

В этом случае оптимальное управление находится из уравнений (9), но

$$A = 6i_3 \left( \frac{v_1}{f_1} \operatorname{tg} v_1 + \frac{v_2}{f_2} \operatorname{tg} v_2 \right) - \frac{f_2 v_1}{f_1 v_2} \operatorname{tg} v_1 \operatorname{tg} v_2 - 1 = 0.$$

Решая полученную систему трех нелинейных уравнений, находим:  $F_1=0,006$ ;  $F_2=0,00319$ ;  $F_3=0,00338 \text{ м}^2$ ,  $V=0,05027 \text{ м}^3$ . Отметим, что для этой же рамы, но постоянного сечения  $V=0,05421 \text{ м}^3$ .

Изложенная выше методика позволяет получить аналитические зависимости для определения оптимального управления, а следовательно, минимальной массы конструкций, с учетом ограничений по устойчивости, прочности, а также конструктивных требований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болтянский В. Г. Оптимальное управление дискретными системами. М., «Наука», 1973.
2. Воеводин А. А. К расчету шпренгельной стойки на минимум веса.— «Строительная механика и расчет сооружений», 1972, № 5.
3. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический М., Госстройиздат, 1973.
4. Фан Лянь-цень, Вань Чу-сен. Дискретный принцип максимума. М., «Мир», 1967.
5. Хамутовский А. С. О расчете оптимальных многопролетных стержней. Тезисы докладов IX конференции молодых ученых и специалистов Прибалтики и Белоруссии по проблемам строительных материалов и конструкций. Минск, ИСИА Госстроя БССР, 1977.
6. Хамутовский А. С. Об оптимальном проектировании стоек ступенчато-переменного сечения. «Вопросы строительства и архитектуры», вып. VII. Мн., «Высэйшая школа», 1977.

УДК 624.014.072.2

Н. Н. МУРАШКО

### **РАСЧЕТ УЗЛОВ СТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК В КОНСТРУКЦИЯХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Применение легких металлических конструкций с элементами в виде замкнутых профилей для сельскохозяйственных производственных зданий и сооружений является прогрессивной областью строительства. В связи с этим особого внимания заслуживают конструкции, выполненные из тонкостенных электросварных или бесшовных труб. Узлы соединения таких конструкций решаются как в виде бесфасоночных сопряжений цилиндрических оболочек, так и посредством системы продольно-поперечных ребер [2].

Целесообразность применения круглых труб в объектах сельскохозяйственного строительства определяется, с одной стороны,

агрессивным характером среды и повышенными требованиями к санитарно-гигиеническому режиму основных помещений, а также технологическими соображениями, с другой — легкими нагрузками ( $170\text{—}250\text{ кгс/м}^2$ ), малым шагом несущих конструкций ( $3\text{—}6\text{ м}$ ) и, как следствие, малыми усилиями в элементах при относительно большой их длине. Уменьшение нагрузок дает возможность создать новые конструктивные решения комбинированных систем из набора различных типов профилей с выгодным применением труб из обычной углеродистой стали, а также позволяет существенно упростить технологию изготовления и снизить затраты на транспортировку и монтаж.

В настоящее время сельскими строительными комбинатами Главмособлстрой налажено производство треугольных ферм легкого типа пролетами  $12, 18$  и  $21\text{ м}$ , предназначенных для животноводческих и птицеводческих зданий, возводимых в Московской области [1]. Комбинированная система (верхний пояс П-образного сечения, а остальные элементы из труб) запроектирована из обычной углеродистой стали под нагрузку  $235\text{ кгс/м}^2$  с применением в узлах цилиндрических вставок, подкрепленных диафрагмой. В климатических условиях Белоруссии такие комбинированные системы особенно эффективны, так как расчетная снеговая нагрузка ( $70\text{ кгс/м}^2$ ) является основной. Тогда общая нагрузка на покрытие составляет  $165\text{ кгс/м}^2$  и трубчатые элементы подбираются по предельной гибкости [3].

