

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА МАШИНОВЕДЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению практических работ
по курсу «Расчет и конструирование
машин и аппаратов пищевых производств»
для студентов специальности 1-36 09 01
«Машины и аппараты пищевых производств»**

БРЕСТ 2015

УДК 664.002.5

Методические указания предназначены для обеспечения помощи студентам специальности 1-36 09 01 «Машины и аппараты пищевых производств» при выполнении практических работ по курсу «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств». В методических указаниях приведены основные теоретические сведения, варианты индивидуальных заданий, описан порядок их выполнения и список рекомендуемых источников.

Составители: Ю.А. Хоронжевский, старший преподаватель
А.Ю. Хоронжевская, ассистент

Рецензент: В.П. Филиппенков, инженер-конструктор ОАО «Брестский электротехнический завод»

ВВЕДЕНИЕ

Предметом изучения курса “Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств” являются современные рациональные и прогрессивные методы конструирования и расчета аппаратов пищевого производства. Создавая конструкции машин, инженер должен обеспечить их определенные эксплуатационные технические характеристики и надежность работы, а также экономическую целесообразность изготовления конструкций.

Цель курса – подготовка студентов к организационно-технической, экспериментальной деятельности, связанной с проектированием современных, надежных, высокоэффективных машин и аппаратов.

1 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ АППАРАТОВ

1.1 РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СОСУДОВ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В пищевых производствах применяется большое количество резервуаров и сосудов цилиндрической и прямоугольной формы как для обработки в них продуктов, так и для их хранения. Изготавливаются сосуды и резервуары из различного и листового материала (сталь, медь, алюминий), чаще всего – методом сварки. Днища цилиндрических сосудов изготавливаются плоскими и выпуклыми.

Для снижения себестоимости цилиндрических и прямоугольных сосудов необходимо придавать им также размеры, при которых затраты листового металла и отходы при раскрое были бы минимальными. С целью упрощения задачи обычно принимают ряд допущений (условностей). Например, при расчете оптимальных размеров не учитывают расход металла на устройства элементов жесткости, опор, люков, лазов и др.

При принятых допущениях объем листового металла, потребного для изготовления цилиндрического сосуда с плоским днищем и крышкой, равен

$$V_M = \pi \cdot (D_B + \delta) \cdot \delta H + 0,25\pi(D_B + 2\delta)^2 \cdot (\delta_D + \delta_K), \quad (1.1)$$

где D_B – внутренний диаметр сосуда;

δ – толщина стенки цилиндрической оболочки;

H – высота цилиндрической части сосуда;

δ_D и δ_K – толщина днища и крышки;

Если выразить высоту сосуда через его объем и диаметр, то уравнение (1.1) будет иметь вид

$$V_M = (4V\delta / D_B^2) \cdot (D_B + \delta) + 0,25\pi(D_B + 2\delta)^2 \cdot (\delta_D + \delta_K), \quad (1.2)$$

где V – внутренний объем сосуда.

Решая уравнение (1.2) на минимум, находим оптимальный диаметр

$$D_O = 2\sqrt[3]{(V/\pi) \cdot \delta / (\delta_D + \delta_K)} \quad (1.3)$$

и, далее, оптимальную высоту сосуда

$$H_O = \sqrt[3]{(V/\pi) \cdot (\delta_D + \delta_K)^2 / \delta^2} \quad (1.4)$$

Количество отходов при изготовлении цилиндрического сосуда заданного объема из листового материала может быть выражено формулой

$$V_{отх} = [L_1 \cdot \pi(D_B + \delta)]L_2 \delta + (L_2 - H) \cdot (D_B + \delta) \pi \delta + [L_1' L_2' - 0,25\pi(D_B + 2\delta)^2] \cdot (\delta_d + \delta_k), \quad (1.5)$$

где L — соответствующие размеры листов, принятые по сортаменту (таблица 1.1).

Таблица 1.1 — Размеры стальных горячекатаных листов по ГОСТ 19903-74, мм

Толщина листов	Минимальная и максимальная длина листов при ширине			
	700	1000	1500	1800
3 - 5	2600 - 6000	2600 - 6000	2600 - 6000	2600 - 6000
6 - 7	2000 - 7000	2000 - 7000	2000 - 7000	3000 - 12000
8 - 10	2000 - 8000	2000 - 8000	2000 - 8000	3000 - 12000
11 - 12		2000 - 6000	2000 - 6000	3000 - 12000
13 - 25	—	2500 - 6500	2500 - 6500	3000 - 10000

Примечание. Толщину листов в указанных пределах брать из ряда: 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 25.

Масса отходов будет равна

$$M_{отх} = V_{отх} \cdot \rho \quad (1.6)$$

где ρ — плотность металла

Если цилиндрический сосуд (с плоским днищем) будет открытым, то

$$D_o = 2 \cdot \sqrt[3]{V \delta / (\pi \delta_d)}; \quad H_o = \sqrt[3]{V \delta_k^2 / (\pi \delta^2)}; \quad (1.7)$$

Для определения оптимальных размеров прямоугольных сосудов в качестве параметра, определяющего минимальный расход металла, принимаем поверхность сосуда (при принятых ранее допущениях).

Обозначая ребра прямоугольного сосуда x, y, z и вводя обозначение $k_1 = z / y$, площадь поверхности закрытого сосуда внутренним объемом V будет равна

$$F = 2 \cdot \left(\frac{k_1 + 1}{k_1} \cdot \frac{V}{y} + k_1 y^2 \right) \quad (1.8)$$

Минимальную поверхность имеет кубический сосуд. Однако на практике приходится применять прямоугольные сосуды, отличающиеся от куба. Они будут характеризоваться различными значениями k_1 , которыми можно задаться.

Решая уравнение (1.8) на минимум, и, используя принятое значение k_1 , а также выражение для объема сосуда как произведение его ребер, получим следующие расчетные формулы:

$$\left. \begin{aligned} y_o &= \sqrt[3]{0,5V \cdot (k_1 + 1) / k_1^2}; & x_o &= \sqrt[3]{4V k_1 / (k_1 + 1)^2}; \\ z_o &= \sqrt[3]{0,5 \cdot (k_1 + 1) k_1 \cdot V}; & F_{\min} &= 3\sqrt[3]{2(k_1 + 1)^2 V^2 / k_1}. \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

Кроме приведенных точных формул, для определения оптимальных размеров закрытых прямоугольных сосудов рекомендуются следующие приближенные зависимости:

$$x_{\text{пр}} = \sqrt[3]{V}; \quad y_{\text{пр}} = x_{\text{пр}} k_1^{-0,5}; \quad z_{\text{пр}} = x_{\text{пр}} k_1^{0,5}; \quad (1.10)$$

Открытый прямоугольный сосуд будет характеризоваться следующими оптимальными размерами и минимальной поверхностью:

$$\left. \begin{aligned} y_o &= 2\sqrt[3]{2k_1 V \cdot (2k_1 + 1)^2}; & x_o &= \sqrt[3]{(2k_1 + 1)V / (4k_1^2)}; \\ z_o &= \sqrt[3]{0,25 \cdot (2k_1 + 1)k_1 \cdot V}; & F_{\text{min}} &= 3 \cdot \sqrt[3]{0,5(2k_1 + 1)^2 V^2 / k_1}. \end{aligned} \right\} (1.11)$$

1.1.1 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ СОСУДОВ

Пример 1. Определить размеры цилиндрического сосуда с плоскими днищем и крышкой, если внутренний объем сосуда $V = 6 \text{ м}^3$, толщина корпуса $\delta = 12 \text{ мм}$, толщины днища и крышки соответственно равны $\delta_d = 10 \text{ мм}$, $\delta_k = 8 \text{ мм}$. Определить также количество отходов металла и массу аппарата.

Вычисляем оптимальный диаметр сосуда по формуле (1.3)

$$D_o = 2\sqrt[3]{(V/\pi)\delta / (\delta_d + \delta_k)} = 2 \cdot \sqrt[3]{(6/3,14) \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} / (1 \cdot 10^{-2} + 0,8 \cdot 10^{-2})} = 2,165 \text{ м}$$

Вычисляем оптимальную высоту сосуда по формуле (1.4)

$$H_o = \sqrt[3]{(V/\pi) \cdot (\delta_d + \delta_k)^2 / \delta^2} = \sqrt[3]{(6/3,14) \cdot (1 \cdot 10^{-2} + 0,8 \cdot 10^{-2})^2 / (1,2 \cdot 10^{-2})^2} = 1,625 \text{ м}$$

Руководствуясь рекомендациями, принимаем $D_b = 2,2 \text{ м}$. Тогда высота сосуда $H = 4V / (\pi \cdot D_b^2) = 4 \cdot 6 / (3,14 \cdot 2,2^2) = 1,58 \text{ м}$.

