

где  $v_i = v + (1 + \chi) \left( e^{\mu_i^2 \Theta'} - e^{\mu_i^2 \Theta''} \right) - \mu_i^2 \int_{\Theta'}^{\Theta''} Q(\varphi) e^{\mu_i^2 \varphi} d\varphi$ ,

$i = 1, 2$ .

Если принудительное управление является линейной функцией, т. е.  $Q(\varphi) = d + g\varphi$ ,  $\Theta' \leq \varphi \leq \Theta''$ , то значения  $\Theta_1$  и  $\varphi_0$  определяются из соотношения

$$v_i = v + e^{\mu_i^2 \Theta'} \left[ 1 + \chi - d - g \left( \Theta'' - \frac{1}{\mu_i^2} \right) \right] - e^{\mu_i^2 \Theta''} \left[ 1 + \chi - d - g \left( \Theta' - \frac{1}{\mu_i^2} \right) \right].$$

### ВЫВОД

Таким образом, используя прием для замены ограничения на фазовую координату ограничением на управляющее воздействие, приходим к тому, что метод решения задачи оптимального по быстродействию нагрева термически массивного тела с учетом ограничений на термонапряжения принципиально не отли-

чается от метода решения той же задачи без учета ограничений на термонапряжения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Болтянский, В. Г.** Математические методы оптимального управления / В. Г. Болтянский. – М.: Наука, 1966. – 208 с.
2. **Бутковский, А. Г.** Методы управления системами с распределенными параметрами / А. Г. Бутковский. – М.: Наука, 1975. – 568 с.
3. **Бутковский, А. Г.** Проблемы финитного управления / А. Г. Бутковский. – М.: Энергия, 1972. – 244 с.
4. **Андреев, Ю. Н.** О приближенном решении задачи нагрева стали с минимальным обезуглероживанием / Ю. Н. Андреев // ИФЖ. – 1968. – № 2. – С. 21–23.
5. **Воронова, Н. П.** Об одном оптимальном управлении процессом сушки / Н. П. Воронова, Н. И. Березовский // Литье и металлургия. – 1998. – № 2. – С. 42–46.
6. **Воронова, Н. П.** Разработка оптимального по времени режима работы печи садочного типа / Н. П. Воронова, Р. В. Михнова // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1996. – № 1–2. – С. 72–75.
7. **Гетвуд, Б. Е.** Температурные напряжения / Б. Е. Гетвуд. – М.: Наука, 1969. – 288 с.

Поступила 24.04.2006

УДК 624.078.5

## ОПОРНЫЙ УЗЕЛ ТРЕУГОЛЬНОЙ ДЕРЕВЯННОЙ ФЕРМЫ НА ВКЛЕЕННЫХ СТЕРЖНЯХ

*Канд. техн. наук, доц. ОКОВИТЫЙ А. В.*

*Белорусский национальный технический университет*

При изготовлении строительных конструкций с дощатоклееными элементами все большее распространение получают соединения на клеенных арматурных стержнях, наиболее известные из которых: монтажные стыки элементов конструкций большой длины (арок, рам), узлы опирания стоек рам на фундаменты, опорные узлы ферм, а также усиление отдельных участков конструкций при действии в них значительных перерезывающих усилий [1, 2].

Соединения на клеенных стержнях отличаются компактностью конструктивных решений. Стыковые соединения не имеют ограничений по величине действующих в стыкуемых элементах усилий. При конструировании узловых соединений, в частности опорных узлов ферм, имеющих размеры контактных площадок, ограниченных размерами поперечных сечений поясных элементов, из-за необходимости соблюдения требований условий расстановки и

вклеиваемой в древесину длины стержней возможно ограничение применения соединений по несущей способности.

Из узловых соединений ферм на вклеенных стержнях наиболее исследован опорный узел линзообразной фермы с симметричными дощатоклееными верхним выгнутым и нижним вогнутым поясами. Вследствие симметричности поясов соединение имеет компактное конструктивное решение [2].