Одной из областей рационального применения трубчатых профилей в сельскохозяйственном строительстве является также возведение теплиц. Несущие конструкции, выполненные из стальных труб, одновременно используются в качестве элементов водоснабжения и отопительной сети центрального водяного отопления. Элементами сети отопления и водоснабжения могут быть также трубчатые прогоны. Соединения трубчатых элементов в узлах выполняются с помощью ребер.

Конструктивные решения узлов трубчатых ферм покрытий в виде системы продольно-кольцевых ребер нашли широкое применение в металлических конструкциях сельскохозяйственных сооружений и листовых конструкциях цилиндрических технологических аппаратов: водонапорных башнях, дымовых трубах, осветительных вышках, галереях, эстакадах, узлах крепления подвесного транспортного оборудования, тонкостенных сосудах и емкостях для хранения нефтепродуктов, цилиндрических аппаратах молочнотоварных ферм, бункерах, силосах, трубопроводах и других сооружениях.

Следует отметить, что ограниченность опытных данных по исследованию узлов с ребрами, применяемых в указанном разнообразном классе трубчатых конструкций сельскохозяйственного металлостроительства, и отсутствие теоретического решения сопряжения системы ребер с тонкостенной трубой приводят к тому, что расчет узлов ведется без достаточного научного обоснования. Многочисленные типы узлов затрудняют также разработку универсаль-

ных методов расчета, основанных на результатах предельных испытаний. Этим объясняется появление прикладных методов расчета, не имеющих достаточных обоснований с позиций общей теории оболочек из-за отсутствия строгого решения контактной задачи.

В практике проектирования применяются приближенные способы расчета узлов, базирующиеся на решении упрощенных задач. Одним из таких способов является расчет поясной оболочки-трубы на срез стенки по контуру линии сопряжения. Проверка напряжений производится по формуле  $P \sin \alpha / l h \leq R_{ср}$  (1), где  $P$  — расчетное усилие;  $l$  — длина линии сопряжения;  $\alpha$  — угол наклона усилия к оси трубы.

Ориентировочный расчет узлов крестообразного типа, включающий в себя систему продольных и кольцевых ребер, рассматривается в работе Б. Н. Решетникова, выполненной в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко в 1976 г. Опытные кривые предельных испытаний узлов со столиками на действие радиальной силы, аппроксимированные уравнением параболы, позволяют определить несущую способность узла по формуле  $P = 30(b/d)^4 + 7$  (2), где  $b$  — ширина столика. На базе экспериментальных исследований создан также ряд эмпирических методик. Так, например, метод Заммета (ГДР) служит для оценки несущей способности узлов со сплюснутыми концами решетки, а также различными примыканиями в виде ребер. Несущая способность узла определяется по формуле  $P = P^{90} a / \sin \alpha$  (3), где  $P^{90}$  находится по графикам;  $a$  — коэффициент, учитывающий обработку концов и взаиморасположение примыкающих элементов.

На основе обобщения результатов экспериментальных исследований Б. С. Цетлиным и Б. Н. Решетниковым создана универсальная методика, которую можно применять для оценки несущей способности плоских бесфасоночных узлов. Применение предложенной методики к узлам с системой ребер (на вставках, в виде столиков, подвесок, оттяжек и др.), а также сплюснутых концов решетки для трубчатых конструкций вообще, как отмечают сами авторы, может служить лишь оценкой в первом приближении.

Таким образом, для проектирования рациональных и надежных трубчатых конструкций необходимо разработать методику расчета узлов с системой продольно-поперечных ребер на основе вскрытия особенностей их работы в строгой теоретической постановке. При этом возникает проблема аналитического исследования напряженно-деформированного состояния тонкостенной цилиндрической оболочки-трубы на локальные силовые воздействия через элементы включения. Определение напряжений и деформаций в оболочке-трубе представляет собой сложную проблему, так как приходится решать две задачи: выявить закономерности распределения внешней нагрузки в зоне контакта конструктивных элементов с оболочкой и определить напряженно-деформированное состояние в зависимости от этой нагрузки.

