

663.255

Т 98

Тюрин С.Т., Шалай В.В., Тюрин А.С.,
Покровский А.В., Капанидакис А.И., Мошкин В.Ф.

Об экономии материалов при
выпуске облегченных конструкций
горизонтальных цистерн

Ялта 2001

Введение

В мире из всех видов технологического оборудования стационарные и транспортные емкости для жидкости (воды, химических растворов, нефтяных, пищевых и др. продуктов) занимают одно из ведущих мест. Соответственно имеет место и расход конструкционных материалов. В связи с этим не является случайным продолжающийся изобретателями, конструкторами, учеными в различных областях техники и технологии поиск снижения расхода материалов. При этом в числе требований обычно остается сохранение как надежности и первоначальной прочности, так и технологии эксплуатации емкостей. Впервые авторским коллективом найдено техническое решение, позволяющее не только снизить материалоемкость при сохранении первоначальных прочностных показателей емкостей, но и сохранить условия их эксплуатации (9).

При изготовлении каждой цистерны возможно экономить до 26,72% металла (таблица 2) (10).

Найдено также техническое решение, позволяющее не только дополнительно снизить материалоемкость горизонтальных цистерн с полузигами без ущерба для прочностных свойств, но и расширить функции при эксплуатации изделия. Так, при экономии конструкционных материалов появилась возможность термостатировать емкости (11).

В настоящей работе сообщаются расчеты по экономии материалов при изготовлении цистерн.

Работа прошла апробацию и институтом электросварки им. Е.О. Патона Академии наук Украины дано положительное заключение.

бр. 1

Подарок читателям отраслевой
Библиотеке Института «Магарач»
от авторского коллектива

23.10.2001. *Фирт*

1. РАСЧЕТ ГЛАДКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, НАГРУЖЕННОЙ ПОПЕРЕЧНЫМИ СИЛАМИ НА ПРОЧНОСТЬ

1.1 Расчетная схема.

Края оболочки при расчете приняты такими, при которых нагрузка воспринимается опорами в форме сдвигающих сил. Такими опорами могут служить абсолютно жесткие в своей плоскости и подвижные в направлении ОХ диафрагмы, на которые опирается оболочка (см. рис. 1.1.).

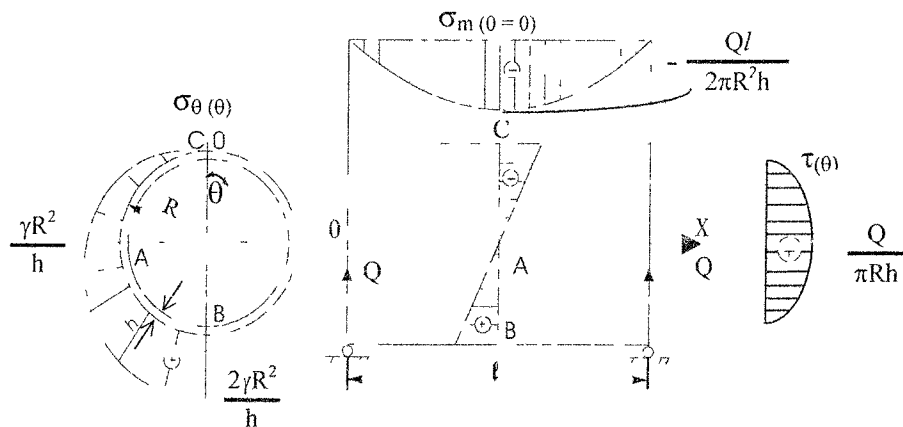


Рис. 1.1.

где: l – длина цилиндрической части оболочки, м
 R – радиус цилиндра, м
 h – толщина стенки оболочки, м
 Q – реакция в опоре, Н
 σ_m – меридиальные напряжения, Па
 σ_θ – широтные напряжения, Па
 τ – касательные напряжения, Па
 γ – удельный вес жидкости, Н/м³
 θ – угловая координата

(4, с.65)

Напряжения в точке А ($x = l/2$; $\theta = \pi/2$; $3\pi/2$); $\sigma_m = 0$; $\sigma_\theta = \gamma R^2/h$;

$$\tau = \frac{Q}{\pi R h}$$

Напряжение в точке В ($x = l/2$; $\theta = \pi$)

$$\sigma_m = \frac{Q l}{2 \pi R^2 h}; \quad \sigma_\theta = -\frac{2 \gamma R^2}{h}, \quad \tau = 0.$$

$$\text{Напряжения в точке С } (X = l/2; \theta = 0). \quad \sigma_m = \frac{Q l}{2 \pi R^2 h}; \quad \sigma_\theta = 0; \quad \tau = 0$$

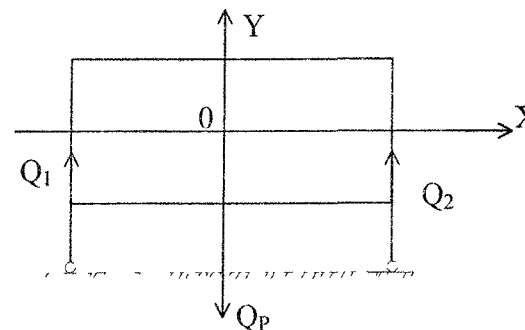
1.2. Материал оболочки и допускаемые напряжения.

В соответствии с [5], с.7, оболочку следует изготавливать из нержавеющей сталей ГОСТ 5632-72. Допускаемые напряжения для нержавеющей сталей (см. [1], с.52) $[\sigma] = 140 \dots 160$ МПа.

Модуль продольной упругости (см [1], с 55) $E = 2.15 \cdot 10^5$ МПа

1.3. Основные формулы для расчета на прочность.

