Тогда для квадратичной теории

$$\sigma^{ik} = \lambda^{mti}\lambda^{nsk}[(1-2\nabla_p u^p)\nabla_{mn}\chi_{st} - \nabla_{ms}u^p\nabla_n\chi_{pt} -$$

$$-\nabla_{mn}u^p\nabla_p\chi_{st} - \nabla_{nt}u^p\nabla_m\chi_{st}] .$$

Тензор функций напряжений используется в решении трехмерных задач и является обобщением функции Эри в плоской задаче и функции Прандтля в задачах на кручение стержней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л у р ь е А.И. Теория упругости. — М.: Наука, 1970. — 939 с. 2. Л у р ь е А.И. Нелинейная теория упругости. — М.: Наука, 1980. — 512 с. 3. Г р и н А., А д к и н с Дж. Большие упругие деформации и нелинейная механика сплошной среды. — М.: Мир, 1965. — 455 с.

УДК 622.692.23.004.001.24:519.85

Л.А.ГУРЬЕВА, канд.техн.наук,
О.К.ВИРБОЛ (Новополоцк.политехн.ин-т)

ОПТИМИЗАЦИЯ СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ПО ВЕСУ

В последние годы в связи с увеличением пропускной способности магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов наметилась тенденция к увеличению вместимости резервуаров.

В ЦНИИпроектстальконструкции разработаны проекты резервуаров с оптимальными габаритами (высотой, диаметром и полезным объемом). При этом в резервуарах объемом 10—100 тыс.м^3 за оптимальную принята высота 18 м [1]. Резервуары относятся к инженерным сооружениям, работающим в сложном напряженно-деформированном состоянии [2].

Цель настоящей статьи — разработка и реализация методики определения оптимальных значений геометрических параметров, обеспечивающих минимум показателя веса при выполнении условий прочности и устойчивости резервуаров большой вместимости со стационарным сферическим покрытием. При этом габаритные размеры считаются заданными. Для решения поставленной задачи была построена оптимизационная модель выбора наилучших значений параметров резервуара, для которой целевая функция — показатель расхода материала на конструкцию (рис. 1) — имеет вид

$$V = 2\pi(R_ц h_{ст} \sum_{i=1}^{H/h_{ст}} \delta_i + R_ц F_{шп} + R_{сф} h_{сф} \delta_{сф}) , \tag{1}$$

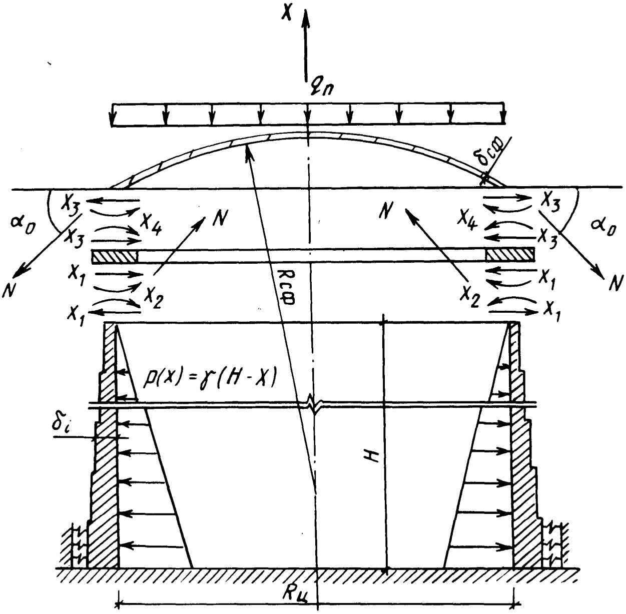

Рис. 1. Расчетная схема резервуара.

где δ_i, $F_{шп}$, $\delta_{сф}$ — параметры, оптимальные значения которых подлежат определению (δ_i — толщина поясов, мм; $F_{шп}$ — площадь поперечного сечения опорного кольца, мм^2; $\delta_{сф}$ — толщина сферы, мм); $R_ц$ — внутренний радиус резервуара, мм; $h_{ст}$ — высота поясов стенки, мм; $R_{сф}$ — внутренний радиус сферы, мм; $h_{сф}$ — высота сферического покрытия, мм.

