НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ

Рыбина М.А.
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (603950, Нижний Новгород), e-mail: ooaxis@yandex.ru

Несмотря на существенный прогресс, достигнутый в последние годы в резервуаростроении, резервуары для нефти и нефтепродуктов остаются одними из наиболее опасных объектов. Особое внимание уделяется проблеме повышения эксплуатационной надежности и безопасности стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов - разрабатываются новые принципы проектирования резервуара. Один из таких принципов – принцип деформационного разделения работы корпуса, днища и плавающей кровли резервуара. Эффективность концептуального принципа деформационного разделения работы корпуса, днища и плавающей кровли резервуара обеспечивается тем, что плавающая кровля и днище резервуара конструктивно гибко сопрягаются с вертикальной цилиндрической стенкой резервуара с помощью демпферных элементов в виде гофра. Наличие демпферных элементов позволяет днищу при максимально заполненном состоянии под действием давления жидкости легко деформироваться за счет податливости кольцевого гофра как в вертикальном, так и в тангенциальном направлении, что позволяет резко уменьшить дополнительную концентрацию напряжений в элементах сопряжения вертикальной стенки, окраек и днища.

Ключевые слова: новый принцип проектирования резевуаров, повышение эксплуатационной надежности и безопасности стальных вертикальных резервуаров, демпферные элементы.

NEW PRINCIPLES OF DESIGN TANKS

Rybina M.A.
Nizhny Novgorod State University of Architecture and Construction (603950, Nizhny Novgorod), e-mail: ooaxis@yandex.ru

Despite the significant progress made in recent years in Tank building, tanks for oil and petroleum products are among the most dangerous objects. Particular attention is paid to improve operational reliability and safety of vertical steel tanks for storage of oil and oil products are developed new principles of the design of the tank. One such principle - the principle of the separation of work strain housing bottom and floating roof tank. Efficacy conceptual principle of dividing the work of deformation housing bottom and the floating roof of the tank is provided so that the floating roof and the tank bottom structurally flexible mate with a vertical cylindrical tank wall via damping elements in the form of the corrugation. Having the damper elements allows the bottom with a maximum filled condition under the influence of fluid pressure is easily deformed due to the compliance of the annular corrugation in the vertical and in the tangential direction, which can dramatically reduce the stress concentration at the additional coupling elements of the vertical wall, selvages and a bottom.

Keywords: new design principle tanks, improve operational reliability and safety of steel vertical tanks, double wall, reducing the hydrostatic pressure, damping elements.

Несмотря на существенный прогресс, достигнутый в последние годы в резервуаростроении, резервуары для нефти и нефтепродуктов остаются одними из наиболее опасных объектов. Особое внимание уделяется проблеме повышения

эксплуатационной надежности и безопасности стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

Изучая статистику разрушений резервуаров, можно отметить, что на практике большинство разрушений возникает вблизи мест концентрации напряжений. Характерными местами разрушений являются технологические отверстия, уторные и монтажные соединения [3].

За последние 70 лет в отечественной и зарубежной практике произошел ряд серьезных аварий резервуаров. Одно из первых мгновенных разрушений сварного резервуара, объемом 4500 м^3, произошло в нашей стране в конце 1947 г. [4]. При осмотре было выявлено массовое образование трещин в уторном узле сварного резервуара, существовавших до аварии. Во всех случаях трещины обнаружены в местах соединения окрайки с нижним поясом стенки со стороны направления господствующего ветра [5]. Причиной разрушения следует считать разрушение металла в зоне сварных соединений, спровоцированное существованием концентрированных напряжений при низкой температуре окружающей среды.

Характерные аварии резервуаров емкостью 50 тыс. м^3, у которых разрушения шва достигли еще более катастрофических размеров произошли в Японии [1]. Были выполнены аналитические расчеты и необходимые эксперименты, показавшие, что напряженно-деформированное состояние вертикальной стенки и окраек в зоне уторного сварного шва с самого начала эксплуатации находилось в пластической стадии.

Образование трещин в уторном соединении возникает по трем направлениям, представленным на рис. 1.

