

УДК 624.02145(075.8)

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ РЕЗЕРВУАРА ВОДОНАПОРНОЙ БАШНИ**

*канд. техн. наук, доц. В.Д. ГРИНЁВ,  
А.А. ПЕТРИК, Е.Ю. ХУЦКАЯ  
(Полоцкий государственный университет)*

*Рассмотрен и обоснован новый метод нахождения оптимальных размеров резервуара водонапорной башни с целью экономии материала и снижения затрат на его изготовление.*

Напорно-регулирующие ёмкости - одни из важнейших технологических элементов систем водоснабжения; они позволяют обеспечить более или менее равномерную работу насосных станций, вследствие чего отпадает необходимость в подаче ими пиковых расходов воды, а также позволяют уменьшить диаметр, а следовательно, и стоимость водоводов и транзитных магистралей водопроводной сети [1, с. 126].

Конечно, большая часть капитальных вложений идет на строительство водонапорной башни. Поэтому снижение стоимости строительства башни позволяет сэкономить значительные материальные ресурсы, а для этого нужны при создании проекта новые методы расчета.

Из всех регулирующих емкостей наиболее часто используют водонапорные башни, которые обеспечивают необходимый напор и подачу воды наряду с насосными станциями системы водоснабжения. Это создаёт благоприятный режим работы насосных станций.

При минимальном водоразборе в системе насосы подают часть воды непосредственно потребителям, остальную - закачивают в ёмкости напорно-регулирующих сооружений. В период максимального водоразбора насосы обеспечивают расчетную подачу воды в сеть, а недостающий объем воды поступает к потребителям из напорно-регулирующих сооружений.

Такая схема работы насосов при достаточной вместимости напорно-регулирующих сооружений позволяет снизить расчетную подачу и мощность насосных станций системы водоснабжения, увеличить загрузку насосного оборудования, уменьшить удельные затраты энергии на подъём и подачу воды и тем самым увеличить технико-экономические показатели системы водоснабжения в целом [2, с. 88].

Для решения вопроса о выборе размеров емкостей при проектировании необходим тщательный технико-экономический анализ системы водоснабжения и намечаемого режима её работы. Основными элементами водонапорной башни являются резервуар или бак и поддерживающая конструкция. Вместимость бака  $V$  определяется в процессе проведения основных расчетов системы водоснабжения и принимается как заданная при проектировании башни. Резервуары в большинстве случаев устраивают цилиндрической формы. Соотношение высоты и диаметра бака определяется как технологическими, так и архитектурно-строительными расчетами. Большая высота бака нежелательна, так как вызывает увеличение высоты подъема воды, а также значительные колебания напоров в системе. Водонапорная башня, особенно в городских водопроводах, должна удовлетворять эстетическим требованиям, которые предъявляются ко всем архитектурным сооружениям, она не должна нарушать гармоничность всего архитектурного ансамбля того района, где она расположена. Наконец, при выполнении баков из того или иного материала следует учитывать технико-экономические требования для заданной вместимости.

Оптимизация играет важную роль при инженерном проектировании. Одна из целей любой разработки - это достижение наилучших характеристик или наименьших размеров. Оптимизация состоит в отыскании таких значений регулируемых параметров, которые при положительных ограничениях дают минимум функций (стоимость, мера расхода материала) методом решения экстремальных задач. В технической литературе существует множество методов определения размеров бака водонапорной башни, но в каждом из них оптимизация выполняется с разной целью.

Впервые вопрос об определении оптимальных размеров резервуаров исследовал В.Г. Шухов. Он доказал, что резервуар со стенкой постоянной толщины имеет наименьший вес, если вес днища и покрытия вдвое меньше веса корпуса, а резервуар со стенкой переменной толщины получается наиболее экономичным, если вес днища покрытия равен весу корпуса [3, с. 284].

Известен метод определения размеров резервуаров (высоты и диаметра), в котором за критерии оптимальности принимают удельный расход стали, приходящийся на  $1 \text{ м}^3$  их полезного объёма. Суммарная масса резервуара складывается из масс днища, крыши и стенки. Она получается минимальной, если масса днища и крыши равна массе стенки [4, с. 375].

Оптимальную высоту емкостных сооружений нельзя определять только из соображений экономичности самих конструкций, не учитывая стоимости электроэнергии на закачивание или откачивание. Эти параметры легли в основу разработанной в 1986 году серии типовых проектов металлических и цилиндрических резервуаров вместимостью 50, 100, 150, 200 и 500 м<sup>3</sup>, предназначенных для применения в районах с температурой наружного воздуха до 30 °С [5, с. 159].

Предлагаемый нами метод заключается в определении оптимальных размеров металлического резервуара водонапорной башни при заданном объеме с целью минимизации расхода металла. Таким образом, целевой функцией является площадь поверхности, а функциональное ограничение налагается на объем.

Рассмотрим резервуар водонапорной башни цилиндрической формы, с коническим дном (рис. 1).