На параметры оптимизации накладывались следующие ограничения:

$$
\begin{aligned}
g_1 &= mR - \frac{3n_1\gamma}{\beta_ц^2\delta_1^2}\left(\frac{1}{\beta_ц} - H - \frac{\delta k_ц}{n_1\gamma}\right) \geqslant 0;\\
g_2 &= mR - \frac{[n_1\gamma(H-h_{ст}) + n_3P_4]R_ц}{\delta_2} \geqslant 0;\\
g_3 &= mR - \frac{[n_1\gamma(H-2h_{ст}) + n_3p_4]R_ц}{\delta_3} \geqslant 0;\\
g_4 &= mR - \frac{[n_1\gamma(H-3h_{ст}) + n_3p_и]R_ц}{\delta_4} \geqslant 0;\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
g_{\frac{H}{h_{ст}}} &= mR - \frac{[n_1\gamma h_{ст} + n_3p_и]R_ц}{\delta_{\frac{H}{h_{ст}}}} \geqslant 0;
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

$$g_{\frac{H}{h_{ст}}+1} = \frac{cE_ц \delta_{\frac{H}{h_{ст}}}}{R_ц} - \frac{(n_1 q_п + n_2 q_{сн} - n_3 p_и) R_ц}{2\delta_{\frac{H}{h_{ст}}}} \geqslant 0;$$

$$g_{\frac{H}{h_{ст}}+2} = 0{,}55 E_ц \frac{R_ц}{H} \left(\frac{h_{ст} \sum_{i=1}^{H/h_{ст}} \delta_i}{HR_ц} \right)^{3/2} - \frac{n_3 p_и R_ц H}{h_{ст} \sum_{i=1}^{H/h_{ст}} \delta_i} \geqslant 0;$$

$$g_{\frac{H}{h_{ст}}+3} = 1 - \frac{(n_1 q_п + n_2 q_{сн} - n_3 p_и) R_ц^2}{2\delta^2_{\frac{H}{h_{ст}}} cE_ц} - \tag{2}$$

$$- \frac{n_3 p_и R_ц^{3/2} H^{7/2}}{0{,}55 \left(h_{ст} \sum_{i=1}^{H/h_{ст}} \delta_i\right)^{5/2} E_ц} \geqslant 0;$$

$$g_{\frac{H}{h_{ст}}+4} = \frac{kE_{сф} \delta_{сф}}{R_{сф}} - \frac{q_п R_{сф}}{(1 + \cos\alpha_0)\delta_{сф}} \geqslant 0;$$

$$g_{\frac{H}{h_{ст}}+5} = mR - \frac{6M_1}{\delta^2_{\frac{H}{h_{ст}}}} \geqslant 0;$$