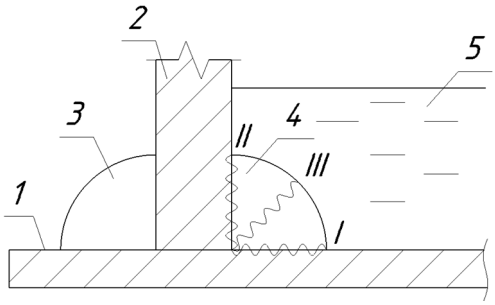


Рис.1. Схема образования трещин в уторном соединении резервуара

1 – окрайка; 2 – вертикальная стенка; 3 – внешний сварной шов; 4 – внутренний шов; 5 – хранимый продукт;I – усталостная трещина первого рода; II - усталостная трещина второго рода; III - усталостная трещина третьего рода

Причинами образования указанных дефектов и трещин в уторном соединении являются [1]:

- коррозионные процессы, происходящие в зоне уторного шва из-з наличия подтоварной воды;

- малоцикловая усталость металла в перегруженном сварном шве;

- наличие остаточных напряжений, как в теле, так и в околошовной зоне сварного шва уторного соединения;

- возникновение остаточных напряжений в вертикальной стенке резервуара в ходе формирования ее цилиндрической формы;

- возникновение сложнонапряженного состояния вертикальной стенки в результате неравномерной осадки резервуаров;

- наличие высокого температурного градиента в вертикальной стенке из-за большого перепада температур между внешней средой и хранимым продуктом;

- местной потерей устойчивости вертикальной стенки РВС в горизонтальном и в вертикальном направлениях в зоне уторного соединения.

С целью эффективного решения вышеперечисленных проблем разрабатываются новые принципы проектирования резервуара [2]. Так, например, принцип деформационного разделения работы корпуса, днища и плавающей кровли резервуара (рис. 2).

Эффективность концептуального принципа деформационного разделения работы корпуса, днища и плавающей кровли резервуара обеспечивается тем, что плавающая кровля и днище резервуара конструктивно гибко сопрягаются с вертикальной цилиндрической стенкой резервуара с помощью демпферных элементов в виде гофра.

Наличие демпферных элементов позволяет днищу при максимально заполненном состоянии под действием давления жидкости легко деформироваться за счет податливости кольцевого гофра как в вертикальном, так и в тангенциальном направлении, что создает необходимые условия независимой работы системы "кольцевой фундамент, окрайки, вертикальная стенка и днище резервуара" и одновременно позволяет резко уменьшить дополнительную концентрацию напряжений в элементах сопряжения вертикальной стенки, окраек и днища [2].

Гофр может быть сформирован непосредственно в тонколистовом днище путем прокатывания по его периметру специальной оснасткой или изготовлен из гофрированной полосы.

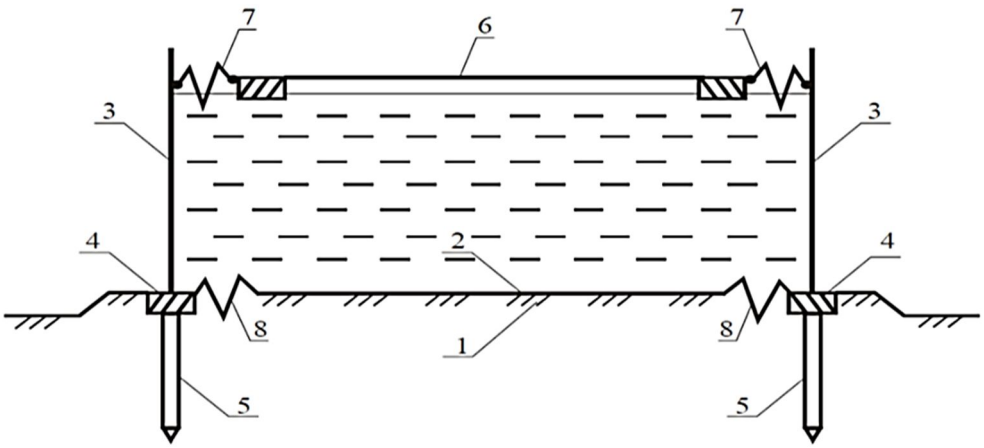


Рис.2. Схема резервуара с гибким сопряжением днища

1 – основание; 2 – днище; 3 – стенка; 4 – кольцевой фундамент; 5 – сваи;

6 – плавающая крыша; 7 – гибкое сопряжение плавающей крыши со стенкой;

8 – гибкое сопряжение днища со стенкой

Таким образом, предлагаемая конструкция вертикального цилиндрического резервуара с гибким сопряжением вертикальной стенки с днищем и плавающей крышей позволяет устранить возможные перенапряжения в несущих и ограждающих элементах резервуара, герметизировать зазор между плавающей крышей и стенкой резервуара и повысить общую эксплуатационную надежности резервуара.

Изменение конструктивной схемы резервуара возможно при использовании варианта подвижного сопряжения стенки и днища (рис. 3) [2].