1.3.1. Нахождение реакций в опорах



т.к. схема нагружения симметрична, то $Q_1 = Q_2 = Q$
 $Q_1 + Q_2 = Q_p$ (1.1.),
 где Q_p – вес резервуара, Н.
 При расчете за вес резервуара Q_p будем принимать вес жидкости объемом V , м³.
 $Q_{ж} = \gamma V$ (1.2.)
 Из (1.2.) с учетом (1.1.) получим:
 $Q = \frac{\gamma V}{2}$ (1.3.)

Рис. 1.2.

По формуле (1.3.) находим реакции в опорах.

1.3.2. Нахождение минимальной толщины стенки оболочки.

Допускаемое поперечное усилие определяется по формуле (1.4.) (см. [1], с 15)

$$[Q] = 0,25 \pi D * h_1 [\sigma] \quad (1.4.)$$

где D – диаметр цилиндрической части оболочки, м.

Из условий прочности: $[Q] \geq Q$ (1.5.)

Подставим (1.3.) в (1.5.) и в (1.4.) и выразим h_1 , получим:

$$h_1 = \frac{\gamma V}{\pi R [\sigma]} \quad (1.6.)$$

2 РАСЧЕТ ГЛАДКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, НАГРУЖЕННОЙ ПОПЕРЕЧНЫМИ СИЛАМИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

2.1 Расчетная схема.

Схему в п. 1.1. рис. 1.1. можно заменить с учетом того, что схема нагружения симметричная (см рис 2.1.)

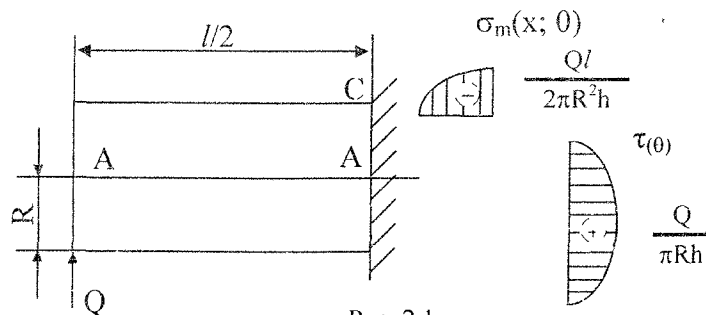


Рис. 2.1.

При расчете на устойчивость не будем учитывать σ_θ , возникающие от внутреннего гидростатического давления жидкости (т.к. оно незначительно), что идет в повышение запаса устойчивости (см[2] с. 574). Потеря устойчивости оболочки может возникнуть в окрестности

- а) точек А-А от действия касательных напряжений $\tau = \frac{Q}{\pi R h}$
- б) точки С от действия максимальных сжимающих напряжений $\sigma_m = - \frac{Q l}{2 \pi R^2 h}$

2.2. Материал оболочки и его физико-механические свойства.

Материал оболочки см. п.1.2. Модуль продольной упругости $E = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Коэффициент Пуассона для большинства сталей: $\mu = 0,3$.

2.3. Критические напряжения и критические силы.

В окрестности линии А-А потеря устойчивости произойдет при поперечной силе $[Q]_A$:

$$[Q]_A = 1,476 E h^2 \sqrt{\frac{4hR}{l^2}} \quad (2.1.)$$

([2], с. 572).

А в окрестности точки С потеря устойчивости произойдет от поперечной силы $[Q]_C$:

$$[Q]_C = 2 k E h^2 \frac{2R}{l} \quad (2.2.)$$

где: k – коэффициент, зависящий от R и h .

Значение коэффициента $k = \sqrt[8]{(100 h / R)^3}$ (см. [4]. с.47, из формулы (2),

$$\text{тогда} \quad [Q]_C = 2 \sqrt[8]{(100 h c / R)^3} \cdot E h^2 \cdot 2 R / l \quad (2.3.)$$

Согласно [1] величину $[Q]_A$ и $[Q]_C$ необходимо снизить в n раз.

где n – коэффициент запаса устойчивости. Коэффициент запаса устойчивости следует принимать

2,4 – для рабочих условий,

1,8 – для условий испытания и монтажа, т.е.

$$[Q]_A = \frac{1,476 E h^2 A}{n_y} \cdot \sqrt[4]{\frac{4h_A R}{l^2}} \quad (2.4.)$$

$$[Q]_C = 2 / n_y \cdot \sqrt[8]{(100 h / R)^3} \cdot E h^2 - 2 R / l \quad (2.5.)$$

2.4. Определение толщины стенки оболочки

По формулам (2.6.) и (2.7.) находим h_A и h_C . Затем из этих величин выбираем большую.

$$h_A = \sqrt[9]{\frac{l^2 (Q \cdot n_y)^4}{4 R (1,476 E)}} \quad (2.6.)$$

$$h_C = \left(\frac{n_y \cdot Q \cdot l}{11,25 R^{0,625} E} \right)^{0,421} \quad (2.7.)$$

где Q определяется по формуле (1.3.) $Q = \gamma V / 2$

При вычислении реакции Q считаем, что по вертикальной оси нет перегрузок.

3. РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДКРЕПЛЕННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Рассмотрим горизонтальную цистерну, которая состоит из цилиндрической обечайки 1, на которой имеются полукольцевые зиги 2, и двух торцовых днищ 3. Полукольцевые зиги 2 обеспечивают необходимую жесткость цистерны при уменьшенной толщине стенки обечайки. Для увеличения жесткости вдоль цистерны в ее верхней и нижней частях имеется фланцеобразная отбортовка 4.

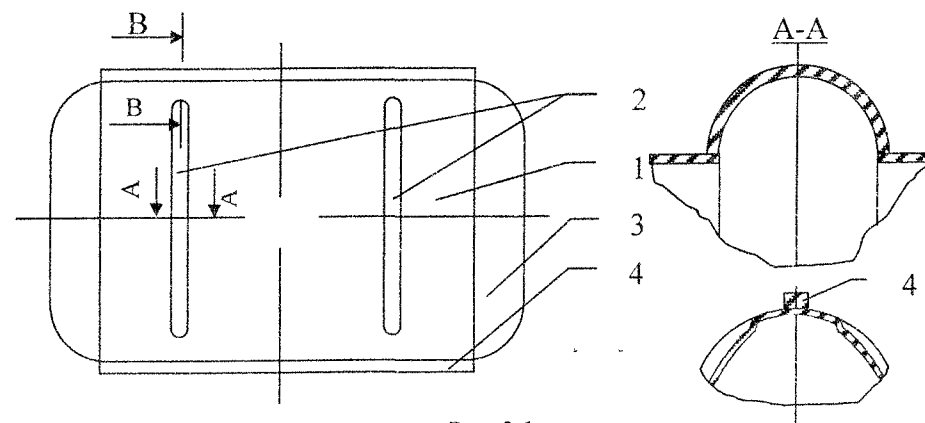


Рис. 3.1.

3.1. Расчетная схема.

Так как нагружение оболочки симметрично, то можно применить следующую схему (см. рис. 3.2.)

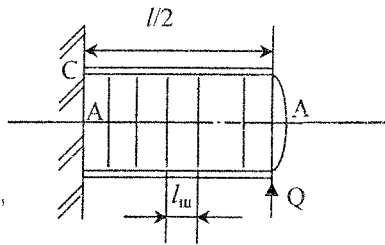


Рис. 3.2.

$l_{ш}$ — шаг шпангоута, м

$$l_{ш} = \frac{l}{2(N_{ш} + 1)},$$

где $N_{ш}$ — число шпангоутов.

3.2. Основные допущения.

Будем считать, что сжимающие усилия σ_m в окрестности точки С и ее окрестностях возникают от осевой сжимающей силы, равной:

$$F = \frac{Ql}{2R} \quad (3.1.)$$

Также будем считать, что касательные напряжения τ в окрестностях линии А-А (рис. 3.2.) возникают от кручения моментом, равным

$$M_k = 2 Q R \quad (3.2.)$$

Будем считать, что толщина оболочки (ее стенки) равна h .

Причем: $h_C = K_G h$, $h_A = K_G h$

3.3. Критический крутящий момент

Согласно [2], с. 587 критический крутящий момент с учетом коэффициента запаса устойчивости:

$$M_{k_{кр}} = \frac{2,96 E h^2 R \sqrt{hR}}{n_y \sqrt{0,5l}} \left[1 + \frac{I_{ш}}{I_{об}} (N_{ш} + 1) \right]^{\frac{5}{8}} \quad (3.3.)$$

где $I_{ш}$ — момент инерции поперечного сечения шпангоута вместе с примыкающей частью оболочки, m^4

$$I_{об} = I h^3 / 24 \quad (3.4.)$$

Критический момент для пролета длиной $l_{ш}$, с учетом n_y

$$M_{k_{кр}} = \frac{2,96 E h^2 R \sqrt{hR}}{n_y \sqrt{0,5l}} \sqrt{N_{ш} + 1} \quad (3.5.)$$

3.4. Оптимальное количество шпангоутов и оптимальный момент инерции поперечного сечения шпангоута.

Обозначим: $N_{ш}^*$ — оптимальное количество шпангоутов,

$I_{ш}^*$ — оптимальный момент инерции поперечного сечения шпангоута, m^4

$N_{ш}^*$ и $I_{ш}^*$ найдем из условий: $M_k^{кр} \geq M_k$ (3.6.)

$$M_k^{кр} = M_k^{кр} \quad (3.7.)$$

Условие (3.7.) соответствует минимальному весу конструкции при минимальном количестве шпангоутов.

В формуле (3.6.) M_k определяется по формуле (3.8.)

$$M_k = 2 Q R = \frac{2,96 E h_A^{2,25} * R^{1,25}}{n_y (0,5 l)^{0,5}} \quad (3.8.)$$

Подставим (3.3.) и (3.8.) в (3.6.) и после преобразований получим:

$$1 + \frac{I_{ш}^*}{I_{об}^*} (N_{ш}^* + 1) = \left(\frac{h_A}{h_C} \right)^{3,6} \quad (3.9.)$$

или с учетом того, что $h_A = K_G h$

$$\frac{I_{ш}^*}{I_{об}^*} (N_{ш}^* + 1) = K_G^{3,6} - 1 \quad (3.10.)$$

Теперь подставим (3.3.) и (3.5.) в (3.7.) и после преобразований получим

$$\frac{I_{ш}^*}{I_{об}^*} = (N_{ш}^* + 1)^{-0,2} - (N_{ш}^* + 1)^{-1} \quad (3.11.)$$

Подставим (3.11.) в (3.10.) и получим выражение для определения оптимального количества шпангоутов:

$$(N_{ш}^* + 1)^{0,8} - 1 = K_G - 1 \quad \text{или}$$

$$N_{ш}^* = K_G^{4,5} - 1 \quad (3.12.)$$

А теперь подставим (3.12.) в (3.10.):

$$I_{ш}^* = \frac{I_{об} (K_G - 1)^{3,6}}{K_G^{4,5}} \quad \text{или} \quad I_{ш}^* = \frac{l h^3 (K_G - 1)}{24 K_G^{4,5}} \quad (3.13.)$$

3.5. Определение толщины стенки оболочки.

Толщину стенки подкрепленной оболочки h определим, рассматрив устойчивость окрестности точки С.

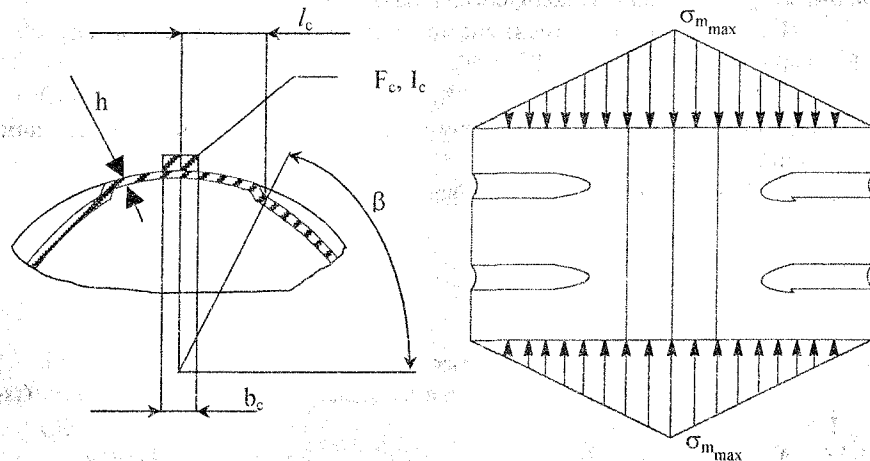


Рис. 3.3.

При расчете будем считать, что:

1. Оболочка подкреплена только стрингерами
2. Шаг стрингеров равен l_c (см. рис. 3.3.)
3. Оболочка нагружена сжимающими напряжениями равными $\sigma_{m_{max}}$, которое в свою очередь равно:

$$\sigma_{m_{max}} = \frac{Ql}{2\pi R^2 h}$$

4. Сжимающие напряжения, будем считать, вызываются сжимающей силой

$$F = \frac{Ql}{2R}$$

На рис. 3.3. F_c – площадь поперечного сечения стрингера без учета примыкающей к ним оболочки, m^2 ;

I_c – момент инерции поперечного сечения стрингера (с примыкающей частью оболочки), m^4 .

В данном рассматриваемом случае произойдет несимметричная потеря устойчивости (согласно [2], с.588).

Критическая сила тогда будет определяться как:

$$F_{кр} = 4\pi\sqrt{(1-\mu^2)A_x * D_y} \quad (3.14.)$$

где A_x – жесткость оболочки на растяжение (или сжатие) в продольном направлении, $\Pi_a * \mu$.

$$A_x = \frac{Eh}{1-\mu^2} + \frac{E_c F_c}{I_c} \quad (3.15.)$$

D_y – жесткость на изгиб в широтном направлении, $\Pi_a * m^3$

$$D_y = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}, \text{ где } E_c, \text{ модуль продольной упругости материала}$$

стрингера, Π_a .

Если $E_c \approx E$, то

$$A_x = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left(1 + \frac{F_c^{(1-\mu^2)}}{I_c h}\right) \quad (3.16.)$$

Обозначим $F_c/(I_c h) = \psi$, – это выражает отношение площади стрингера к площади поперечного сечения между стрингерами.

Тогда

$$A_x = \frac{Eh}{1-\mu^2} (1 + (1-\mu^2)\psi) \quad (3.17.)$$

И значение критической силы:

$$F_{кр} = \frac{2\pi E h^2}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} \sqrt{1 + (1-\mu^2)\psi} \quad (3.18.)$$

В практических расчетах величина $F_{кр}$ умножается на величину $K/2$ (см. п.2.3.), а μ считают равным 0,3. Тогда

$$F_{кр} = K E h^2 \sqrt{1 + 0,91\psi} \quad (3.19.)$$

Для случая неподкрепленной оболочки $F_{кр}^n = K E h_c^2$ (см. п.2.3.)

Из условия устойчивости: $F_{кр}^n = F_{кр} \geq Ql/(2R)$ (3.20.)

Отсюда следует $h^2/h_c^2 = \sqrt{1 + 0,91\psi}$ (3.21.)

Откуда $h = h_c / \sqrt{1 + 0,91\psi}$ (3.22.)

$$K_G = h_A / h_c \sqrt{1 + 0,91\psi} \quad (3.23.)$$

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ОБОЛОЧКИ И ЭКОНОМИИ МАТЕРИАЛА

Определим массы подкрепленной и неподкрепленной оболочек (без днищ)

$$M^n = 2\pi R/h_A * \rho_{ш} \quad (4.1.)$$

$$M^n = (2\pi R/h + 4\beta R F_{ш} N + 2F_c l) * \rho_{ш} \quad (4.2.)$$

где M^n , M^n – соответственно масса неподкрепленной и подкрепленной оболочек, кг,

$F_{ш}$ – площадь поперечного сечения шпангоута (без учета прилегающей части оболочки), m^2 ,

F_c – площадь поперечного сечения стрингера (без учета прилегающей части оболочки), m^2

N – число пар шпангоутов (т.е. двух полуколец),

β – угол охвата зига (см. рис. 3.3), рад,

$$N = 2N_{ш} + 1 \quad (4.3.)$$

где $N_{ш}$ – число шпангоутов, найденное по формуле (3.12.).

Экономия материала в % составит:

$$\frac{M'' - M''}{M''} * 100 \%,$$

$$M''$$

Дальнейшие расчеты показывают, что в формуле (4.2.) массой шпангоутов и массой стрингеров можно пренебречь, т.е.

$$M'' \approx 2\pi R/h * \rho_m$$

где ρ_m – плотность материала, $кг/м^3$.

Тогда: $M'' \approx K_G M''$.

В этом случае экономию материала можно оценить по следующей формуле:

$$\frac{K_G - 1}{K_G} * 100 \% \quad (4.5.)$$

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗИГА.

Поставим задачу: известные $I_{ш}$, h и формы поперечного сечения зига. Найти параметры зига (точнее R (см. 5.1.))

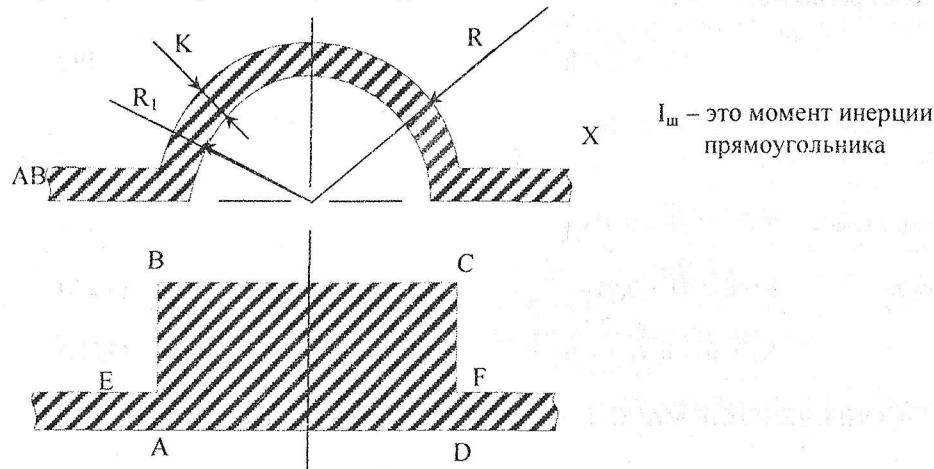


Рис. 5.1.

Момент инерции зига изображенного на рисунке 5.1. будет равен:

$$I_x = 0,11(R^4 - R_1^4) - 0,283 R^2 R_1^2 (R - R_1)/(R + R_1) \quad (5.1.)$$

$$I_x \geq I_{ш} \quad (5.2.)$$

Площадь поперечного сечения шпангоута будет:

$$F_{шг} = (\pi R^2 - \pi R_1^2)/2 \quad (5.3.)$$

Площадь поперечного сечения шпангоута без учета прилегающей части оболочки:

$$F_{ш} = (\pi R^2 - \pi R_1^2)/2 - 2Rh \quad (5.4.)$$

Для нахождения R удобно пользоваться безразмерным параметром

$$\phi = R/h \quad (5.5.)$$

тогда: $R_1 = (\phi - 1) h$

Соответственно:

$$F_{ш} = \pi/2 * (\phi^2 - (\phi - 1)^2) h^2 - 2\phi h^2 = \pi/2 * h^2 (2\phi - 1) - 2\phi h^2 =$$

$$= (\pi\phi - 2\phi - \pi/2) h^2 = (1,141\phi - \pi/2) h^2$$

$$F_{ш} = (1,141\phi - \pi/2) h^2 \quad (5.6.)$$

И момент инерции:

$$I_x = I_{ш}^* = 0,11h^4(\phi^4 - (\phi - 1)^4) - 0,283\phi^2(\phi - 1)^2h^4/(2\phi - 1) =$$

$$= [0,11(\phi^4 - (\phi - 1)^4) - 0,283\phi^2(\phi - 1)^2/(2\phi - 1)]h^4$$

$$I_{ш}^* = [0,11(\phi^4 - (\phi - 1)^4) - 0,283\phi^2(\phi - 1)^2/(2\phi - 1)]h^4 \quad (5.7.)$$

Решив уравнение (5.7.) где $I_{ш}^*$ и h известны, найдем ϕ , затем найдем R и $F_{ш}$.

6. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ПОДКРЕПЛЕННОЙ ОБОЛОЧКИ

6.1. Исходные данные

1. Объем – V , m^3
2. Длина цилиндрической части – l , m
3. Радиус цилиндра R , m
4. Удельный вес жидкости γ , $н/м^3$
5. Модуль продольной упругости E , $Па$
6. Допускаемое напряжение – $[\sigma]$, $Па$
7. Угол охвата зига – β , рад.
8. Отношение площади поперечного сечения стрингера к площади поперечного сечения оболочки между стрингерами – ψ
9. Плотность материала – ρ_m , $кг/м^3$
10. Коэффициент запаса устойчивости – Π_y

$$6.2. \text{Определение реакции в опоре } Q: \quad Q = \gamma V/2 \quad (6.1.)$$

6.3. Определение толщины стенки из условий прочности:

$$h_1 = \gamma V / (\pi R[\sigma]) \quad (6.2.)$$

6.4. Определение толщины стенки неподкрепленной оболочки из условий устойчивости:

$$h_A = [l^2/(4R) * (\Pi_y Q / (1,476E))^4]^{1/9} \quad (6.3.)$$

$$h_c = [p_y Q / (11,25 * R^{0,625} * E)]^{0,421} \quad (6.4.)$$

$$h_H = \max\{h_A; h_C\} \quad (6.5.)$$

6.5. Целесообразность подкрепления.

Если $h_H > h_1$, то подкрепление целесообразно.

6.6. Определение толщины подкрепленной оболочки

$$h = h_C / \sqrt{1 + 0,91\psi} \quad (6.6.)$$

$$h_n = \max\{h; h_1\} \quad (6.7.)$$

6.7. Определение коэффициента эффективности подкрепления

$$K_G = h_A / h_n \quad (6.8.)$$

6.8. Определение количества пар полуколец

$$N = 2K_G^{4,5} - 1 \quad (6.9.)$$

где $N = 1, 2, 3, \dots$ и т.д.