В данной статье приведены результаты исследований конструктивного решения и анализа несущей способности опорного узла треугольной фермы с дощатоклееными поясами на вклеенных стержнях пролетом 15–24 м.

Существуют варианты конструктивного решения опорного узла треугольных ферм с деревянными поясами: на лобовой врубке с упором торца верхнего пояса в площадку нижнего пояса; в виде лобового упора, когда верхний пояс торцом упирается в деревянный вкладыш, а от него усилие передается на нижний пояс посредством системы траверс из стальных уголков, тяжей и деревянных накладок, соединенных с поясом на цилиндрических нагелях.

Конструкция соединения опорного узла на лобовой врубке наиболее простая, однако отрицательным моментом данного решения является значительная длина конца нижнего пояса от оси опоры до торца. В связи с этим возникают сложности при проектировании карнизного

узла в случае опирания фермы на кирпичную стену или более сложного конструктивного решения прикрепления стеновых панелей к колонне при опирании фермы на колонны.

Соединение опорного узла в виде лобового упора лишено такого недостатка, но имеет более сложное конструктивное решение из-за большого количества соединительных элементов из древесины и стали, при этом стальные детали соединяются с помощью и резьбовых соединений, и сварки.

Конструктивное решение опорного узла треугольной фермы с дощатоклееными поясами на вклеенных стержнях показано на примере узла фермы пролетом 15 м под расчетную нагрузку (постоянную и снеговую) 14,0 кН/м (рис. 1). При уклоне  $i = 0,4$  угол наклона верхнего пояса равен  $22^\circ$ . Концы обоих поясов опилены по длине таким образом, чтобы высота их сечения в торце была одинаковой. Имея размеры поперечного сечения верхнего и нижнего поясов соответственно  $145 \times 420$  (h) мм и  $145 \times 245$  (h) мм и приняв расстояние от оси опоры фермы до ее торца из условия опирания на стену или колонну равным 200 мм, устанавливаем длину общей контактной площадки поясов – 1150 мм. К контактным площадкам обоих поясов прикреплены стальные накладки, соединяемые сваркой со стороны поясов с отгибами вклеенных в древесину наклонных стальных стержней из арматурной стали периодического профиля S400 диаметром  $d = 16$  мм.

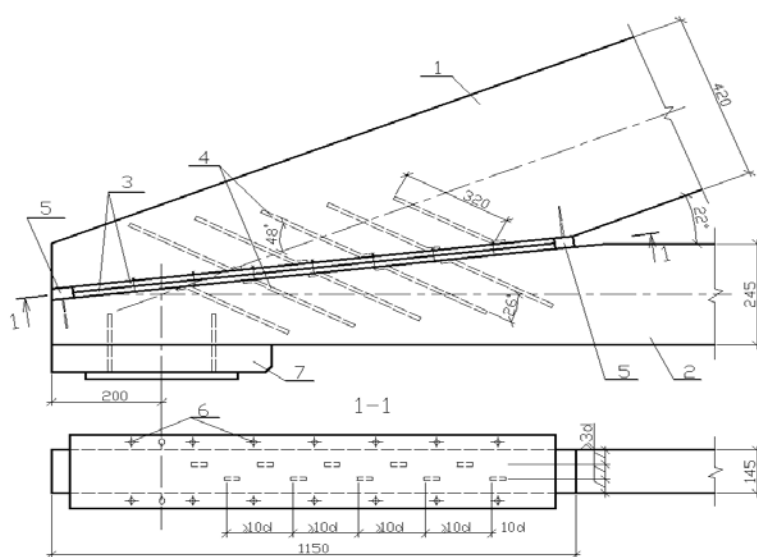


Рис. 1. Опорный узел фермы на вклеенных стержнях: 1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс; 3 – стальные накладки; 4 – вклеенные стержни; 5 – центрирующие стальные пластинки; 6 – соединительные болты; 7 – подбалка

