0,5 \left[\sigma_\theta + \sigma_r + \sqrt{(\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + 4\tau_{\theta r}^2} \right], \quad (2)$$

(σ_θ , σ_r и $\tau_{\theta r}$ — целесообразно определять численными методами, например по программе *BREST*, разработанной в Брестском политехническом институте);

R_α^+ — расчетное сопротивление клееной древесины на растяжение под углом α ,

$$\alpha = 0,5 \operatorname{arctg} \frac{2\tau_{\theta r}}{\sigma_{\theta} - \sigma_r} \quad (3)$$

Оптимальным считается такой радиус, при котором направление σ_1 в наименьшей степени отклоняется от направления волокон в наиболее опасной точке расчетного сечения. Причем на $r_{\text{ср}}$ накладываются следующие ограничения: минимальное его значение лимитируется предельным радиусом гнутья из конструктивно-технических условий, а максимальное $r_{\text{ср}}^{\text{max}}$ — из соображений обеспечения требуемого внутреннего габарита помещения, установленного функциональным назначением здания (рис. 1).

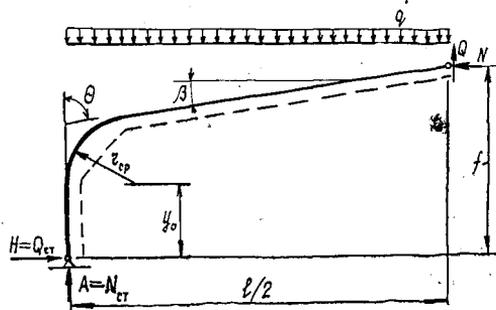


Рис. 1. Расчетная схема полурамы

В основу алгоритма на базе программы *BREST* положена расчетная схема, изображенная на рис. 2. Границы расчетной области находятся в пределах прямолинейных элементов рамы. В направлении ригеля они продлены на расстояние D , величина которого установлена

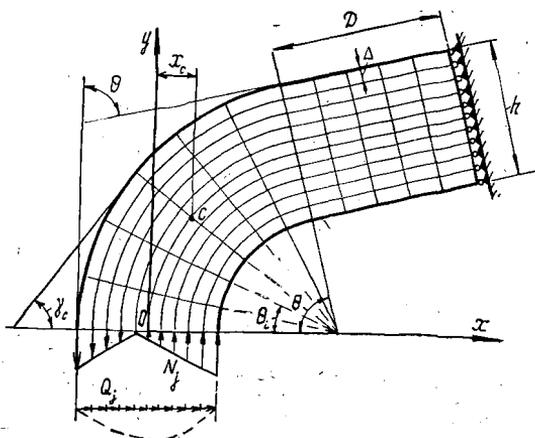


Рис. 2. Конечно-элементная расчетная схема узла сопряжения ригеля со стойкой

исходя из соблюдения принципа Сен-Венана для древесины [2]. В пределах угла θ дуга радиусом $r_{\text{ср}}$ разбивается на n равных частей, а высота сечения h — на m одинаковых полос толщиной Δ . Тогда координаты узлов для каждого i -го радиуса конечно-элементной расчетной схемы в принятой на рис. 2 системе координат определяются из выражений:

$$\left. \begin{aligned} x_{ij} &= r_{cp} (1 - \cos \theta_i) \pm j\Delta \cos \theta_i; \\ y_{ij} &= (r_{cp} \pm j\Delta) \sin \theta_i, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $i = 1, 2, \dots, n+1$; $j = 1, 2, \dots, 0,5m$; $\theta_i = (i-1)$.

К свободному участку незакрепленного торца в каждом узле прикладывают нормальные силы N_j и сдвигающие усилия Q_j . Последние представляют собой узловые равнодействующие нормальных и касательных напряжений, вычисленных в сечении на основании статического расчета рамы. При действии равномерно распределенной по всему пролету постоянной и временной нагрузок интенсивностью q имеем:

$$N_j = \frac{ql\Delta}{2h} \pm \frac{4ql^2y_0\Delta^2}{3fh^3} j; \quad (5)$$

$$Q_j = \frac{4ql^2S_j\Delta}{3fbh^3}, \quad (6)$$

где S_j — статический момент части сечения за пределами полосы, проходящей через j -ю точку;
 b — ширина элементов рамы.

На основании сформированной расчетной схемы подбор r_{cp} сводится к следующим процедурам.

1. Диапазон варьирования $r_{cp} = r_{max} \dots r_{min}$ разбиваем на t равных частей.

2. Для каждого r_{cp}^k ($k = 1, 2, \dots, t+1$) по программе BRESI определяем напряженное состояние узла сопряжения ригеля со стойкой. В радиальном сечении с координатой $x_c = l/2 (1 - l \operatorname{tg} \gamma_c / 4f)$, (при $M = M_{max}$, $Q = 0$) по формулам (2), (3) находим значения α_i и их направления α_{jk} .