6.9. Определение момента инерции шпангоута

$$I_{ш} = I_{h_n}^{3,3,6} (K_G - 1) / (24 K_G^{4,5}) \quad (6.10.)$$

6.10. Решение уравнения

$$0,11 [\phi^4 - (\phi - 1)^4] - 0,283 \phi^2 (\phi - 1)^2 / (2\phi - 1) = I_{ш} / h_n^4 \quad (6.11.)$$

6.11. Определение площади поперечного сечения шпангоута (т.е. зига)

$$F_{ш} = (1,141\phi - \pi)h^2 \quad (6.12.)$$

6.12. Определение радиуса зига

$$R_3 = \phi h \quad (6.13.)$$

6.13. Определение условного шага стрингера

$$l_c = (\pi/2 - \beta) * R \quad (6.14.)$$

6.14. Определение площади поперечного сечения стрингера

$$F_c = l_c * h * \psi \quad (6.15.)$$

6.15. Определение массы неподкрепленной оболочки

$$M^H = 2\pi R / h_{II} * \rho_{ш} \quad (6.16.)$$

6.16. Определение массы подкрепленной оболочки

$$M^H = (2\pi R / h_n + 4\beta R F_{ш} N + 2 F_c l) * \rho_{ш} \quad (6.17.)$$

6.17. Определение экономии материала

$$\% = (M^H - M^H) / M^H \quad (6.18.)$$

6.18. Ответ: $h_1, h_H, h_{II}, K_G, N, I_{ш}, F_{ш}, R, F_c, M^H, M^H, \%$

7. РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЦИСТЕРНЫ НА ЯЗЫКЕ «FORTRAN IV»

Блок-схема к программе показана на странице 18.

Ввод начальных данных: основные параметры цистерн и аппаратов по ОСТ 27-31-132-78 вводятся в виде матрицы с элементами $B(I_1, Y_1)$, где I_1 изменяется от 1 до N_2 , причем N_2 равно количеству вариантов рассчитываемых в программе;

Y_1 изменяется от 1 до M_2 , причем M_2 равно 3 во всех случаях.

Данные N_2 и M_2 вводятся с одной перфокарты.

Элементы матрицы должны быть размещены на перфокартах по столбцам.

На одной карте пробивается K элементов, где K — число элементов кратное величине N_2 .

Тогда вид формата:

```
READ f, N2, M2, ((B(I1,Y1), I1=1, N2, I1=1, M2))
f FORMAT (214/(kf7.3))
```

где f — метка формата. Т.е. если необходимо рассчитать следующие варианты: объем, m^3 ; радиус, m ; длина цилиндрической части, m ,

6.3	0.8	2.605
6.3	0.9	1.880

то перфокарты исходных данных будут иметь вид:

2		3	
4поз.		4поз.	
6.3		6.3	
7поз.		7поз.	
0.8		0.9	
2.605		1.88	

ВНИИВипИ «Магарач»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

334200 г. Сяла Крымской обл., ул. Кирова 27

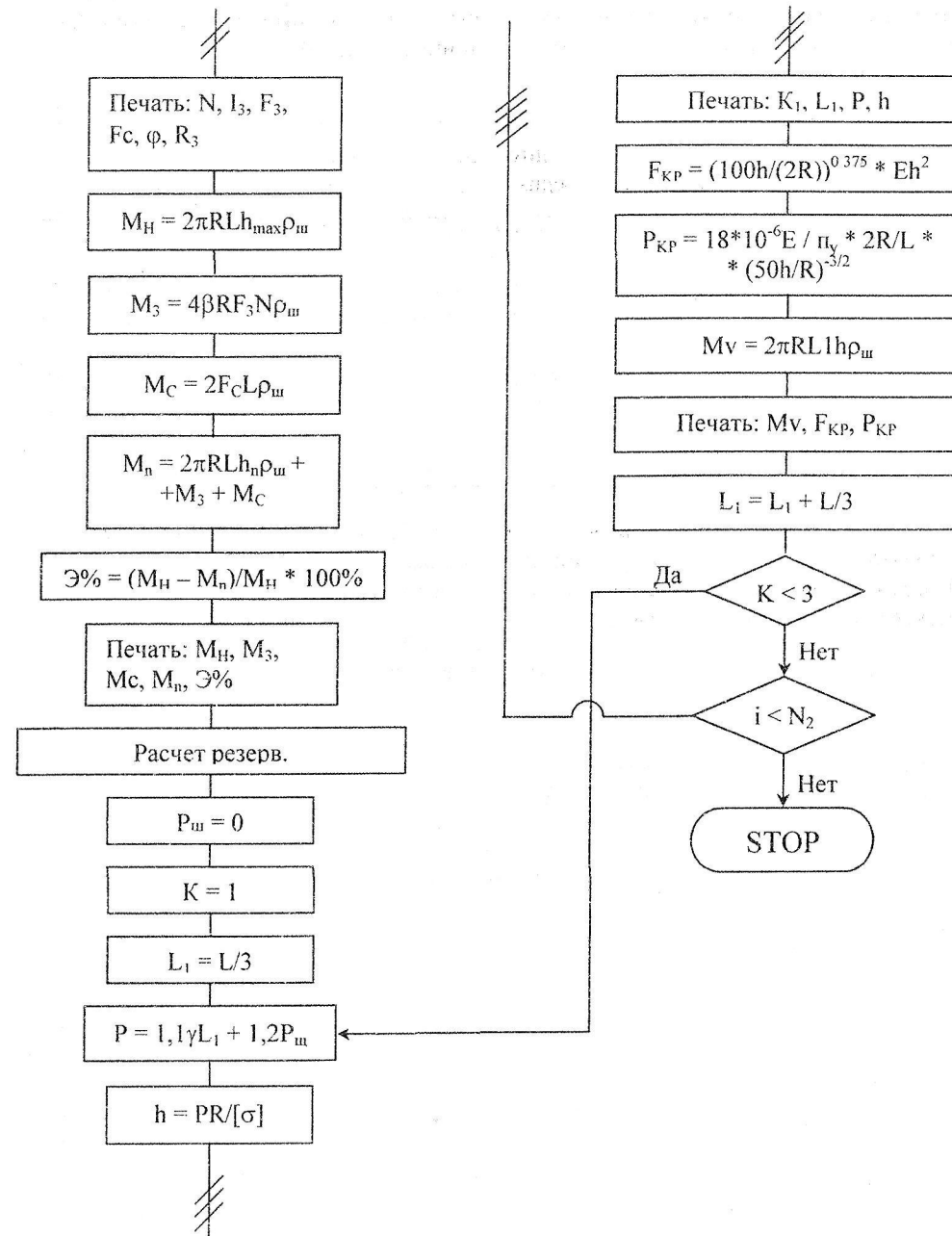
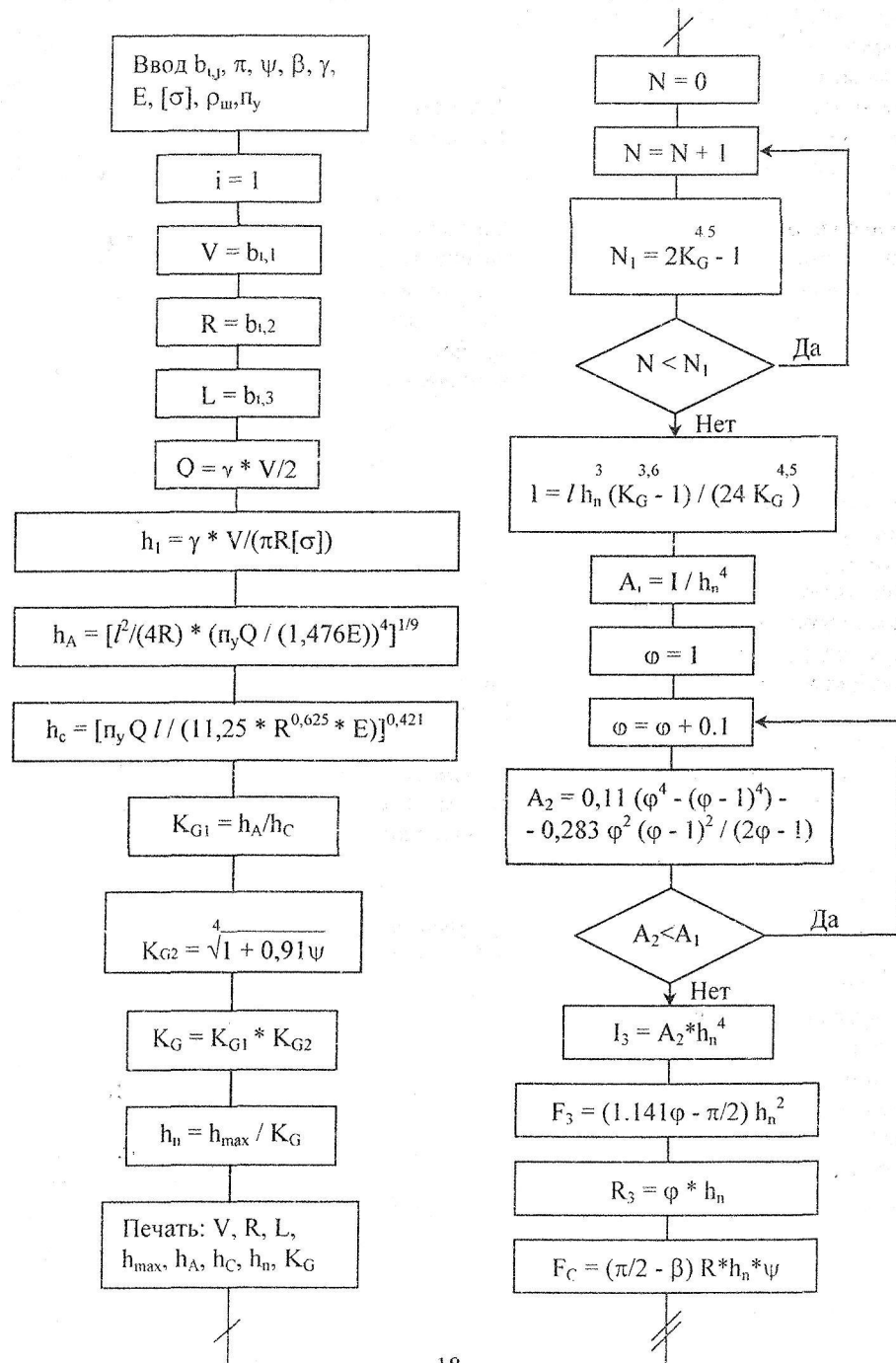
Остальные исходные данные не изменяющие свои величины в программе можно ввести с отдельных перфокарт (см. распечатку)
Программа приведена на распечатке

Таблица 1

Порядок следования исходных данных		
Вводимый параметр	Тип данного	Идентификатор вывода на печать
1	2	3
Число строк матрицы	Арифметическое целое	N2
Число столбцов матрицы	—//—	M2
Номер строки матрицы	Арифметическое целое	И
Номер столбца матрицы	—//—	Y1
Число π	Арифметическое с фиксированной запятой	PI
Отношение площади поперечного сечения стрингера к площади поперечного сечения оболочки между стрингерами	—//—	PSI
Угол охвата зига	—//—	BETTA
Удельный вес жидкости	—//—	GAMMA
Плотность материала	Арифметическое с фиксированной запятой	ROM
Модуль продольной упругости	Арифм. с плавающей запятой	E
Допускаемое напряжение	—//—	SIGMA
Коэффициент запаса устойчивости	Арифметическое с фиксированной запятой	NU
Объем обечайки	—//—	V
Радиус обечайки	—//—	K
Длина цилиндрической части	—//—	L
Реакция в опоре	Арифметическое с плавающей запятой	Q
Толщина стенки обечайки из условий прочности	—//—	HPR
Толщина стенки обечайки из условий устойчивости в зоне А	—//—	HA
то же в зоне С	—//—	HC
Толщина стенки неподкрепленной оболочки	—//—	HNP
Коэффициент эффективности подкрепления от постановки зигов	Арифметическое с фиксированной запятой	KG1
Коэффициент эффективности подкрепления от постановки стрингеров	—//—	KG2