Длина вклеенной в древесину части стержней  $l = 320$  мм ( $\geq 20d$ ). Угол наклона стержней к осям поясов: верхнего –  $48^\circ$ , нижнего –  $26^\circ$ . По ширине поясов стержни размещаются в два ряда в шахматном порядке с расстоянием в осях между рядами и от ряда до боковой поверхности поясов не менее  $3d$ . Шаг стержней в ряду по длине площадки – не менее  $10d$ . В опорных площадках поясов под отгибы стержней устраиваются выборки для плотного прилегания к ним накладок. По концам контактной площадки к поясам прикрепляются центрирующие стальные пластинки с вклеенными перпендикулярно стыку стержнями.

При конструировании узла с целью достижения максимальной несущей способности были исследованы и проанализированы:

- расположение (прямоугольное или шахматное) стержней на контактной площадке, диаметр и количество рядов стержней по ширине поясов;
- угол наклона стержней к осям поясов;
- количество (требуемое и возможное) стержней в узле для ферм пролетом от 15 до 24 м под различные нагрузки.

Для треугольных ферм в зависимости от пролета оптимальная ширина поперечного сечения равна 145 или 165 мм. Диаметр стержней принимают: минимальный – 12 мм, максимальный – из условия расстановки стержней по ширине поясов. Оптимальным является двухрядное по ширине поясов расположение стержней в шахматном порядке, при котором расстояния между осями стержней и от крайнего ряда до боковой пласти поясов должны быть не менее  $3d$ , в связи с чем диаметр стержней может быть не более 18 мм. При выборе диаметра стержней следует учитывать, что длина вклеиваемого в древесину стержня должна быть не менее  $20d$ . Шаг стержней в ряду по длине контактной площадки и от крайних стержней до торца поясов должен быть не менее  $10d$ .

Рекомендуемая величина угла наклона стержней к оси элементов должна находиться в пределах от  $30^\circ$  до  $45^\circ$ . Для треугольных ферм с углом наклона верхнего пояса  $22^\circ$  оптимальные углы наклона стержней к осям поясов: верхнего –  $48^\circ$ , нижнего –  $26^\circ$ , значения которых близки к рекомендуемому.

Требуемое количество вклеенных стержней в каждом поясе определяется расчетом. Несу-

щая способность одного стержня может быть определена по выражению [3]

$$\left(\frac{N_d}{R_{N,d}}\right)^2 + \frac{V_d}{R_{m,d}} \leq 1, \quad (1)$$

где  $N_d$ ,  $V_d$  – соответственно продольная и поперечная составляющие расчетного усилия в стержне, мН;  $R_{N,d}$ ,  $R_{m,d}$  – расчетные несущие способности стержня из условия работы соответственно на растяжение и изгиб, мН,  $R_{N,d} = f_{st,d} A$ ;  $R_{m,d} = f_{sv,90,d} d^2$ ;  $f_{st,d}$ ,  $f_{sv,90,d}$  – расчетные сопротивления арматурного стержня соответственно растяжению и продавливанию поперек волокон древесины, МПа. Для S400  $f_{st,d} = 375$  МПа;  $f_{sv,90,d} = 70$  МПа;  $A$ ,  $d$  – соответственно площадь поперечного сечения,  $m^2$ , и диаметр стержня, м.

Для данного узла фермы требуется 10 арматурных стержней S400 диаметром 16 мм, по пять стержней в ряду.

Возможное количество стержней в узле можно определить

$$n \leq 2[(l_n - l_{ц.п}) / (10d) - 0,5], \quad (2)$$

где  $l_n$  – длина контактной площадки;  $l_{ц.п}$  – то же стальной центрирующей пластинки.