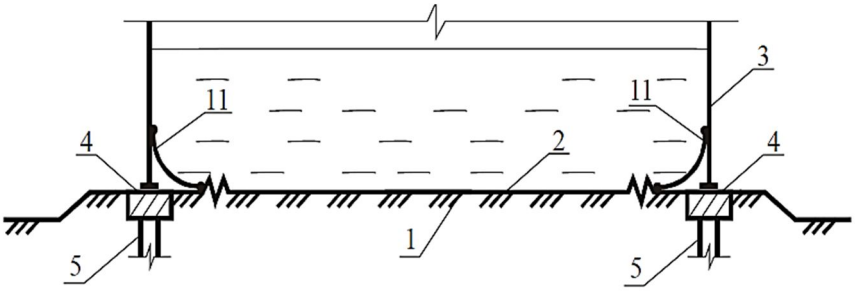


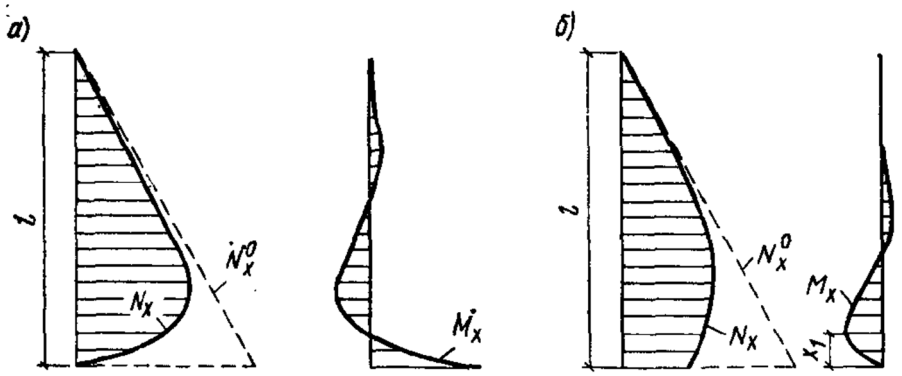
Рис.3. Схема подвижного сопряжения стенки резервуара с днищем

1 – основание; 2 – днище; 3 – стенка; 4 – кольцевой ростверк; 5 – сваи;

11 – элемент кольцевого подвижного сопряжения днища и стенки

При жестком сопряжении стенки с днищем резервуара радиальные перемещения на уровне днища практически равны нулю вследствие ничтожно малой деформируемости днища в своей плоскости. В связи с этим вертикальная образующая стенки искривляется, в ней возникают изгибающие моменты M_x, действующие вдоль образующей, и соответствующие им поперечные силы Q_x (рис.4, а). При подвижном сопряжении

цилиндрической стенки с днищем по ее торцу образуется сила трения вследствие радиально перемещения стенки (рис.4, б).



а) сопряжение стенки с днищем жесткое; б) то же, подвижное

Рис.4. Эпюры кольцевых усилий и изгибающих моментов

Подвижное сопряжение стенки резервуара и днища, позволяет резко уменьшить моменты краевого эффекта, а, следовательно, и напряжения изгиба в месте сопряжения стенки и днища.

Таким образом, наличие демпферных элементов в новой конструкции резервуара с применением концептуального принципа деформационного разделения работы стенки, днища и плавающей кровли позволяет изменить геометрическую схему резервуара, снизить напряженно-деформированное состояние всего сооружения. Разработанный принцип повышения эксплуатационной надежности резервуаров комплексно и с минимальными затратами эффективно разрешает технические и экологические проблемы возникающие при возведении и эксплуатации резервуаров.

ЛИТЕРАТУРА

1 Землянский, А. А. Опыт выявления дефектов и трещин в крупноразмерных резервуарах для хранения углеводородов [Электронный ресурс] / А. А. Землянский, О. С. Вертынский // Инженерный строительный журнал. – ГОУ ВПО СГТУ, 2011 - Вып. 7. - С. 40-44.

2 Землянский, А. А. Инновационные принципы проектирования резервуаров нового поколения для хранения углеводородов [Электронный ресурс] / А. А. Землянский // Симпозиум 2013 – перспективные технологии XXI века. / Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал) СГТУ, 2012. – 35 с.

3 Кондрашова, О. Г. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров [Электронный ресурс] / О. Г. Кондрашова, М. Н. Назарова // Нефтегазовое дело. – 2004 - Вып. 2. - 8 с.

4 Купреишвили, С. М. Разрушения в процессе эксплуатации вертикальных цилиндрических резервуаров со стационарной крышей [Электронный ресурс] / С. М. Купреишвили // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2005 - Вып. 7. – С. 8 – 14.

5 Шабалин, В. И. Некоторые случаи разрушения сварных резервуаров при низкой температуре [Электронный ресурс] / В. И. Шабалин // Автогенное дело. – 1948 - Вып. 6. - С .29 - 80.