

Щербин Сергей Анатольевич,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: dekan_ftk@angtu.ru

Внуков Богдан Геннадиевич,

студент, Ангарский государственный технический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД НАЛИВОМ ЖИДКОСТИ

Shcherbin S.A., Vnukov B.G.

OPTIMIZATION OF VERTICAL CYLINDRICAL VESSELS SIZES

Аннотация. Рассмотрен метод оптимизации размеров вертикальных цилиндрических резервуаров из условия минимальной материалоемкости корпуса. Получены выражения для определения оптимального диаметра и высоты резервуара.

Ключевые слова: резервуар, оптимальные размеры, материалоемкость.

Abstract. The method of optimization of vertical cylindrical vessels sizes for minimum material consumption is considered. Expressions are obtained to determine the optimal diameter and height of the vessel.

Keywords: vessel, optimal size, materials consumption.

Представляет практический интерес исследование материалоемкости вертикальных цилиндрических резервуаров (РВС), работающих под наливом жидкости и использующихся в нефтехимической промышленности для хранения нефти и нефтепродуктов. РВС отличаются большим внутренним объемом (до 120 тыс. м³), поэтому оптимизация размеров может привести к существенной экономии конструкционных материалов и, соответственно, к уменьшению стоимости резервуаров.

В соответствии с законом Паскаля, графическая иллюстрация которого приведена на расчетной схеме (рисунок 1), в аппаратах, заполненных жидкими средами, при увеличении высоты столба жидкости $h_{ж}$ возрастает гидростатическое давление p_2 :

$$p_2 = p_0 + \rho_{ж}gh_{ж}, \quad (1)$$

где p_0 – давление на свободной поверхности жидкости, Па; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

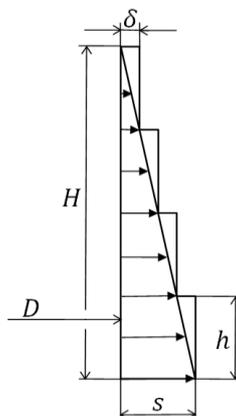


Рисунок 1 – Схема для расчета оптимальных размеров резервуара

Существенное повышение p_e приводит к необходимости увеличения толщины цилиндрической стенки сосуда s и, соответственно, к увеличению расхода материала. Для уменьшения металлоемкости резервуаров большого объема их изготавливают из нескольких цилиндрических поясов с разной толщиной, изменяющейся по высоте сосуда от максимального значения в нижней части резервуара до минимального – в верхней.

Определим оптимальные размеры (внутренний диаметр D и высоту H) вертикального цилиндрического резервуара с плоскими днищем и крышкой из условия минимальной массы корпуса. Для этого выразим массу резервуара m через его диаметр D :

$$m = \rho_m(2 f_s V^2 / D^2 + \pi h f_s V / 2 + (s_d + s_k) \pi D^2 / 4), \quad (2)$$

где ρ_m – плотность конструкционного материала, кг/м³; V – полный объем сосуда, м³; h – высота горизонтальных цилиндрических поясов резервуара, м; s_d и s_k – толщина стенок соответственно днища и крышки резервуара, м; f_s – расчетный комплекс, учитывающий плотность жидкости и прочность конструкционного материала, м⁻¹:

$$f_s = 2 \rho_{ж} g / (\pi [\sigma] \varphi), \quad (3)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение конструкционного материала при расчетной температуре, Па; φ – коэффициент прочности сварного шва.

Для определения оптимального диаметра D_m , соответствующего минимальной металлоемкости корпуса резервуара, найдем производную полученной функции по диаметру [1]:

$$dm/dD_m = (s_d + s_k) \pi D_m / 2 - 4 f_s V^2 / D_m^3. \quad (4)$$

Проверим выполнение условия:

$$d^2 m / dD_m^2 > 0; \quad (5)$$

$$(s_d + s_k) \pi / 2 + 12 f_s V^2 / D_m^4 > 0, \text{ условие выполняется.} \quad (6)$$

Приравняем первую производную к нулю и выразим оптимальный диаметр:

$$D_m = \{8 f_s V^2 / [\pi (s_d + s_k)]\}^{0,25}. \quad (7)$$

Используя полученное выражение, выразим оптимальную высоту цилиндрической части резервуара:

$$H_m = [2 (s_d + s_k) / (\pi f_s)]^{0,5}. \quad (8)$$

Учитывая (3) и (8) можно сделать вывод, что оптимальная высота цилиндрического резервуара не зависит от его объема.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербин С.А., Внуков Б.Г., Гордеев К.И. Оптимизация размеров сосудов из условия минимальной металлоемкости корпуса // Сборник научных трудов АнГТУ. 2018. № 14. С. 64-67.