3. Из всей совокупности α_{jk} для максимальных в сечении, проходящем через точку C , главных растягивающих напряжений выбираем такой угол $\bar{\alpha}_{jk}$, при котором $|\alpha_{jk} - \gamma| = \min$. Иными словами, определяем конструктивное решение узла, где направления α_i и волокон древесины максимально совпадают, т. е. наилучшим образом реализуется принцип согласования полей действующих и расчетных напряжений.

4. Для соответствующего найденному углу $\bar{\alpha}_{jk}$ радиуса r_{cp}^k в расчетном сечении определяем параметр ω_{1max} по формуле (1). Если $\omega_{1max} \leq 1$, то сечение работает в безопасной области, если $\omega_{1max} > 1$ — в запредельной. Для удовлетворения с заданной точностью ϵ условия $\omega_{1max} = 1$ при фиксированном значении r_{cp}^k осуществляем перекомпоновку поперечного сечения узла. В зависимости от ω_1 высоту сечения либо увеличиваем (при $\omega_{1max} > 1$), либо уменьшаем (при $\omega_{1max} < 1$) на толщину доски δ_d . Аналогичный поиск может быть осуществлен с помощью изменения толщины слоев в пакете, т. к. расчетное сопротивление клееной древесины на растяжение под углом к волокнам R_a^+ зависит от коэффициентов $m_{rn} = \Phi(r_{cp}^k / \delta_d)$ и $m_{cl} = \Phi(n_{cl}, \delta_d)$ [5].

Изложенный алгоритм является устойчивым, поскольку сходимость решения вытекает из физической сущности рассмотренной задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Лехницкий С. Г. Теория упругости анизотропного тела. — М.: Наука, 1977. — 416 с. [2]. Орлович Р. Б., Найчук А. Я. О принципе Сен-Венана при нагружении элементов из древесных материалов // Строительство и архитектура. — 1981. — № 9. — С. 14—17. — (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Серов Е. Н. Рациональное использование анизотропии прочности материалов в клееных деревянных кон-

струкциях массового изготовления: Автореф. дис. . . . докт. техн. наук.—Л., 1989.—48 с. [4]. Серов Е. Н., Табунов С. Ю. Экспериментальные исследования плоского напряженного состояния клеодощатых рам // Методы расчета конструкций из древесины, фанеры и пластмасс. Межвуз. сб. тр.—Л.: ЛИСИ, 1985.—С. 108—116. [5]. СНиП II-25—80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования.—М.: Стройиздат, 1982.—65 с.

Поступила 29 мая 1990 г.

УДК 624.011.1 : 624.072.2

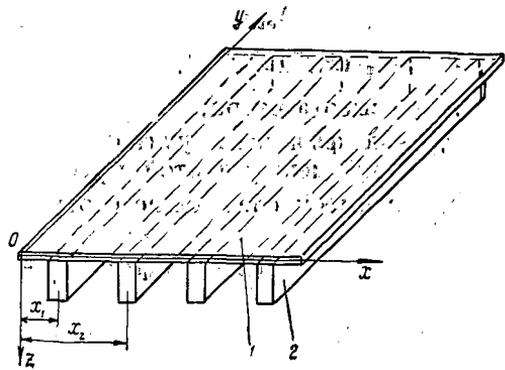
РАСЧЕТ ПЛИТНО-РЕБРИСТЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УПРУГОПОДАТЛИВЫМИ СВЯЗЯМИ

Б. В. ЛАБУДИН

Инженерно-строительный институт (г. Санкт-Петербург)

Учет упругоподатливых соединений, деревянных конструкций (нагели, клеенные стержни и т. д.) приводит к существенным погрешностям в оценке их напряженно-деформированного состояния [4]. Это характерно для плоскостных, деревянных клееных конструкций (ДКК) типа пролетных строений мостов, когда в работу основных несущих элементов включается покрытие, плиты, панели (рис. 1), а также для пространственных систем типа перекрестных балок, многогранных шатров, куполов и т. д. [2].

Рис. 1. Общий вид плитно-ребристой конструкции: 1 — плита; 2 — ребро



Нами предложена методика инженерного расчета, позволяющего учесть совместную работу ребристых ДКК и плит покрытий.

Теория расчета ребристых пластин [1], развиваемая на основании работы Е. С. Гребеня, предполагает абсолютно жесткое присоединение плиты по линии контакта с ребрами. В уравнение равновесия и совместности деформаций для ребер, параллельных оси OY (рис. 1), вводятся обобщенные силы и моменты:

$$\begin{aligned} -F_y^* &= F_y + \sum_i F_{pi} \delta(x - x_i); \\ M_y^* &= M_y + \sum_i M_{pi} \delta(x - x_i), \end{aligned} \quad (1)$$

где F_y , M_y — усилие и момент в пластине;
 F_{pi} , M_{pi} — усилие и момент в пластине от i -го ребра;
 $\delta(x - x_i)$ — дельта и функция Дирака.

Усилие в ребре может быть представлено через относительную линейную деформацию его нейтральной оси: