УДК 624.014.072.2

Н.Н. Мурашко, Ю.В. Соболев (канд.техн.наук)

Брестский инженерно-строительный институт

О РАСЧЕТЕ УЗЛОВ ЛЕГКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Применение металлических конструкций покрытий в сельскохозяйственных производственных зданиях - по существу, новая область строительства. Специфические условия изготовления, транспортировки, монтажа и эксплуатации металлоконструкций для таких зданий не позволяют в полной мере использовать решения, отработанные многолетней практикой промышленного строительства, и требуют применения новых конструктивных форм.

В настоящее время в покрытиях сельскохозяйственных производственных зданий применяются асбестоцементные утепленные плиты типа "сэндвич" размером 300х150х19 см и массой до 2750 Н, а также легкие панели с оцинкованным профилированным настилом. Плиты укладываются по верхним поясам ферм (без прогонов) с шагом 3 м. При облегченных покрытиях их нагрузка с учетом собственного веса несущих конструкций составляет менее 1000 Н/м^2, что дает возможность эффективно внедрять легкие стальные конструкции покрытий с использованием тонкостенных труб. Уменьшение нагрузок открывает возможности для создания новых конструктивных решений комбинированных систем, выполненных из набора различных типов профилей с выгодным применением труб из обычной углеродистой стали [1], а также позволяет существенно упростить технологию изготовления и снизить затраты на транспортировку и монтаж.

Следует отметить, что ограниченное применение металла в сельскохозяйственном строительстве[1] и дефицитность труб пока исключают необходимость организации поточного производства трубчатых конструкций с бесфасоночным соединением узлов и применением дорогостоящих станков-автоматов по фигурной резке концов труб на существующих сравнительно небольших заводах металлоконструкций. Поэтому представляется раци-

---

[1] Правилами ТП-101-73 применение стали для строительства сельскохозяйственных производственных зданий разрешено при собственной массе покрытия менее 1000 Н/м^2.

ональным изготовление ферм покрытий с узлами на поперечных цилиндрических (рис. 1, б), призматических и сферических вставках или со сплющиванием концов труб решетки, что позволяет организовать производство даже на строительной площадке с резкой концов труб на дисковой пиле.

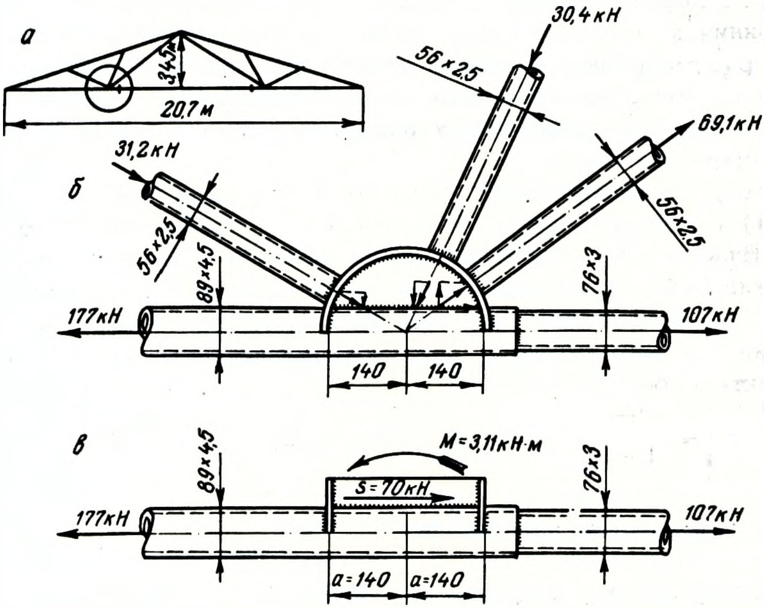

Рис. 1. Соединение в узлах трубчатых элементов комбинированной системы: а – геометрическая схема фермы; б – узел на поперечной цилиндрической вставке; в – нагружение трубы пояса фермы в узле.

Сельстройкомбинатами (ССК) "Главмособлстроя" [2] налажено производство унифицированных треугольных ферм (рис. 1, а) легкого типа с пролетами 12, 18 и 21 м в виде комбинированной системы[2] (верхний пояс П-образного сечения, а остальные элементы из труб). Такие фермы особенно эффективны в климатических условиях Белоруссии, так как расчетная снеговая нагрузка, являясь основной нагрузкой, принимается 700 Н/м^2. Тогда нагрузка на покрытие составляет 1650 Н/м^2 и трубчатые элементы подбираются по предельной гибкости.

[2] Ферма запроектирована институтом Мосгипросельстрой совместно с ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко из обычной углеродистой стали под нагрузку 2350 Н/м^2 с применением в узлах цилиндрических вставок, подкрепленных диафрагмой (серия 1.860-1).

Принятое для ферм покрытий конструктивное решение узлов в виде системы продольно-кольцевых ребер, через которые передается усилие (узловой момент и сдвигающая сила) (рис. 1, в) на цилиндрическую оболочку, находит также широкое применение в листовых конструкциях сельскохозяйственного строительства. Тем самым встает проблема напряженно-деформированного состояния комбинированного узла, при решении которой необходимо рассматривать сложную контактную задачу сопряжения цилиндрической оболочки с элементами включения, а также разработка методов инженерных расчетов подобных узлов в практике проектирования.

Итак, рассматривается относительно тонкая оболочка ($h/r < 0,1$) с использованием технической моментной теории В.З. Власова [8]; оболочка предполагается длиной ($l/r > 8$); к системе ребер приложены продольный момент M и сдвигающая сила S. Контактная нагрузка представляется в виде линейной комбинации элементарных нагрузок, приложенных по линиям контакта ребер с оболочкой,

$$Q_i = \sum_{k=0,1,2} A_{ik} q_{ik}; \quad T_i = \sum_{k=0,1,2} B_{ik} \tau_{ik};$$

$$S_{ik} = \sum_{k=0,1,2} C_{ik} s_{ik}, \tag{1}$$

где $i = 1; 2;$ A_{ik}, B_{ik}, C_{ik} – искомые коэффициенты контактной нагрузки; $q_{ik}, \tau_{ik}, s_{ik}$ – линейно независимая система функций, принимающая нулевые значения за пределами кольцевых и продольного ребер и выполняющая роль концентраторов контактной нагрузки под их концами. В качестве основной системы принимается оболочка открытого типа, получаемая из рассматриваемой путем фиктивных разрезов по срединным плоскостям ребер. Тогда контактная нагрузка оказывается приложенной по краям открытой оболочки в виде контурных усилий, вследствие чего разрешающая система дифференциальных уравнений (равновесия и совместности) в частных производных превращается в однородную относительно радиального W и тангенциальных V и U перемещений.

$$\nabla^8 W + 12(1-\mu^2)(r/h)^2 \partial^4 W / \partial \xi^4 = 0;$$

$$\nabla^4 V + (2+\mu) \partial^3 W / \partial \xi^2 \partial \varphi + \partial^3 W / \partial \varphi^3 = 0;$$

$$\nabla^4 U + \mu \partial^3 w/\partial \xi^3 - \partial^3 w/\partial \xi \partial \varphi^2 = 0, \qquad (2)$$

где $\nabla^8 = (\nabla^4)^2 = (\nabla^2)^4$; $\nabla^2 = \partial^2/\partial\xi^2 + \partial^2/\partial\varphi^2$ – оператор Лапласа; $\xi = x/r$; $\varphi = y/r$ – относительные (продольная и кольцевая) ординаты; μ – коэффициент Пуассона.

Решение разрешающей системы дифференциальных уравнений принимается в виде одинарных тригонометрических рядов в предположении шарнирного опирания оболочки по торцам для кольцевого и продольного ребер:

$$W = \sum_{n=0,1,2,} W_n(\xi)\cos n\varphi\ ; \ W = \sum_{n=0,1,2} \bar{W}_n(\varphi) f_n(\xi);$$

$$f_n(\xi) = \left[(1+(-1)^n)/2\right]\sin\lambda_n\xi + \left[(1-(-1)^n)/2\right]\cos\lambda_n\xi \qquad (3)$$

соответственно для кольцевого и продольного ребер; $\lambda_n = \pi r n/l$ – параметр трубы; n – порядковый номер разложения решения в тригонометрический ряд.

Подставляя выражения (3) в систему (2), находим функциональные (гиперболотригонометрические) коэффициенты $W_n(\xi)$ и $\bar{W}_n(\varphi)$ с 8-ю константами интегрирования для каждого члена ряда. При этом контурные силы в местах фиктивных разрезов также разлагаются в ряд по фундаментальным функциям решения оболочки. Из физических соображений, учитывая эффект быстрого затухания силового возмущения в окружном продольном направлениях, получаем в выражениях компонент перемещений для каждого члена ряда по четыре константы интегрирования, чем игнорируется взаимное влияние загруженных краев оболочки. Переход от основной системы к расчетной осуществляется путем смыкания краев оболочки по кольцевым и продольным разрезам. Константы интегрирования определяются из условий неразрывности оболочки в местах фиктивных разрезов: $\frac{\partial W}{\partial \varphi} = 0$; $V = 0$; $\frac{\partial U}{\partial \varphi} = 0$ – для продольного разреза при радиальной нагрузке; $W = 0$; $\frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} = 0$; $U = 0$ – то же при тангенциальной (кольцевой) нагрузке; $\frac{\partial W}{\partial \xi} = 0$; $\frac{\partial V}{\partial \xi} = 0$; $U = 0$ – для кольцевого разреза при радиальном направлении нагрузки; $\frac{\partial W}{\partial \xi} = 0$; $\frac{\partial^3 W}{\partial \xi^3} = 0$; $U = 0$ – то же для сдвигающей силы. Четвертое условие для определения констант принимается в функции величины нагрузки каждого из ребер рассматриваемой системы. Взаимосвязь между коэффициентами разложения нагрузки в ряд и соответствующими коэффициентами перемещений устанавливается на основе дифференциальных зависимостей внутренних усилий в оболочке M_i ; T_i ; S_i - соответственно изгибающих моментов, цепных усилий и сдвигающих сил в продольном ($i = 1$) и кольцевом ($i = 2$) сечениях оболочки от W , V и U [3] .

Таким образом, окончательно приходим к следующим выражениям радиального перемещения оболочки при действии радиальной $2\,Q_2$ и тангенциальной $2\,S_2$ контактных нагрузок в месте опирания продольного ребра ($\varphi = 0$):

$$W = \sum_{n=0,1,2} \sum_{k=0,1} A_{2k} \bar{a}_{kn} \bar{\beta}_n \bar{F}_n(\varphi) f_n(\xi);$$

$$W = \sum_{n=0,1,2} \sum_{k=0,1} B_{2k} \bar{b}_{kn} \bar{\gamma}_n \bar{F}^*_n(\varphi) f_n(\xi). \tag{4}$$

Аналогичные выражения могут быть записаны для тангенциальных перемещений.

В случае передачи на оболочку радиальной $2Q_1$ и тангенциальной $2S_1$ нагрузок через кольцевое ребро получены следующие выражения прогиба:

$$W = \sum_{n=0,2,4} \sum_{k=0,1} A_{1k} a_{kn} \beta_n F_n(\xi) \cos n\varphi ;$$

$$W = \sum_{n=0,2,4} \sum_{k=0,1} B_{1k} b_{kn} \gamma_n F^*_n(\xi) \cos n\varphi . \tag{5}$$

Аналогичные выражения могут быть записаны для тангенциальных перемещений. Входящие в выражения (4) и (5) коэффициенты контактной нагрузки A_{ik} и B_{ik} определяются из решения контактной задачи методом коллокаций, удовлетворяя тем самым условию совместности перемещений оболочки и каждого из ребер в отдельных точках, число которых соответствует числу коэффициентов контактной нагрузки в зависимости от требуемой точности решения задачи.

Как показал анализ [4] , следует ограничиться пятью точками коллокаций для каждого из ребер, располагая их равномерно на полудлине ребра (а - для продольного, $r\,\varphi_0$ - для кольцевого) при действии кососимметричной нагрузки, каковой является узловой момент M и сдвигающая сила S. Тогда для системы ребер рассматриваемого узла (рис. 1, в) получим следующую систему линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов контактной нагрузки, записанную в матричной форме:

$$\left[\begin{array}{c|c} Д & Е \\ \hline Б & Г \end{array}\right]\left[\begin{array}{c} A_o \\ A_{r_1} \\ \hline B_o \\ B_{t_1} \end{array}\right] = \theta h \left[\begin{array}{c} 1-\dfrac{\omega_1(\varphi_r)-\omega_2(\frac{a}{r})}{\theta h} \\ \hline \dfrac{r}{a}\xi_t-\dfrac{\omega_2(\xi_t)}{\theta h} \end{array}\right] \quad (6)$$

где

$$Д - \sum_{j=1;2}\sum_{n=0,1,2} a_{kn}\left[F_{jn}(0)-F_{jn}(2\xi_o)\right]\cos n\varphi_r;$$

$$Б - \sum_{j=1;2}\sum_{n=0,1,2} a_{kn}\left[F_{jn}(\xi_o-\xi_t)\,F_{jn}(\xi_o+\xi_t)\right];$$

$$Е - \sum_{j=1,2}\sum_{n=0,2,4} b_{kn}F_{jn}(\varphi_r)\sin\lambda_n\xi_o;$$

$$Г - \sum_{j=1,2}\sum_{n=0,2,4} b_{kn}F_{jn}(0)\sin\lambda_n\xi_t,$$

где a_{kn} и b_{kn} – коэффициенты разложения функций q_{ik} [1] в тригонометрический ряд; $F_{jn}(t)=C_{jn}(t)A_{jn}(t)+D_{jn}(t)B_{jn}(t)$; $(j=1;\ 2)$ – функции распределения перемещения в кольцевом направлении (для продольного ребра) и в продольном направлении (для кольцевого ребра); C_{jn} и D_{jn} – константы интегрирования; $A_{jn}(t)=e^{-\alpha_{jn}(t)}\cos\beta_{jn}(t)$; $B_{jn}(t)=e^{-\alpha_{jn}(t)}\sin\beta_{jn}(t)$ – функции затухания силового возмущения; $\bar{\beta}_n$ и β_n – функции влияния n-й единичной компоненты контактной нагрузки соответственно для продольного и кольцевого ребер на амплитудное значение перемещения; α_{jn} и β_{jn} – параметры решения характеристических уравнений для кольцевого и продольного ребер соответственно в функции ξ и φ; ω_1 и ω_2 – перемещения кольцевого и продольного ребер, учитывающие их изгиб и податливость сварного шва соединения; $\theta = W/h$ – коэффициент отношения максимального перемещения ребра к толщине оболочки; $r = 1, 2, \ldots, r_1$; $t = 1, 2, \ldots, t_1$ – точки коллокаций [5].

Определив из системы (6) коэффициенты контактной нагрузки, вычисляем перемещения и все интересующие нас компоненты тензора внутренних усилий оболочки, определяющего ее моментное состояние:

$$M_1 = D/r^2(\partial^2 W/\partial\xi^2 + \mu\,\partial^2 W/\partial\varphi^2);$$

$$M_2 = D/r^2(\partial^2 W/\partial\varphi^2 + \mu\,\partial^2 W/\partial\xi^2);$$

$$T_1 = Eh/(1-\mu^2)\,r[\partial U/\partial\xi + \mu(\partial V/\partial\varphi + W)];$$

$$T_2 = Eh/(1-\mu^2)\,r(\partial V/\partial\varphi + W + \mu\partial U/\partial\xi);$$

$$Q_1 = D/r^3[\partial^3 W/\partial\xi^3 + (2-\mu)\,\partial^3 W/\partial\xi\partial\varphi^2];$$

$$Q_2 = D/r^3[\partial^3 W/\partial\varphi^3 + (2-\mu)\,\partial^3 W/\partial\xi^2\partial\varphi].$$

Числовые расчеты производились в вычислительном центре МИСИ им. В.В. Куйбышева для оболочки-трубы длиной $l = 3$ м и сечением Ø 219 x 5; материал трубы – сталь класса С 60/45; ($\sigma_т = 450$ МПа; $E = 2{,}1 \cdot 10^{-5}$ МПа; $\mu = 0{,}3$). Размеры ребер варьировались, и при этом были просчитаны случаи $a/r = 1{,}1$ и 3,3 для продольного ребра; $\varphi_o = 0$; $\pi/4$; $\pi/3$; $\pi/2$ – для кольцевого ребра. Высоты ребер ($h_ф = 24$; 12; 6 см) принимались равными $(0{,}5 - 2)r$, толщина фасонки $\tilde{\delta}_ф = 1{,}2$ см. Было установлено, что влиянием изгиба ребра можно пренебречь при его $h_ф > r$.

Для разработки инженерного метода расчета узлов с применением ребер в трубчатых стальных конструкциях используемый метод подобия [6] дал возможность обобщить численные решения, полученные для конкретных соотношений расчетных геометрических параметров узла и физических констант материала. Метод подобия позволил свести расчет различных цилиндрических оболочек с произвольным соотношением радиуса кривизны и толщины стенки r^*/h^* к некоторой, заранее выбранной, цилиндрической оболочке, называемой "базисной", с гибкостью стенки $r/h = 22$, не производя трудоемких расчетов при решении контактной задачи и определении напряженного состояния. Переход от частного решения к обобщенному путем замены (пересчета) параметров "базисной" оболочки на произвольные осуществляется с помощью следующих формул:

$$a^* = (a/\Pi)(r^*/r); \quad \varphi_o^* = \varphi^o/\Pi,$$

где $\Pi = \sqrt[4]{(1-\mu^{*2})(1-\mu^2)}\sqrt{(r^*/h^*)(h/r)}$ при $W^* = Wh^*/h$;

$$\sigma^* = (\sigma/\Pi^2)(E^*/E); M^* = \hat{M}(a,\varphi)(h^*/h)^2(\sigma_т^*/\sigma_т)2a^*; \tag{8}$$

$$G^* = \hat{G}(a,\varphi)(1/\Pi)(h^*/h)^2 a^*(E^*/E),$$

где $\hat{M}$ и $\hat{G}$ – соответственно несущая способность и жесткость "базисной" оболочки по исчерпании упругой работы сечения; M^* и G^* – то же произвольной оболочки.

При определении несущей способности произвольной оболочки, нагруженной через одно ребро, формула имеет вид

$$P^* = M^*/2a^* = \hat{M}(a,\varphi)(h^*/h)^2\sigma_т^*/\sigma_т. \tag{9}$$

На основе проведенных теоретических исследований разработан аналитический метод расчета узлов с системой ребер, использующий в качестве критерия предельной несущей способности условие появления полного пластического шарнира в сечениях стенки трубы в локальной области концентрации напряжений. Учитывая последнее обстоятельство, рассматривается псевдоупругое состояние оболочки с привлечением теории Прагера – Кунце и условия Гиркмана. При этом получаем возможную величину максимального краевого напряжения, вызываемую продольным узловым моментом

$$\sigma = m\varepsilon\,(1+k_1)/(0{,}7+k_1)(\sigma_т - \sigma_o), \tag{10}$$

где $\sigma_o = N + kS/F$ – продольное основное напряжение в трубе от осевой нагрузки N и продольной сдвигающей силы S в узле с учетом вызываемой ею концентрации напряжений [7], определяемой коэффициентом $k = \frac{1}{2} + \frac{5}{2}\,\frac{1-0{,}32\varphi_o}{1+2{,}2\varphi_o} \geq 1$; коэффициент $k_1 = \sigma_{10}/\sigma_{1u}$ представляет собой отношение мембранного компонента локального краевого напряжения к изгибному, определяемому из решения цилиндрической оболочки; $m = (1 + \bar{k}_1) / (0{,}7 + \bar{k}_1) = 1{,}2$ – коэффициент, учитывающий высокий градиент затухания локальных напряжений и вызванный этим дополнительный резерв псевдоупругой работы оболочки; $k_1 = \bar{\sigma}_{10}/\bar{\sigma}_{1u}$; $\varepsilon = 1{,}2\ [1 + (1 - k_1)\ \sigma_o/2\sigma_т]$ – коэффициент перехода от формулы Прагера – Кунце $\sigma_{1u}/\sqrt{2} + \sigma_{10} = \sigma_т - \sigma_o$ к формуле Гиркмана $\left(\frac{\sigma_{10} + \sigma_o}{\sigma_т}\right)^2 + \sigma_{1u}/\sigma_т = 1$.

С учетом выражений (8) расчетный внешний момент M, воспринимаемый узлом трубы с расчетным сопротивлением стали $R \approx \sigma_т / m$, определяется по формуле

$$M = M_o (1 - \sigma_o/\sigma_т)\varepsilon \quad \text{при} \quad \sigma_т = 450\ \text{МПа}, \tag{11}$$

где M_o – внешний момент, вызывающий в зоне концентрации напряжения оболочки на величину $\sigma = (1 + k_1)/(0{,}7 + k_1)\,\sigma_т$.

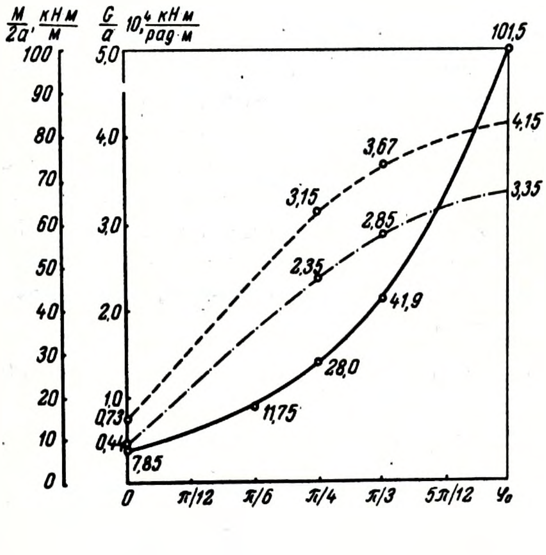

Рис. 2. Графики несущей способности и жесткости узла с кольцевыми ребрами: —— – несущая способность узла с поперечным ребром; – – – – – – жесткость узла с двумя поперечными ребрами при a=0,363; –.–.–.–. – то же при a = 0,121 м.

На рис. 2 приведены значения величины $M_k/2a$ и жесткости узла G_k/a при приложении внешнего момента к паре кольцевых ребер с углом охвата трубы $2\varphi_o$ при интервале между ними $2a$. Аналогичные графики получены и для продольных ребер. В случае комбинации ребер (продольных и кольцевых) может быть предложено приближенное решение, использующее парциальные решения только для кольцевых и только для продольных ребер. Распределение нагрузки в узле с системой продольно-поперечных ребер характеризуется коэффициентом $\alpha = M_п / M$, показывающим, какая величина от общей нагрузки передается через продольное ребро. Доля участия в работе каждого из ребер определялась на основе решений контактных задач цилиндрической оболочки трубы, нагруженной через комбинацию ребер [5].

Аппроксимация полученных данных на основе численного исследования комбинированных узлов позволила построить график коэффициента α (из-за ограниченности объема статьи не приводится) и установить выражения в двух областях его существования:

в области I при $G_п / G_k \leq 1$ $\alpha_1 = G_п / 2G_k - (1/4)(1 - G_п / G_k)^2$;

$0 \leq \alpha_1 \leq 0{,}5$;

в области II при $G_п / G_k \geq 1$ $\alpha_2 = G_п / 2G_k - (\varphi_1 / 8\varphi_0) \times$

$$\times (G_п / G_k - 1)^2; \qquad (12)$$

$0{,}5 \leq \alpha_2 \leq 1{,}0$.

Следовательно, в зависимости от соотношения $G_п / G_k$ по формулам (12) вычисляется коэффициент α. Далее находим M_o как минимум из двух значений $M_k / 1 - \alpha$ и $M_п / \alpha$, где $M_к$ и $M_п$ определяются по графикам для "базисной" оболочки. Наконец, по формуле (11) определяется несущая способность узла с применением ребер в трубчатой конструкции или листовой конструкции в более широком смысле. Чтобы воспользоваться графиком (рис. 2) при произвольных параметрах оболочки необходимо применить метод подобия и соответствующие формулы (8).

Для пояснения предлагаемого метода расчета узлов с ребрами в трубчатых фермах вновь обратимся к узлу (рис. 1,б), приняв для кольцевого ребра $\varphi_o = \pi / 2$, при котором в запас прочности до 10% можно пренебречь работой продольного ребра и считать $\alpha = 0$.

Пример. Труба нижнего пояса фермы Ø 89х4,5 мм ($r^* = 42{,}25$ мм; $\omega = r^* / h^* = 9{,}4$; $F = 11{,}94$ см^2); сталь класса С 38/23 ($\sigma_т = 240$ МПа).