Принимаем $H = 1,6 \text{ м}$

Уточняем объем сосуда

$$V = \pi D_b^2 H / 4 = 3,14 \cdot 2,2^2 \cdot 1,6 / 4 = 6,08 \text{ м}^3.$$

В соответствии со стандартами ГОСТ 13372-78 необходимо принять $V = 6,3 \text{ м}^3$. Тогда окончательно $H = 1,66 \text{ м}$ (выполнить расчет).

Отношение $H/D = 1,66/2,2 = 0,754$ (отношение $H_o/D_o = 1,625/2,165 = 0,75$).

Длина развертки корпуса сосуда (толщина листа $\delta = 12 \text{ мм}$) по срединной плоскости: $L = \pi \cdot (D_b + \delta) = 3,14 \cdot (2,2 + 0,012) = 6,94 \text{ м}$.

Принимаем для заказа толстолистовой стали размеры листа (таблица 1.1): длина $L_1 = 7000 \text{ мм}$, ширина $L_2 = 1700 \text{ мм}$.

Для изготовления днища (толщиной $\delta_d = 10 \text{ мм}$) и крышки (толщиной $\delta_k = 8 \text{ мм}$) будем заказывать листы толстолистовой стали с размерами:

$$L'_1 \times L'_2 = 2300 \times 2250 \text{ мм.}$$

По формуле (1.5) определим количество отходов при такой конструкции сосуда

$$\begin{aligned} V_{\text{отх}} &= [L_1 - \pi(D_B + \delta)] \cdot L_2 \delta + (L_2 - H) \times (D_B + \delta) \pi \delta + (L'_1 L'_2 - 0,25\pi(D_B + 2\delta)^2) \times (\delta_D + \delta_K) = \\ &= (7 - 3,14 \cdot (2,2 + 0,012)) \cdot 1,7 \cdot 0,012 + (1,7 - 1,66) \cdot (2,2 + 0,012) \cdot 3,14 \cdot 0,012 + (2,3 \cdot 2,25 - \\ &- 0,25 \cdot 3,14 \cdot (2,2 + 2 \cdot 0,012)^2) \cdot (0,01 + 0,008) = 0,00122 + 0,00333 + 0,02326 = 0,0278 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

Масса отходов по формуле (1.6)

$$M_{\text{отх}} = V_{\text{отх}} \cdot \rho = 0,0278 \cdot 7850 = 228 \text{ кг}$$

Масса аппарата

$$M = V_M \cdot \rho = [3,14 \cdot (2,2 + 0,012) \cdot 0,012 \cdot 1,66 + 0,25 \cdot 3,14 \cdot (2,2 + 2 \cdot 0,012)^2 \cdot (0,010 + 0,008)] \cdot 7850 = 1590 \text{ кг}$$

Пример 2. Определить оптимальные параметры цилиндрического открытого сосуда с плоским дном, если его вместимость $V = 6,3 \text{ м}^3$. Толщина стенки корпуса и дна см. пример 1.

Оптимальные параметры находим по зависимости (1.7)

$$D_o = 2 \cdot \sqrt[3]{V \delta / (\pi \delta_D)} = 2 \cdot \sqrt[3]{6,3 \cdot 12 \cdot 10^{-3} / (3,14 \cdot 10 \cdot 10^{-3})} = 2,68 \text{ м;}$$

$$H_o = \sqrt[3]{V \delta_D^2 / (\pi \delta^2)} = \sqrt[3]{6,3 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6} / (3,14 \cdot 12^2 \cdot 10^{-6})} = 1,12 \text{ м;}$$

$$\text{Отношение } H_o / D_o = 1,12 / 2,68 = 0,418$$

Пример 3. Определить оптимальные размеры прямоугольного закрытого сосуда объемом $V = 4,4 \text{ м}^3$. Толщина стенки $\delta = 4 \text{ мм}$. Отношение высоты сосуда к ширине $k_1 = 0,63$.