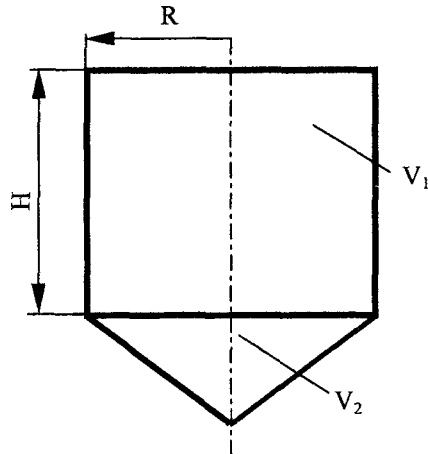


Рис. 1. Стальной бак с коническим дном

Объем бака представляет собой сумму объемов конической и цилиндрической частей.

Рассмотрим треугольник - осевое сечение конуса. Из условий минимума отношения полезной площади к неполному периметру, оптимальный угол наклона образующей к основанию должен быть 45° [1, с. 53].

Отсюда

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H + \frac{\pi \cdot R^3}{3}. \quad (1)$$

Высота цилиндрической части из формулы (1):

$$H = \frac{V}{\pi \cdot R^2} - \frac{1}{3} \cdot R. \quad (2)$$

Учитывая (2), поверхность бака, включая металлическую крышку, будет равна

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H + \pi \cdot R^2 \cdot \sqrt{2} + \pi \cdot R^2 = \frac{2 \cdot V}{R} + \pi \cdot R^2 \cdot \left(\frac{1}{3} + \sqrt{2}\right). \quad (3)$$

Допуская, что целевая функция A (3) дифференцируема, найдем оптимум, взяв первую производную по R и приравняв ее к нулю:

$$\frac{dA}{dR} = -\frac{2V}{R^2} + 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \left(\frac{1}{3} + \sqrt{2}\right) = 0. \quad (4)$$

В результате из (4) определяем оптимальные размеры бака, исходя из заданного объема:

– радиус бака:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{(1 + 3\sqrt{2}) \cdot \pi}}; \quad (5)$$

– высота цилиндрической части:

$$H = \sqrt[3]{\frac{V}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{3} + \sqrt{2}\right)^2} - \sqrt[3]{\frac{V}{(9 + 27\sqrt{2}) \cdot \pi}}. \quad (6)$$

Так, при объеме резервуара  $V = 200 \text{ м}^3$ , определим оптимальные размеры бака по формулам (5) и (6). Анализ полученных результатов и Типового проекта водонапорной башни за 1969 год [7, с. 10] показал, что экономия стали на конструирование стального резервуара при условной толщине листа, равной 4 мм, составляет примерно 164 кг.

Предложенные варианты расчета оптимальных размеров резервуара водонапорной башни позволят свести расходы материала и затраты по изготовлению бака к минимуму.

Рассмотрим цилиндрический бак с плоским дном (рис. 2), частный случай рассмотренной выше общей задачи.

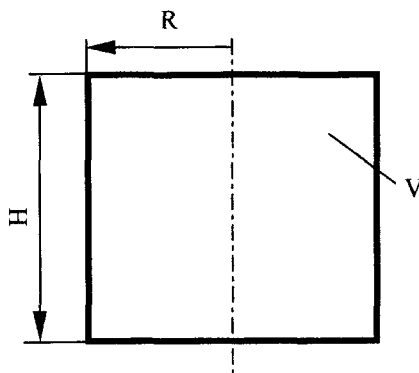


Рис. 2. Цилиндрический бак с плоским дном

Целевой функцией для него является площадь поверхности:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot R^2 + 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H, \quad (6)$$

а функциональные ограничения налагаются на объем:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H, \quad (7)$$

согласно которому (7), целевая функция принимает вид:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot R^2 + \frac{2 \cdot V}{R}. \quad (8)$$

Формула (8) была получена ранее [8, с. 221].

Оптимизация по  $R$

$$\frac{dA}{dR} = 4 \cdot \pi \cdot R - \frac{2 \cdot R}{R^2} \quad (9)$$

дает радиус цилиндра

$$R = \sqrt[3]{\frac{V}{2 \cdot \pi}} \quad (10)$$

и высоту бака

$$H = \sqrt[3]{\frac{V}{4 \cdot \pi}}. \quad (11)$$

Таким образом, предложен новый метод расчета размеров бака водонапорной башни, который позволяет определить размеры бака по заданному объему с минимальными затратами материала.

По сравнению с ранее разработанными методами данный метод более выгоден в экономическом плане.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1982.-440 с.
2. Калицун В.И., Кедров В.С. Гидравлика, водоснабжение и канализация. Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1980. - 359 с.
3. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. - М: Стройиздат, 1979. - 319 с.
4. Аржаков В.Т. Специальные конструкции и сооружения. 1999. - М.: Стройиздат. - 544 с.
5. Белецкий Б.Ф., Зотов И.И., Ярославский Л.В. Конструкции водопроводно-канализационных сооружений: Справочное пособие. - М.: Стройиздат, 1989. - 448 с.
6. Гринев В.Д., Гринев В.В. Оптимизация планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений. - Новополоцк, 2003. - 78 с.
7. Типовой проект. Водонапорные башни с объемом баков 200, 400, 500 л. - М., 1969 .
8. Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений. - М.: Мир, 1968.-440 с.