Решение. 1. Определяем $\sigma_o = N + kS / F$, где $N = 107$ кН;

$$S = 70 \text{ кН}; \quad k = 0{,}5 + 2{,}5 \frac{1 - 0{,}32 \varphi_o^*}{1 + 2{,}2 \varphi_o^*} = 0{,}78. \text{ Принимаем } k = 1,$$

тогда $\sigma_o = \dfrac{177}{11{,}94} = 148$ МПа.

2. Вычисляем коэффициент подобия $П = \sqrt{r^* / h^* \; h / r} = \sqrt{\dfrac{42.25}{4{,}5} \cdot \dfrac{5}{107}} = 0{,}659$.

3. Приводим произвольную (рассматриваемую) оболочку к "базисной" $\varphi^o = П \varphi_o^* = 0{,}659 \; \pi / 2 = 0{,}379\pi$. По графику (рис. 2) находим $M_{1k} / 2a = 41{,}0$ кН · м и определяем величину внешнего момента по формуле (8) $M_k^* = 41 \left(\dfrac{0{,}45}{0{,}5}\right)^2 \cdot 0{,}28 = 9{,}3$ кН · м.

4. С учетом поправки на толщину кольцевого ребра и сварных швов при $\delta_ф = 0{,}8$ см, определяемой по формуле $æ_k = 1 - \delta_ф / 2\omega^{1/2} h = 1 - \dfrac{0{,}8}{2 \cdot 3{,}065 \cdot 0{,}45} = 0{,}71$, получаем откорректированную величину момента $M_k^* / æ_k = \dfrac{9{,}3}{0{,}71} = 13{,}1$ кН · м.

5. Определяем расчетную несущую способность узла по формуле (11)

$$M = 13{,}1 \left(1 - \frac{148}{240}\right) \cdot 1{,}42 \cdot \frac{240}{450} = 3{,}79 \text{ кН} \cdot \text{м, где}$$

$$\varepsilon = 1{,}2 \left[1 + (1 - 0{,}4) \frac{148}{480}\right] = 1{,}42 \text{ при } k_1 = 0{,}4.$$

Таким образом, несущая способность узла обеспечена, так как превышает узловой момент, равный 3,11 кН · м.

Резюме. Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния комбинированного узла позволили на основе метода подобия разработать инженерный метод расчета узлов трубчатых конструкций.

Литература

1. Ильясевич С.А., Решетников Б.Н. Исследование стальных трубчатых ферм. - "Изв. вузов. Строительство и архитектура", 1974, № 6. 2. Илларионов В.Ф. Сельский строительный комбинат. М., 1975. 3. Власов В.З. Общая теория оболочек. М. - Л., 1949. 4. Соболев Ю.В., Алешин Н. Н. Напряженно-деформированное состояние цилиндрической оболочки при приложении радиальной внешней нагрузки к продольному ребру. - "Изв. вузов. Строительство и архитектура", 1973. № 7. 5. Соболев Ю.В., Мурашко Н.Н. Контактная задача при локальном нагружении цилиндрической оболочки через систему продольно-кольцевых ребер. - In: Zbornik prednások zo sympózia "Teoretické problemy oceľóvych konštrukcie." Bratislava, 1975. 6. Соболев Ю.В. и др. К расчету упругих замкнутых цилиндрических оболочек с нагрузкой в середине пролета, приложенной к продольно-радиальному ребру. - "Изв. вузов. Строительство и архитектура", 1974, № 6. 7. Соболев Ю.В., Мурашко Н.Н. К расчету напряженно-деформированного состояния узлов трубчатых ферм. - "Изв. вузов. Строительство и архитектура", 1975, № 11.

УДК 69.057.12:728.9.003.1

В.И. Скрибо (канд.техн.наук), М.М. Борзенко

Институт строительства и архитектуры
Госстроя БССР

О ШАГЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Опыт проектирования, сооружения и эксплуатации сельскохозяйственных производственных зданий показывает, что задача снижения материалоемкости и трудоемкости строительства наиболее эффективно решается за счет облегченных ограждений, создающих условия для укрупнения шага несущих конструкций. В этой связи, учитывая большие объемы строительства, следует критически подойти к анализу принятой в настоящее время конструктивной схемы сельскохозяйственных производственных зданий.