В качестве расчетной модели цилиндрической оболочки при

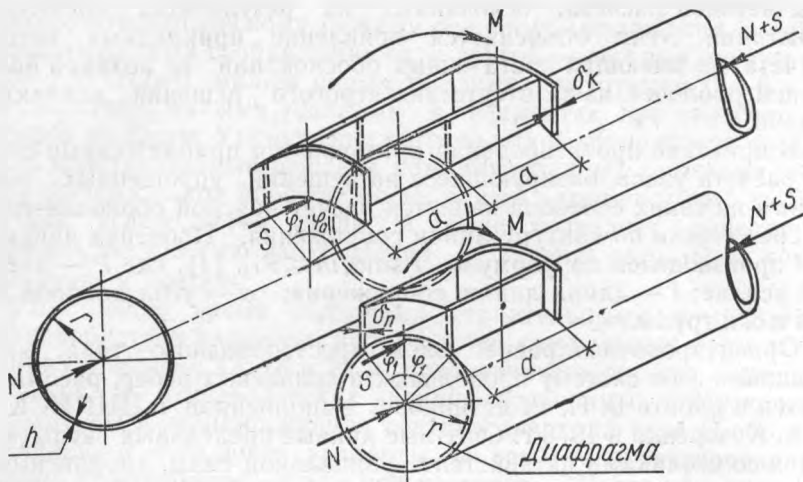


Рис. 1. Общий случай нагружения оболочки-трубы через систему продольно-кольцевых ребер.

определении напряженно-деформированного состояния узла рассматривается тонкостенная стальная труба, нагруженная внешним моментом  $M$  и продольной сдвигающей силой  $S$ , приложенных к системе продольных и кольцевых ребер (рис. 1). За исходные предпосылки решения принимаются упругое состояние оболочки и малые радиальные перемещения  $W$ , не превышающие половину толщины ее стенки  $h$ , когда справедливы линейная теория и принцип суперпозиции. При решении контактной задачи рассматривается относительно тонкая оболочка ( $h/r < 0,1$ ) с использованием технической моментной теории упругих тонких цилиндрических оболочек В. З. Власова; оболочка предполагается длиной ( $l/r > 8$ ); опирание по торцам — шарнирное. Жесткость ребер полагаем неограниченной в своей плоскости и пренебрежимо малой из плоскости, при этом можно пренебречь их толщиной и считать, что силовое поле полностью совпадает с плоскостью ребер.

Решение контактных задач для цилиндрической оболочки-трубы с позиций моментной технической теории было рассмотрено в статьях [4], [5], [6], [7]. Суть решения заключается в том, что контактная нагрузка представляется в виде линейной комбинации элементарных нагрузок, приложенных по линиям контакта ребер с оболочкой и принимающих нулевые значения за пределами кольцевых и продольных элементов включения. Под концами ребер линейно независимая система функций выполняет роль концентраторов контактной нагрузки. Нагрузка считается приложенной к продольному или кольцевому ребру цилиндрической оболочки, для чего производятся фиктивные разрезы вдоль ребер. Тогда разрешающая система уравнений свободной от поверхностной на-

грузки оболочки оказывается однородной и решение ищется в одинарных тригонометрических рядах. Константы интегрирования выбираются таким образом, чтобы удовлетворить условиям совместности деформаций оболочки в местах фиктивных разрезов. Функции контактной нагрузки разлагаются в ряд по фундаментальным функциям решения оболочки и из дифференциальной зависимости поперечной силы от прогиба устанавливается связь между коэффициентами ряда для функций контактной нагрузки и коэффициентами ряда, описывающего прогиб. Таким образом устанавливается однозначное соответствие между компонентами контактной нагрузки и соответствующими (радиальным и тангенциальным) перемещениями. Далее из условия совместности перемещений ребра и оболочки методом коллокаций определяются коэффициенты в линейной комбинации функций, формирующих контактную нагрузку.