1	2	3
Коэффициент эффективности подкрепления	—//—	KG
Число зигов	—//—	N
Момент инерции оптимального шпангоута	Арифметическое с плавающей запятой	I
Коэффициент формы момента инерции	—//—	AI
Отношение радиуса зига к толщине стенки	Арифметическое с фиксированной запятой	PHI
Коэффициент формы момента инерции зига	Арифметическое с плавающей запятой	A2
Момент инерции зига	Арифметическое с плавающей запятой	IZ
Площадь поперечного сечения зига	—//—	FZ
Наружный радиус зига	—//—	RZ
Площадь поперечного сечения стрингера	—//—	FS
Масса неподкрепленной оболочки	—//—	MN
Масса зигов	—//—	MZ
Масса стрингеров	—//—	MS
Масса подкрепленной оболочки	—//—	MP
Экономия материала	Арифметическое с фиксированной запятой	AKONM
Избыточное давление	—//—	PIS
Номер пояса резервуара	Арифметическое целое	KI
Высота пояса	Арифметическое с фиксированной запятой	LI
Вспомогательная величина для вычисления массы резервуара	—//—	S
Величина гидростатического давления	Арифметическое с плавающей запятой	P
Минимальная толщина стенки резервуара из условий прочности	—//—	H
Критическое сжимающее условие	—//—	FKR
Величина критического внешнего давления	—//—	PKR
Масса резервуара или сумма масс поясов резервуара	—//—	MV

Размерность всех величин приведена в системе СИ



В качестве примеров в таблице 2 приведены данные по экономии металла при изготовлении горизонтальных цистерн с полузигами объемом от 6,3 м³ до 40 м³.

Таблица 2

Объем /V/, м ³	Длина обечайки //, м	Радиус цистерны /R/, м	Число полузиг /N/	Экономия металла в % к массе выпускаемых цистерн
6,3	1,88	0,9	10	23,39
8,0	1,88	1,0	11	24,79
10,0	2,52	1,0	8	21,22
10,0	1,90	1,1	12	25,92
12,5	1,97	1,2	12	26,72
16,0	2,74	1,2	9	22,74
20,0	2,90	1,3	10	22,99
32,0	2,92	1,6	12	25,72
40,0	3,91	1,6	9	22,22

Данные таблицы показывают, что потребность в нержавеющей стали снижается до 26,72 % на каждую цистерну только за счет полузиг на обечайках. Например, при изготовлении одной цистерны вместимостью 20 м³ экономится не менее 600 кг листового металла.

Литература

1. ГОСТ 14249-80 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность
2. Биргер И.А. Расчеты на прочность деталей машин. «Машиностроение», М., 1966 г.
3. Колкунов Н.В. Основы расчета упругих оболочек. «Высшая школа», М., 1972 г.
4. Лизин В.Т. Проектирование гонкостенных конструкций. «Машиностроение», М., 1985 г.
5. Общесоюзный перечень № РМ-3-1980 материалов и веществ, разрешенных Минздравом СССР к применению в винодельческой промышленности, Ялта, 1980 г.
6. Грунд Ф. Программирование на языке «FORTRAN IV». «Мир», М., 1976 г.
7. Корниенко В.С. Сооружение резервуаров. Из-во литературы по строительству, М., 1971 г.
8. ОСТ 27-31-132-78 Сосуды и аппараты для винодельческой и пивоваренной промышленности. М., 1984 г.
9. Тюрин С.Т., Важенин С.Ф., Наумова И.Е., Владимирский В.В., Жданович Г.А., Лимаренко И.П., Приходько А.К., Карой А.М., Пичугин А.М., Лукьянов Б.М. Горизонтальная цистерна для хранения пищевых жидкостей А.с. СССР № 440310.
10. Тюрин С.Т., Литовченко А.М., Шалай В.В., Яцина А.Н., Тюрин А.С., Покровский А.В., Литовченко В.А., Новиков О.В. Резервуары облегченных конструкций. г. Киев, 1993 г., 10с.
11. Тюрин С.Т., Литовченко А.М., Шалай В.В., Яцина А.Н., Тюрин А.С., Покровский А.В., Литовченко В.А., Новиков О.В. Горизонтальная цистерна для зберігання та транспортування харчових рідин. Патент на винахід №21269А. Україна.
12. Тюрин С.Т., Литовченко А.М., Чернявский В.П. Материалы и оборудование для предприятий, перерабатывающих плоды и ягоды. г. Днепропетровск, Січ, 2000г. 222с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Расчет гладкой цилиндрической оболочки, нагруженной поперечными силами на прочность	4
2. Расчет гладкой цилиндрической оболочки, нагруженной поперечными силами на устойчивость	5
3. Расчет на устойчивость подкрепленной цилиндрической оболочки	7
4. Определение массы оболочки и экономии материала	11
5. Определение параметров зига	12
6. Порядок расчета подкрепленной оболочки	13
7. Расчет горизонтальной цистерны на языке «FORTRAN IV»	15
Литература	21

Об экономии материалов при выпуске облегченных конструкций горизонтальных цистерн.

Составители:

Тюрин Сергей Тимофеевич, почетный академик КАН

Шалай Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор

Тюрин Александр Сергеевич, инженер

Покровский Алексей Викторович, кандидат технических наук

Капанидакис Александр Иванович, инженер

Мошкин Владимир Федорович, инженер

Сдано в набор 01.10.2001 г.

Подписано в печать 15.10.2001 г.

Тираж 4-50 экз.

Бумага офсетная. Формат 145x200/80.

Отпечатано в тип. «ВИЗАВИ»,

г. Ялта, тел. 32-02-54.