В соответствии со стандартом ГОСТ 13372-78 расчет производим на объем $V = 5 \text{ м}^3$.

Найдем оптимальные размеры и минимальную поверхность по формулам (1.9)

$$x_o = \sqrt[3]{4V k_1 / (k_1 + 1)^2} = \sqrt[3]{4 \cdot 5 \cdot 0,63 / (0,63 + 1)^2} = 1,68 \text{ м;}$$

$$y_o = \sqrt[3]{0,5V \cdot (k_1 + 1) / k_1^2} = \sqrt[3]{0,5 \cdot 5 \cdot (0,63 + 1) / 0,63^2} = 2,16 \text{ м;}$$

$$z_o = \sqrt[3]{0,5 \cdot (k_1 + 1) k_1 \cdot V} = \sqrt[3]{0,5 \cdot (0,63 + 1) \cdot 0,63 \cdot 5} = 1,36 \text{ м;}$$

$$F_{\text{min}} = 3 \sqrt[3]{2 \cdot (k_1 + 1)^2 V^2 / k_1} = 3 \cdot \sqrt[3]{2 \cdot (0,63 + 1)^2 \cdot 5^2 / 0,63} = 17,86 \text{ м}^2.$$

Минимальная поверхность по формуле (1.8)

$$F = 2 \cdot \left(\frac{k_1 + 1}{k_1} \cdot \frac{V}{y} + k_1 y^2 \right) = 2 \cdot \left(\frac{0,63 + 1}{0,63} \cdot \frac{5}{2,16} + 0,63 \cdot 2,16^2 \right) = 17,86 \text{ м}^2.$$

Приближенные значения ребер прямоугольного сосуда по формулам (1.10)

$$\begin{aligned} x_{\text{пр}} &= \sqrt[3]{V} = \sqrt[3]{5} = 1,71 \text{ м}; \\ y_{\text{пр}} &= x_{\text{пр}} k_1^{-0,5} = 1,71 \cdot 0,63^{-0,5} = 2,18 \text{ м}; \\ z_{\text{пр}} &= x_{\text{пр}} k_1^{0,5} = 1,71 \cdot 0,63^{0,5} = 1,36 \text{ м}. \end{aligned}$$

Окончательное принимаем из нормального ряда линейных размеров по ГОСТ 6636-69:

$$x_1 = 1,7 \text{ м}; \quad y = 2,15 \text{ м}; \quad z = 1,35 \text{ м}.$$

Отношение $k_1 = z / y = 1,35 / 2,15 = 0,628$ считаем удовлетворительным по отношению к заданному.

1.1.2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

Таблица 1.2 – Исходные данные

№ п/п	V, м ³	δ, мм	δ _д , мм	δ _к , мм	k ₁
1	2	6	4	3,2	0,56
2	2,5	7	5	3,5	0,58
3	3,0	8	6	4,5	0,71
4	3,6	8	5	3,8	0,64
5	4,0	9	7	5	0,59
6	5,0	10	8	6	0,47
7	1,6	4	3,5	3,2	0,66
8	5,5	11	8	5	0,57
9	2,8	8	5	3,9	0,49
10	6,6	12	9	6	0,65
11	4,2	3	3	3	0,55
12	2,3	3,9	3,2	3	0,52
13	1,8	3,5	3,2	3	0,68
14	5,8	10	6	4	0,64
15	6,8	11	7	5	0,53
16	7,0	12	10	7	0,51
17	5,3	8	9	6	0,63
18	3,3	4	3	3	0,47
19	1,6	3,2	3,2	3,2	0,69

2 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ АППАРАТОВ

2.1 РАСЧЕТ ТРУБЧАТЫХ ТЕПЛОБМЕННЫХ АППАРАТОВ ЖЕСТКОЙ КОНСТРУКЦИИ

ЗАДАЧА: Сконструировать и рассчитать трубчатый теплообменник жесткой конструкции, если известно, что необходимая теплопередающая поверхность $F = 20 \text{ м}^2$, пропускная способность аппарата $V = 16,8 \text{ м}^3 / \text{с}$, скорость движения продукта по трубам $v = 0,45 \text{ м} / \text{с}$, наружный, внутренний и расчетный диаметры труб равны: $d_H = 38 \text{ мм}$; $d_B = 34 \text{ мм}$; $d_P = 38 \text{ мм}$. Трубы и корпус изготовлены из стали марки Ст5. Давление в трубном и межтрубном пространствах $p_T = 1,9 \cdot 10^5$ и $p_M = 4,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Рабочие температуры труб и корпуса равны $t_T = 100$ и $t_K = 60^\circ \text{C}$. Температура окружающей среды равна 20°C .

Длина пучка труб для осуществления теплообменного процесса

$$L' = (0,25F / V) \cdot (d_B^2 / d_P) \cdot v,$$

где F – площадь поверхности теплообмена, м^2 ;

V – пропускная способность пучка труб, $\text{м}^3 / \text{с}$;

d_B и d_P – внутренний и расчетный диаметры трубы, м ;

v – скорость движения продукта в трубах пучка, $\text{м} / \text{с}$.

$$L' = [0,25 \cdot 20 / 16,8 \cdot 10^{-3}] \cdot [(34 \cdot 10^{-3})^2 / (38 \cdot 10^{-3})^2] \cdot 0,45 = 3,26 \text{ м}$$

Число ходов в аппарате

$$j = L' / L,$$

где L – выбранная длина аппарата, м

Принимая длину аппарата равной $1,65 \text{ м}$

$$j = 3,26 / 1,65 \approx 2$$

Живое сечение трубного пучка

$$f_n = V / v = 16,8 \cdot 10^{-3} / 0,45 = 374 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 374 \text{ см}^2,$$

а одной трубы

$$f^1 = 0,25\pi \cdot d_b^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot (34 \cdot 10^{-3})^2 = 9,08 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 908 \text{ см}^2,$$

Количество труб в пучке

$$n_1 = f_n / f^1 = 374 \cdot 10^{-4} / (9,08 \cdot 10^{-4}) = 41,2$$

Принимаем $n_1 = 41$

Количество труб двухходового аппарата равно 82.

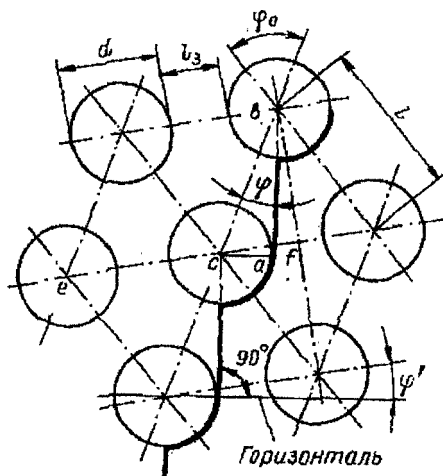


Рисунок 2.1 – Схема расположения труб по вершинам равносторонних треугольников

Зная количество труб, расположенных на стороне наибольшего шестиугольника – n_c , определяем количество труб, расположенных на его диагонали

$$n_d = \sqrt{(4/3) \cdot (82-1) + 1} = 10,4 \text{ трубы}$$

Принимаем $n_d = 11$.

Теоретическое количество труб

$$n_o = 0,75(n_d^2 - 1) + 1 = 0,75 \cdot (11^2 - 1) + 1 = 91$$

Количество труб на стороне наибольшего шестиугольника

$$n_c = 0,5(n_d + 1) = 0,5 \cdot (11 + 1) = 6$$

Шаг размещения труб

$$l_{\min} = (1,25 \dots 1,35) \cdot d_n = (1,25 \dots 1,35) \cdot 38 \cdot 10^{-3} = 47,5 \dots 51,3 \text{ мм}$$

принимаем $l_{\min} = 48 \text{ мм}$

Причем ширина простенка должна быть в свою очередь связана условием

$$l_n = (l_{\min} - d_n) \geq 6 \text{ мм}$$

$l_n = 48 - 38 = 10 \text{ мм}$, условие по ширине простенка выдержано.

Внутренний диаметр кожуха аппарата

$$D_B = l \cdot (n_d - 1) + d_H + 2 \cdot (l - d_H),$$

где n_d – число труб, расположенных по диагоналям наибольшего шестиугольника.

$$D_B = 48 \cdot 10^{-3} \cdot (11 - 1) + 38 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot (48 \cdot 10^{-3} - 38 \cdot 10^{-3}) = 538 \text{ мм};$$

в случае наличия перегородок внутренний диаметр аппарата

$$D_B = 1,13l \sqrt{(n_o / \psi) \sin \varphi_o},$$

где ψ – коэффициент заполнения трубной решетки (для одноходовых аппаратов $\psi = 0,8 \dots 0,9$, для многоходовых $\psi = 0,6 \dots 0,8$);

φ_o – угол, образуемый центральными линиями трубных рядов, угловой градус.

Следовательно, с учетом перегородки $\psi = 0,7$

$$D_B = 1,13 \cdot 48 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{(91 / 0,7) \sin 60^\circ} = 576 \cdot 10^{-3} = 576 \text{ мм}$$

Окончательно количество труб принимаем 86.

Корпус аппарата будет изготавливаться сварным. Наружный диаметр выберем, как у трубы большого диаметра – 630 мм (ближайшее большее его значение по сортаменту).

Принимаем коэффициент прочности сварных швов

$$\beta = 0,7$$

Предел прочности стали 25 $\sigma_B = 540 \text{ МПа}$.

Согласно [2], приложение 1,8 коэффициент запаса прочности $n_B = 3,75$. Следовательно допускаемое напряжение при растяжении

$$[\sigma] = \sigma_B / n_B = 540 / 3,75 = 144 \text{ МПа}.$$

Определяем толщину стенки корпуса аппарата

$$\delta = \frac{p D_B}{2\beta[\sigma] - p} + \delta_c,$$

где p – внутреннее давление газа в аппарате;

D_B – внутренний диаметр цилиндрической оболочки;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение при растяжении для материала стенки аппарата;

β – коэффициент прочности сварных соединений ([2], приложение 16);

δ_c – прибавка на коррозию к толщине стенки аппарата (от 1 до 4 мм и более).

$$\delta \geq \frac{4,9 \cdot 10^5 \cdot 0,63}{2 \cdot 0,7 \cdot 144 \cdot 10^6 - 4,9 \cdot 10^5} + 0,0025 = 0,004 \text{ м} = 4 \text{ мм}$$

Согласно [2], приложение 15: принимаем $\delta = 5 \text{ мм}$. Внутренний диаметр аппарата будет равен $D_B = 620 \text{ мм}$.

Толщина трубной решетки

$$h = \sqrt{\frac{K \cdot p \cdot (D_B^2 - n_o \cdot d_B^2)}{[\sigma_H] \cdot \chi}},$$

где K – коэффициент закрепления: $K \approx 0,162$;

p – перепад давлений по сторонам трубной решетки, Па;

$[\sigma_H]$ – допускаемое напряжение при изгибе, Па;

χ – коэффициент ослабления трубной решетки отверстиями: $\chi = (\ell - d_H) / \ell$

$$h = \sqrt{\frac{0,162 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot (0,62^2 - 86 \cdot 34^2 \cdot 10^{-6})}{144 \cdot 10^6 \cdot 5/24}} = 21,46 \text{ мм.}$$

$$\chi = (48 - 38) / 48 = 5 / 24$$

Проверяем толщину трубной решетки по условию

$$h_{\min} = 0,005 + 0,125 \cdot d_H = 0,005 + 0,125 \cdot 38 \cdot 10^{-3} = 9,75 \text{ мм} < 21,46 \text{ мм}$$

Условие выполняется.

Проверяем ромбический участок трубной решетки на изгиб

$$\sigma_H = \frac{p}{3,6 \cdot (1 - 0,7 d_H / \ell') \cdot (h / \ell')^2} \leq [\sigma_H].$$

где ℓ' – среднее арифметическое сторон f_E и f_B

$$\ell' = 0,5(f_e + f_b) = 0,5(\ell + 0,5\ell + \ell \cdot \cos 30^\circ) = 1,183\ell$$

$$[\sigma_H] = \frac{3 \cdot 10^5}{3,6 \cdot (1 - 0,7 \cdot \frac{38 \cdot 10^{-3}}{56,8 \cdot 10^{-3}}) \cdot (\frac{21,46 \cdot 10^{-3}}{56,8 \cdot 10^{-3}})^2} = 11,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\ell' = 1,183 \cdot 48 \cdot 10^{-3} = 56,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 56,8 \text{ мм}$$

С учетом нормальных линейных размеров принимаем $h = 25 \text{ мм}$.

По расчетным данным выполняем чертеж трубной решетки (рисунок 2.2), конструктивно принимая недостающие размеры.

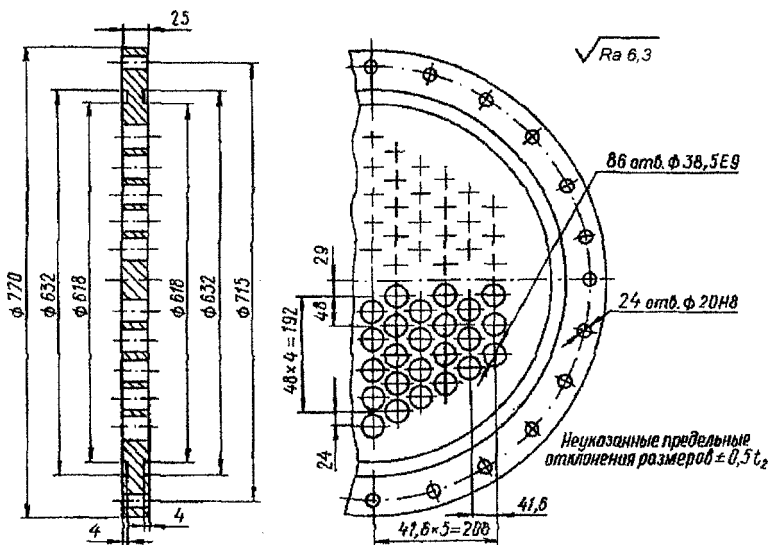


Рисунок 2.2 – Трубная решетка

Величина осевой силы

$$Q^p = S_T^p + S_K^p = 0,785 \cdot (D_B^2 - n_0 d_H^2) p_M + 0,785 n_0 d_B^2 p_T,$$

где S_T^p и S_K^p – величины осевых сил в трубах и корпусе аппарата, возникающих от разности давлений, Н;

p_M – давление рабочего тела в межтрубном пространстве, Па;

p_T – давление продукта в трубном пространстве, Па

$$Q^p = 0,785 \cdot (0,62^2 - 86 \cdot 38^2 \cdot 10^{-6}) \cdot 4,9 \cdot 10^5 + 0,785 \cdot 86 \cdot 34^2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^5 = 111800 \text{ Н} = 114,8 \text{ кН}$$

Определим площади сечений труб и корпуса (колец) по очевидным зависимостям

$$f_T = n_0 \cdot 0,785 \cdot (d_H^2 - d_B^2) = 86 \cdot 0,785 \cdot (38^2 \cdot 10^{-6} - 34^2 \cdot 10^{-6}) = 1,94 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 194 \text{ см}^2$$

$$f_K = 3,14 \cdot 0,625 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 98,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 = 98,2 \text{ см}^2.$$

Определяем усилия в трубах и корпусе (модуль упругости $E_1 = E_2 = 1,96 \cdot 10^{11} \text{ Па}$):

$$S_T^p = Q^p f_T E_1 / (f_T E_1 + f_K E_2);$$

$$S_K^p = Q^p f_K E_2 / (f_K E_2 + f_T E_1);$$

$$S_T^p = 100 \text{ кН}; \quad S_K^p = 14,8 \text{ кН}.$$

Разность между рабочей температурой труб и температурой окружающей среды $\Delta t_T = 80^\circ C$, а между рабочей температурой корпуса и температурой окружающей среды $\Delta t_K = 40^\circ C$. Термический коэффициент расширения $\alpha = 14,4 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$.

Осевая сила в трубах (корпусе) от разности температур

$$S' = -S'_T = S'_K = \frac{(\alpha_T \Delta t_T - \alpha_K \Delta t_K) f_T E_T f_K E_K}{(1 + \alpha_K \Delta t_K)(f_T E_T + f_K E_K)}$$

Эти силы одинаковы по величине, но различны по направлению. Для корпуса – сила положительна, а для труб – она отрицательна (трубы оказываются сжатыми).