Основной задачей при исследовании контактного нагружения оболочки через систему ребер является выяснение доли участия в работе каждого из них, что позволяет с использованием метода суперпозиции упростить решение контактной задачи, рассматривая поочередно работу узла только с продольными или только с кольцевыми ребрами. Расчеты узлов с комбинацией ребер методом коллокаций [5] позволили установить выражение коэффициента  $\alpha$ , учитывающего долю участия продольных ребер в работе узла. Причем получены две области существования коэффициента  $\alpha$  (I и II), который может принимать значения в интервалах от нуля до единицы:

$$\text{в области I при } \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{к}}} \geq 1 \quad \alpha_1 = \frac{G_{\text{п}}}{2G_{\text{к}}} - \frac{\varphi_1}{8\varphi_0} \left( \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{к}}} - 1 \right)^2; \quad 0 \leq \alpha_1 \leq 0,5, \quad (4)$$

$$\text{в области II при } \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{к}}} \leq 1 \quad \alpha_2 = \frac{G_{\text{п}}}{2G_{\text{к}}} - \frac{1}{4} \left( 1 - \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{к}}} \right)^2; \quad 0,5 \leq \alpha_2 \leq 1. \quad (5)$$

Кривая аппроксимации коэффициента  $\alpha$  показана на рис. 2 сплошной линией. Как видно из графика, жесткость узла с системой ребер в общем случае определяется по формуле  $G = \frac{G_{\text{п}}}{\alpha}$  (6) или  $G = \frac{G_{\text{к}}}{1 - \alpha}$  (7) соответственно во второй или первой областях. Определив коэффициент  $\alpha$ , можно найти несущую способность узла как минимум по двум значениям  $M = \min \left\{ \frac{M_{\text{п}}}{\alpha}; \frac{M_{\text{к}}}{1 - \alpha} \right\}$  (8), где  $M_{\text{п}}$  и  $M_{\text{к}}$  — несущая способность узла с продольными или кольцевыми ребрами. Опуская промежуточные преобразования, запишем обобщенные выражения для определения жесткости и несущей способности узлов произвольных оболочек с системой продольно-кольцевых ребер при действии узлового момента:

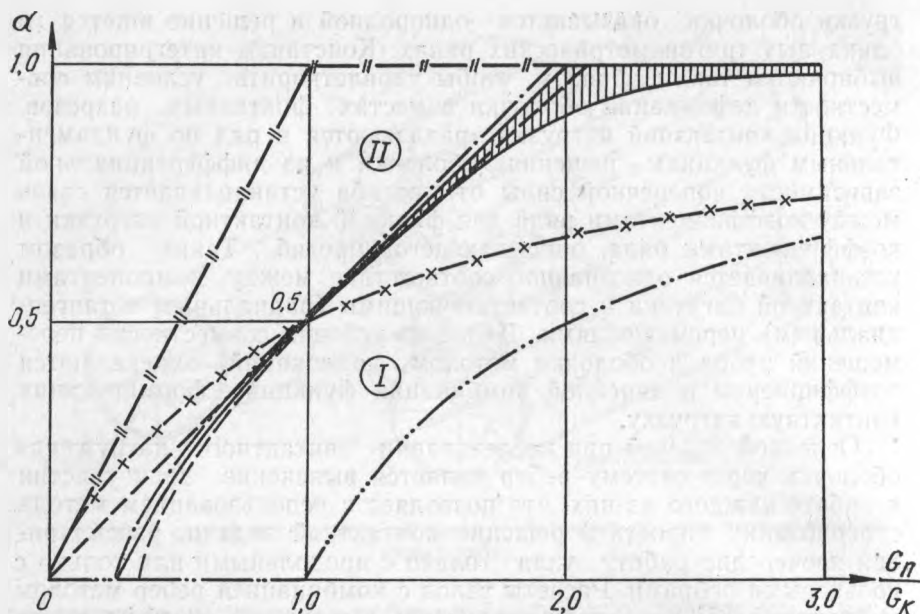


Рис. 2. Аппроксимация коэффициента распределения нагрузки в узле с системой ребер:

- — кривая аппроксимации коэффициента  $\alpha$ ;  
 - - - - - при  $a/r = 3,3$ ; - · - · - · - при  $a/r = 1,1$ ;  
 -// -// - жесткость узла  $G = G_{II}$ ;  
 - · - · - · - жесткость узла  $G = G_K$ ;  
 -x-x-x- жесткость узла  $G = G_{II} + G_K$ .

а) для узла с продольными ребрами

$$\begin{aligned}
 G_{II} = & \left[ \left( 4540 + 600 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) + \left( 6950 - 136 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) \omega^{1/2} \varphi_1 - \right. \\
 & \left. - \left( 1930 - 246 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) \omega \varphi_1^2 + \left( 272 - 21,6 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) \omega^{3/2} \varphi_1^3 \right] \times \\
 & \times \frac{ar^2 E}{\omega^{5/2}} \frac{\text{кН} \cdot \text{м}}{\text{рад}}, \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{II} = & \left[ \left( 457 + 268 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) - \left( 209 - 150 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) \omega^{1/2} \varphi_1 + \right. \\
 & \left. + \left( 8 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4} \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) \omega^4 \varphi_1^8 \right] \frac{ar^2 \sigma_T}{\omega^2 \kappa_{II}} \text{кН} \cdot \text{м}, \quad (10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{2II} = & \left[ \left( 739 + 138 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) + \left( 302 + 54 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) \omega^{1/2} \varphi_1 + \right. \\
 & \left. + \left( 2,9 \cdot 10^{-4} - 7 \cdot 10^{-5} \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) \omega^4 \varphi_1^8 \right] \frac{ar^2 \sigma_T}{\omega^2 \kappa_{II}} \text{кН} \cdot \text{м}, \quad (11)
 \end{aligned}$$

б) для узла с кольцевыми ребрами:

$$G_R = \left[ \left( 2610 + 257 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) + \left( 3460 + 240 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) \omega^{1/2} \varphi_0 + \right. \\ \left. + \left( 346 - 40 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) \omega \varphi_0^2 - \left( 51 - 2 \frac{a}{r} \omega^{1/2} \right) \omega^{3/2} \varphi_0^3 \right] \times \\ \times \frac{ar^2 E}{\omega^{5/2}} \frac{\text{кН} \cdot \text{м}}{\text{рад}}, \quad (12)$$

$$M_{1K} = (1397 + 571\omega^{1/2}\varphi_0 - 54,5\omega\varphi_0^2 + 38,4\omega^{3/2}\varphi_0^3) \frac{ar^2}{\omega^2} \frac{\sigma_T}{\kappa_K} \text{кН} \cdot \text{м}, \quad (13)$$

где  $\kappa_{\Pi} = 1 - \left[ 1 - \left( \frac{2\varphi_1}{\pi} \right)^2 \right] \frac{(1-a)}{2\omega^{1/2}} \frac{\delta_{\Pi}}{h}$  (14) и  $\kappa_K = 1 - \frac{\delta_K}{2\omega^{1/2}h}$  (15) —

поправочные коэффициенты на толщину ребер  $\delta$ ;  $\omega = \frac{r}{h}$  — гибкость

стенки оболочки;  $\varphi_0$  и  $\varphi_1$  — углы обхвата трубы соответственно кольцевыми и продольным ребрами;  $\delta_{\Pi}$  и  $\delta_K$  — толщина ребер с учетом толщины сварных швов соединения. Расчетная несущая способность

узла с системой ребер определяется по формуле  $M_{\text{расч.}} = m_0 \left( 1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_T} \right) \times$

$\times \frac{R}{\sigma_T} M$  (16), где  $m_0 = 1,2 [1 + (1 - K_i) \frac{\sigma_i}{2\sigma_T}]$  (17), а коэффициенты

$K_i$  принимаются в зависимости от типа узла по данным табл. 1.

Следует отметить, что для оболочек по одну сторону от узла (рис. 1) в расчете должны быть приняты половинные значения внешних изгибающих моментов, а значения жесткости узла оставлены без изменения.

Приведенные обобщенные выражения получены при расчете конкретной оболочки-трубы  $\varnothing 219 \times 5$  мм и длиной  $l=3,0$  м. Ма-

Таблица 1

Соотношение локальных мембранных и изгибных напряжений

Тип узла		Узел с кольцевым ребром	Узел с продольными ребрами			Узел с системой продольно-кольцевых ребер	
$K_1$	$a/r$	0,0	1,1	3,3	1,1	3,3	
	$\varphi_0; \varphi_1$						
$K_2$	0	0	0,092	0,304	0,092	0,304	
	$\pi/4$	0,108	0,078	0,282	0,185	0,170	
	$\pi/3$	0,121	0,097	0,286	0,210	0,190	
	$\pi/2$	0,347	0,525	0,323	0,445	0,392	
$K_3$	0	0	0,044	0,088	0,044	0,088	
	$\pi/4$	0,162	0,060	0,145	0,215	0,242	
	$\pi/3$	0,190	0,075	0,152	0,257	0,307	
	$\pi/2$	0,413	0,927	0,720	0,512	0,558	

а

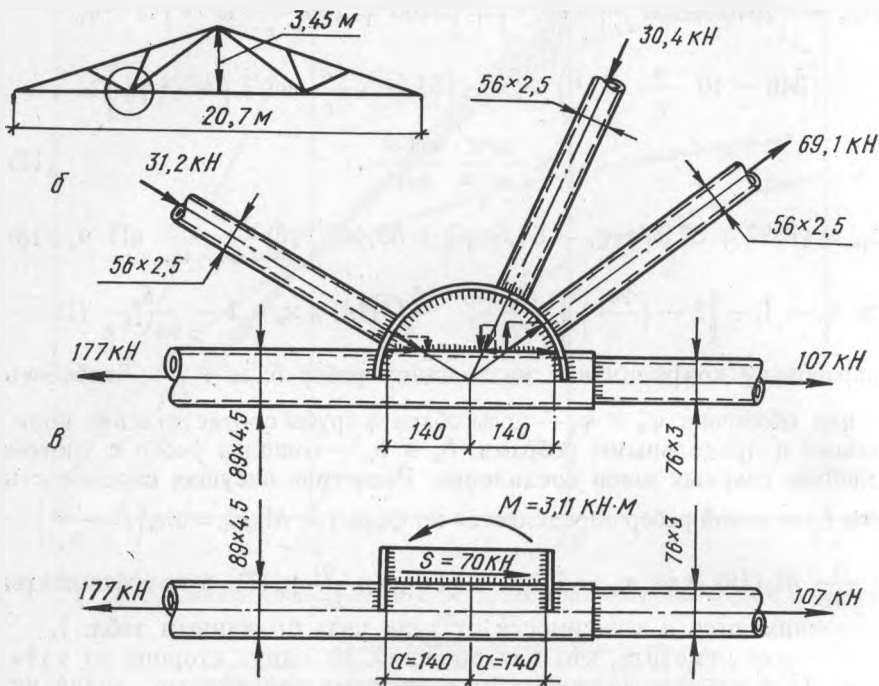


Рис. 3. Узел нижнего пояса трубчатой фермы:

а — геометрическая схема; б — соединение на цилиндрической вставке; в — нагружение трубчатого пояса в узле.

териал трубы — сталь класса С60/45 ( $\sigma_T = 450$  МПа;  $E = 2,1 \times 10^5$  МПа;  $\mu = 0,3$ ). При этом варьировались размер  $a$  и угловые параметры  $\varphi_0$  и  $\varphi_1$  ( $0 < \varphi_0 \leq \frac{\pi}{2}$ ,  $\varphi_1 < \varphi_0$ ).