Результаты расчета требуемого и возможного количества вклеенных стержней для опорного узла ферм пролетов 15–24 м под различные нагрузки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Количество вклеенных стержней для опорного узла фермы

Показатель	Величина показателя							
	15		18		21		24	
Пролет, м	15		18		21		24	
Нагрузка расчетная, Кн/м	12,7	17,0*	13,0	17,3*	13,2	17,6*	13,5	18,0*
Сечение поясов:								
ширина, мм	145	145	145	145	165	165	165	165
высота, мм:								
верхнего	420	455	490	560	525	630	630	700
нижнего	245	280	280	350	280	350	350	385
Стержни:								
диаметр, мм	14	14	16	16	18	18	18	18
количество, шт.:								
требуемое	12	15	11	15	10	16	12	18
возможное	12	14	12	14	12	14	14	16

**Примечание.** Нагрузки: без \* соответствуют шагу ферм 4,5 м для снегового района 2Б или шагу 6,0 м для 1Б; с \* – шагу 6,0 м для 2Б.

Из табл. 1 видно, что при больших нагрузках возможны ограничения по применению узлов на клеенных стержнях, в частности для ферм с шагом 6,0 м в снеговом районе 2Б невозможно решение такого узла.

Сечение стальных накладок с приваренными отгибами стержней подбирается по выражению [4]

$$\left(\frac{N_{p,d}}{A_n R_y}\right)^2 + \frac{M_{p,d}}{c W_n R_y} \leq 1, \quad (3)$$

где  $N_{p,d}$ ,  $M_{p,d}$  – расчетные усилия в накладке: соответственно растяжение, мН, и изгибающий момент, мН·м;  $A_n$ ,  $W_n$  – соответственно площадь, м<sup>2</sup>, и момент сопротивления, м<sup>3</sup>, поперечного сечения накладки;  $c$  – коэффициент, учитывающий пластическую стадию стальной накладки;  $R_y$  – расчетное сопротивление стали по пределу текучести, МПа.

Для данного узла приняты накладки из стали С245 толщиной 8 мм.

Соединение поясов с накладками в узле может осуществляться на болтах нормальной точности или на сварке. Болты или сварные швы рассчитываются по нормам расчета стальных конструкций. Для данного узла при соединении поясов на болтах требуется 14 болтов диаметром 12 мм.

### ВЫВОДЫ

1. Оптимальное конструктивное решение опорного узла треугольных ферм на клеенных

стержнях из арматурной стали периодического профиля S400 возможно при выполнении следующих конструктивных требований: диаметр стержней – 12–18 мм; расположение стержней по рабочей площадке – двухрядное по ширине сечения поясов в шахматном порядке с соблюдением условий по их расстановке поперек и вдоль площадки и по глубине вклеивания в древесину; угол наклона стержней к осям поясов – близок к значениям 30–45°; расстояние от оси опоры до торца фермы – в пределах 200 мм.

2. При больших усилиях в поясах возможны ограничения по применению в фермах узлов на клеенных стержнях. В частности, для треугольных ферм с шагом 6 м, применяемых в снеговом районе 2Б, невозможно решение опорного узла на клеенных стержнях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Турковский, С. Б. Опыт применения клееных деревянных конструкций в Московской области / С. Б. Турковский, В. Г. Курганский, Б. Г. Почерняев. – М.: Стройиздат, 1987. – 112 с.
2. Деревянные конструкции в строительстве / Л. М. Ковальчук [и др.]. – М.: Стройиздат, 1995. – 246 с.
3. СНБ 5-05-01-2000. Деревянные конструкции. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2001. – 70 с.
4. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80). ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.

Поступила 10.10.2005

УДК 666.965

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА, ПОЛУЧАЕМОГО НА БАЗЕ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Инж. ШАБАНОВ Д. Н., докт. техн. наук, проф. НИКИТИН В. И.,  
канд. техн. наук ИВАНЕНКО А. М.*

*УО «Полоцкий государственный университет»*

Строительство и его материальная база – промышленность строительных материалов – являются наиболее материалоемкими отраслями, размещенными повсеместно, что ставит их

в особое положение при решении вопросов комплексного использования сырья. При строительстве зданий и сооружений используются главным образом неорганические мате-