S' – осевая сила в трубах и корпусе, Н;

α_T и α_K – термические коэффициенты линейного расширения материалов труб и корпуса, $1/^\circ C$;

Δt_T и Δt_K – разности температур между рабочими (средними) температурами труб или корпуса и температурой окружающей среды в момент сборки или монтажа аппарата, $^\circ C$;

f_T и f_K – площади поперечных сечений всех труб (колец) и корпуса (кольца), m^2 ;

E_T и E_K – модули упругости первого рода для материалов труб и корпуса при рабочей температуре, Па.

$$S' = \frac{11,4 \cdot 10^{-6} \cdot (80 - 40) \cdot 194 \cdot 10^{-4} \cdot 98,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,96 \cdot 10^{11}}{194 \cdot 10^{-4} + 98,2 \cdot 10^{-4}} = 582700 H$$

Суммарные усилия в трубах и корпусе:

$$S_T = 100000 - 582700 = -482700 H;$$

$$S_K = 14800 + 582700 = 597500 H.$$

Знак минус → сжатие труб при термической деформации.

Проверяем прочность крепления труб в трубной решетке

$$S = S_T / (\pi d_n n_0) = 482700 / (3,14 \cdot 38 \cdot 10^{-3} \cdot 86) = 47040 H / m.$$

Этот результат меньше допускаемого и, следовательно, удовлетворяет условиям работы аппарата при креплении труб в трубной решетке с помощью развальцовки.

Напряжения в трубах и корпусе

$$\sigma_T = (S_T + S') / f_T; \quad \sigma_K = (S_K + S') / f_K$$

Они не должны превышать допускаемых напряжений для соответствующих материалов.

$$\sigma_T = -482700 / (194 \cdot 10^{-4}) = -24,9 \text{ МПа};$$

$$\sigma_K = 597500 / (98,2 \cdot 10^{-4}) = 60,85 \text{ МПа}.$$

Напряжение находится в допускаемых пределах.

Углы наклона диагонали шестиугольника к вертикали и горизонтали

$$\varphi = \arcsin ac / bc = \arcsin d / 2l;$$

$$\varphi' = 30^\circ - \varphi$$

$$\varphi = \arcsin[(38 \cdot 10^{-3}) / (2 \cdot 48 \cdot 10^{-3})] = \arcsin 0,396 = 23^\circ 30';$$

$$\varphi' = 30^\circ - 23^\circ 30' = 6^\circ 30'$$

Таблица 2.1 – Исходные данные

l	F = 6м ²	V = 5дм ³ /с	d _H = 14	d _B = 12мм	d _p = 14	Материал труб и корпуса, сталь = Ст 0
2	7	6	15	13	15	Ст 0
3	8	6,5	16	14	16	Ст 1
4	9	7,5	17	15	17	Ст 1
5	10	8	18	16	18	Ст 2
6	12	10	20	17	20	Ст 2
7	14	11,5	24	20	24	Ст 3
8	16	12	28	24	28	Ст 3
9	18	14	30	26	30	Ст 4
10	21	17,5	38	34	38	Ст 4
11	23	19	40	35	40	Ст 5
12	25	20,5	42	36	42	Ст 5
13	27	22	44	38	44	Ст 6
14	30	23,5	46	40	46	Ст 6
15	32	25	48	42	48	Ст 7
16	35	26	50	44	50	Ст 7

Примечание. Недостающие исходные данные согласуются с преподавателем.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Остриков А.Н., Абрамов О.В. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств. СПб.: РАИИ. 2009. – 408с.
2. Харламов, С.В. Практикум по расчету и конструированию машин и аппаратов пищевых производств. – Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1991. – 256с., ил.
3. Соколов В.И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств. – М.: Машиностроение, 1983. – 447с.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
1 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ АППАРАТОВ.....	4
1.1 РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СОСУДОВ	4
1.1.1 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ СОСУДОВ	6
1.1.2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ	8
2 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ АППАРАТОВ.....	9
2.1 РАСЧЕТ ТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ЖЕСТКОЙ КОНСТРУКЦИИ.....	9
РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ	16

Учебное издание

Составители:

Хоронжевский Юрий Анатольевич

Хоронжевская Анжела Юрьевна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению практических работ
по курсу «Расчет и конструирование
машин и аппаратов пищевых производств»
для студентов специальности 1-36 09 01
«Машины и аппараты пищевых производств»**

Ответственный за выпуск: Хоронжевский Ю.А.

Редактор: Боровикова Е.А.

Корректор: Никигчик Е.В.

Компьютерная верстка: Соколюк А.П.

Подписано в печать 27.02.2015 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 1,16. Уч. изд. л. 1,25. Заказ № 228. Тираж 50 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.