Последовательное использование формул (9—15), (4, 5), (6, 7, 8) и (16, 17) дает возможность провести расчет длинной цилиндрической оболочки на контактную нагрузку и оценить несущую способность и жесткость узла, состоящего из системы продольно-кольцевых ребер. При этом предлагаемый инженерный метод расчета не требует применения вычислительной техники и может быть использован научно-исследовательскими и проектными организациями при вариантном проектировании узлов и проверочных расчетов несущей способности трубчатых конструкций. Проиллюстрируем практический метод расчета узла на примере, пользуясь только рабочими формулами, в отличие от примера расчета с помощью графиков [3].

**Пример.** Рассчитать узел трубчатой фермы с цилиндрической вставкой (рис. 3) производственного сельскохозяйственного здания. Материал конструкции — сталь класса С38/23 ( $\sigma_T = 240$  МПа;  $R =$



= 210 МПа). Труба пояса  $\varnothing 89 \times 4$  мм;  $r = 42,5$  мм;  $\omega = \frac{42,5}{4} = 10,625$ ;  $\omega^{1/2} = 3,26$ ;  $\omega^2 = 112,89$ ;  $\omega^{3/2} = 34,63$ ;  $\omega^{5/2} = 367,98$ ;  $F = 10,68$  см<sup>2</sup>. Расчетная схема узла принимается в виде системы ребер с одним продольным ребром длиной  $2a = 280$  мм и двух кольцевых по его концам с углом обхвата трубы  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$  (рис. 3).

**Решение 1.** По формулам (10) и (13) вычисляем несущую способность узла соответственно с продольным и с кольцевыми ребрами:

$$а) M_{\Pi} = \left( 457 + 268 \frac{0,14}{0,0425} \cdot 3,26 \right) \frac{0,14 \cdot 0,0425^2}{112,89} 450 = 3,4 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$б) M_{\kappa} = (1397 + 571 \cdot 3,26 \cdot 1,571 - 54,5 \cdot 10,625 \cdot 2,467 + 38,4 \times \\ \times 34,63 \cdot 3,876) \frac{0,14 \cdot 0,0425^2}{112,89} \cdot 450 = 8,2 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

2. По формулам (9) и (12) находим значения жесткости узла только с продольным и только с кольцевыми ребрами:

$$а) G_{\Pi} = \left( 4540 + 600 \frac{0,14}{0,0425} \cdot 3,26 \right) \frac{0,14 \cdot 0,0425^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{367,98} = 1590 \frac{\text{кН}\cdot\text{м}}{\text{рад}};$$

$$б) G_{\kappa} = \left[ \left( 2610 + 257 \frac{0,14}{0,0425} \cdot 3,26 \right) + \left( 3460 + 240 \frac{0,14}{0,0425} \cdot 3,26 \right) 3,26 \times \right. \\ \times 1,571 + \left. \left( 346 - 40 \frac{0,14}{0,0425} \cdot 3,26 \right) 10,625 \cdot 2,467 - \right. \\ \left. - \left( 51 - 2 \frac{0,14}{0,0425} \cdot 3,26 \right) 34,63 \cdot 3,876 \right] \frac{0,14 \cdot 0,0425^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{367,98} = \\ = 4320 \frac{\text{кН}\cdot\text{м}}{\text{рад}}.$$

3. Так как  $\frac{G_{\Pi}}{G_{\kappa}} = \frac{1590}{4320} = 0,368 < 1$ , то коэффициент  $\alpha$  определяется по формуле (5):  $\alpha = \frac{1590}{2 \cdot 4320} - 0,25 \left( 1 - \frac{1590}{4320} \right)^2 = 0,084$ , и жесткость узла (7)

$$G = \frac{G_{\kappa}}{1 - \alpha} = \frac{4320}{0,916} = 4720 \frac{\text{кН}\cdot\text{м}}{\text{рад}}.$$

4. Определяем (8)  $\frac{M_{\Pi}}{\alpha} = \frac{3,4}{0,084} = 40,5$  кН·м и  $\frac{M_{\kappa}}{1 - \alpha} = \frac{8,2}{0,916} = 8,96$  кН·м, оставляя наименьшее значение для расчета.