$$g_{\frac{H}{h_{ст}}+6} = mR - \frac{6M_2}{\delta^2_{сф}} \geqslant 0;$$

$$g_{\frac{H}{h_{ст}}+7} = mR - \frac{E_{шп} W_{шп}}{R_{шп}} \geqslant 0;$$

$$h_1 = V_п - \pi R_ц^2 H_1 = 0; \quad \delta_i, \ F_{шп}, \delta_{сф} > 0,$$

где $g_1, g_2, \ldots, g_{H/h_{ст}}$ — условия прочности стенки по безмоментной теории от кольцевых усилий; $g_{\frac{H}{h_{ст}}+1}$ — условие устойчивости замкнутой круговой цилиндрической оболочки, подвергнутой равномерному сжатию параллельно образующим; $g_{\frac{н}{h_{ст}}+2}$ — действию внешнего равномерного давления, нормального к боковой поверхности цилиндра; $g_{\frac{н}{h_{ст}}+3}$ — совместному воздействию осевого сжатия и внешнего равномерного давления; $g_{\frac{н}{h_{ст}}+4}$ — условие устойчивости сферического покрытия; $g_{\frac{н}{h_{ст}}+5}$, $g_{\frac{н}{h_{ст}}+6}$ — условия прочности верхнего пояса резервуара и сферического покрытия по моментной теории; $g_{\frac{н}{h_{ст}}+7}$ — условие прочности опорного кольца (шпангоута); h_1 — уравнение, связывающее полезный объем, внутренний радиус резервуара и максимальную высоту налива нефтепродукта; R — расчетное сопротивление (предел текучести) сварного шва, МПа; m — коэффициент условий работы; $n_1 = 1{,}1$; $n_2 = 1{,}4$; $n_3 = 1{,}2$ — коэффициенты перегрузки; γ — удельный вес нефтепродукта, Н/м^3; δ_i — толщина i-го пояса, мм; H — высота стенки резервуара, мм; $\beta_ц = \sqrt[4]{\frac{E_ц \delta_1}{4R_ц^2 D_ц}}$ — коэффициент гибкости стенки; $D_ц$ — цилиндрическая жесткость, $D_ц = \frac{E_ц \delta_1^3}{12(1-\mu^2)}$; $E_ц$ — модуль упругости материала шпангоута, МПа; μ — коэффициент Пуассона; $k_ц = \frac{E\delta_1}{R_ц^2}$ — фиктивный коэффициент постели для стенки; $\delta = \frac{R_ц^2}{2E\delta_1}\left[(2-\mu)p_и + \mu q_{сн} + \frac{\mu(Q_п + 0{,}5Q_к)}{\pi R_ц^2}\right]$; $p_и$ — избыточное давление в газовом пространстве, МПа; $q_{сн}$ — интенсивность снеговой нагрузки, МПа; $Q_п$ — вес покрытия, кН; $Q_к$ — собственный вес корпуса резервуара, кН; c — коэффициент, зависящий от отношения радиуса стенки резервуара к толщине стенки; к — экспериментальный коэффициент, равный 0,15; α_0 — угол полураствора сферической оболочки; $W_{шп}$ — радиальное перемещение шпангоута, мм; $R_{шп}$ — радиус шпангоута, мм; $V_п$ — полезный объем резервуара; H_1 — максимальная высота налива нефтепродукта, мм; M_1, M_2 — моменты, возникающие в узле сопряжения кровли со стенкой резервуара (рис. 1).

При составлении уравнений (2) в виде неравенств использовалась расчетная схема, представленная на рис. 1.

Описанная выше оптимизационная модель (1), (2) относится к классу моделей нелинейного программирования.

Для решения поставленной задачи использован метод аппроксимирующего программирования (МАП) [3], который основан на многократном применении алгоритмов линейного программирования.

По данной методике была проведена на ЭВМ ЕС-1022 оптимизация резервуара со стационарной сферической кровлей вместимостью 20 тыс.м^3; $R_н$ = 19,95 м; H = 17,91 м; высотой поясов стенки $h_{ст}$ = 2 м. При этом допускалось, что поворот сечения шпангоута вокруг центра тяжести равен нулю.

Решение задачи позволило определить оптимальные значения конструктивных параметров $\delta_1 = 20$ мм, $\delta_2 = 16$ мм, $\delta_3 = 14$ мм, $\delta_4 = 12$ мм, $\delta_5 = \delta_6 = 10$ мм, $\delta_7 = \delta_8 = \delta_9 = 8$ мм, $\delta_{сф} = 15$ мм, $F_{шп} = 331 \cdot 10^2$ мм.

Реализация на ЭВМ решения поставленной задачи дает возможность проектировать резервуары большой вместимости при различных исходных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Металлические конструкции/Под ред. Н.П.Мельникова.–2-е изд. — М.: Стройиздат, 1980. — 776 с. 2. Галеев В.Б. Эксплуатация стальных вертикальных резервуаров в сложных условиях. — М.: Недра, 1981. — 149 с. 3. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. — М.: Мир, 1976. — 526 с.

УДК 624.072:681.3

В.М.ОВСЯНКО, канд.техн.наук (БПИ)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКТИВНОГО ИНВЕРСНОГО ОДНО- И ДВУКРАТНОГО ДУБЛИРОВАНИЯ НЕИЗВЕСТНЫХ ДЛЯ СИНТЕЗА ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ СВАИ ПРИ ДЕЙСТВИИ НА НЕЕ ПОПЕРЕЧНОЙ НАГРУЗКИ

Существующие методы синтеза электронных моделей алгебраических объектов [1] при разработке моделирующих устройств для расчета систем строительной механики и прикладной теории упругости обладают ограниченными возможностями. Например, популярный альфа-аналоговый способ моделирования [1] может быть применен только тогда, когда все слагаемые системы алгебраических уравнений являются положительными. С целью расширения возможностей квазианалоговых методов моделирования автором разработан метод активного инверсного одно- и двукратного дублирования неизвестных. Будем считать, что, если электрическая цепь содержит источники напряжения, эквивалентные некоторым искомым механическим величинам, отрабатываемым в виде напряжений в определенных узлах модели, а другие искомые вели-