5. С учетом поправки на толщину кольцевого ребра и сварных швов соединения при  $\delta_{\kappa} = 6$  мм и  $h_{\Pi} = 4$  мм, определяемой по формуле (15)  $\eta_{\kappa} = 1 - \frac{1}{2 \cdot 3,26 \cdot 0,4} = 0,62$ , находим величину узлового

момента при исчерпании упругой работы узла с системой ребер

$$\frac{M_k}{(1 - \alpha) \gamma_k} = \frac{8,96}{0,62} = 14,6 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

6. Принимая во внимание малую жесткость кольцевых ребер из своей плоскости, можно не учитывать коэффициент концентрации под их концами, то есть  $K_s = 1$ . Тогда продольное напряжение в трубе пояса фермы  $\sigma_0 = \frac{N + K_s \cdot s}{F} = \frac{107 + 1,0 \cdot 70}{10,68} = 165,7$  МПа и коэффициент (17)  $m_0 = 1,2 \left[ 1 + (1 - 0,35) \frac{165,7}{480} \right] = 1,47$ , где определяемый из таблицы (1)  $K_1 = 0,35$ .

7. Определяем несущую способность узла по формуле (16)  $M_{\text{расч}} = 1,47 \left( 1 - \frac{165,7}{240} \right) \frac{210}{240} \frac{240}{450} \cdot 14,6 = 3,11$  кН·м, что совпадает с величиной момента на рис. 3.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Ильяевич С. А., Решетников Б. Н.* Исследование стальных трубчатых ферм. Известия вузов.—«Строительство и архитектура», 1974, № 8.
2. *Мурашко Н. Н.* Напряженно-деформированное состояние узлов с ребрами трубчатых стальных конструкций. Автореферат диссертации МИСИ им. В. В. Куйбышева, М., 1977.
3. *Мурашко Н. Н., Соболев Ю. В.* О расчете узлов легких конструкций покрытий производственных сельскохозяйственных зданий.— В сб.: Вопросы строительства и архитектуры, вып. VII, Мн., «Высшая школа», 1977.
4. *Соболев Ю. В., Мурашко Н. Н.* К расчету напряженно-деформированного состояния узлов трубчатых ферм. Известия вузов.—«Строительство и архитектура», 1975, № 11.
5. *Соболев Ю. В., Мурашко Н. Н.* Контактная задача при локальном нагружении цилиндрической оболочки через систему продольно-кольцевых ребер. Теоретические проблемы стальных конструкций. Братислава, 1975.
6. *Соболев Ю. В., Мурашко Н. Н.* Теоретическое исследование бесфасонного Т-образного узла трубчатой фермы. Известия вузов.—«Строительство и архитектура», 1976, № 8.
7. *Соболев Ю. В., Алешин Н. Н., Мурашко Н. Н., Попова Р. А.* К расчету упругих замкнутых цилиндрических оболочек с нагрузкой в середине пролета, приложенной к продольно-радиальному ребру. Известия вузов.—«Строительство и архитектура», 1974, № 6.

УДК 624.041.2:624.072.233.5

Р. Н. ЯГОЛКОВСКИЙ

### РАСЧЕТ СТОЕК КАРКАСА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗДАНИЯ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ОСНОВАНИЯ

Расчетные схемы поперечных каркасов одноэтажных производственных зданий сельскохозяйственного назначения, как правило, представляют собой рамные системы, стойки которых в нижней части жестко закреплены в недеформируемом основании, вверху шарнирно соединены с ригелями. Ригель в свою