

УДК 624.014

Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния уторного узла вертикального цилиндрического резервуара

Москаленко И.В., Роменский Д.И., Мущанов В.Ф., д.т.н.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Украина

Анотація Розглянуто питання експериментального обґрунтування розрахункової схеми вузла сполучення стінки з дном вертикального циліндричного резервуара. Наведені і проаналізовані основні результати експериментальних досліджень картини напружено-деформованого стану.

Аннотация. Рассмотрен вопрос экспериментального обоснования расчетной схемы узла сопряжения стенки с дном вертикального цилиндрического резервуара. Приведены и проанализированы основные результаты экспериментальных исследований картины напряженно-деформированного состояния.

Abstract. The problem of experimental verification of a design scheme node pair with the bottom wall of a vertical cylindrical tank. Are presented and analyzed the main results of experimental studies picture of the stress-strain state.

Ключевые слова: резервуар с двойной стенкой, проблемы проектирования, краевой эффект, уторный узел, экспериментальные исследования

Существующая во всем мире тенденция к увеличению числа и размеров резервуарных конструкций приводит к повышению ответственности и опасности этих сооружений. При этом, одним из наиболее сложных в расчетном плане является уторный узел резервуара (место сопряжения днища со стенкой), расчетные модели которого для разных случаев расчета в нормативных документах разных стран строились исходя из 2-х диаметрально противоположных предпосылок [1, 2, 3]:

- представление соединения в виде жесткого рамного узла, жесткость которого обеспечивается 2-мя кольцевыми угловыми швами. Данная методика применяется в отечественных нормативных документах. [1];
- представление соединения в виде шарнирного узла, характерное для многих европейских и американских норм расчета и проектирования резервуарных конструкций.

Для исследования границ применимости обозначенных расчетных схем в зависимости от геометрических и жесткостных параметров резервуара, а также податливости основания проводится цикл экспериментальных исследований на модели резервуара объемом 50000 м³, выполненной в масштабе 1:60. Для реальной конструкции резервуара с высотой стенки

18 м, діаметром 60 м і товщиною стінки 30 мм, розміри моделі складуть відповідно: 30 см (60 – для підвищення рівня напружень в оболочці), 100 см і 0,5 мм. Експериментальна установка і її кінечно-елементна розрахункова схема представлені на рис. 1 і 2.



Рис. 1. Експериментальна установка

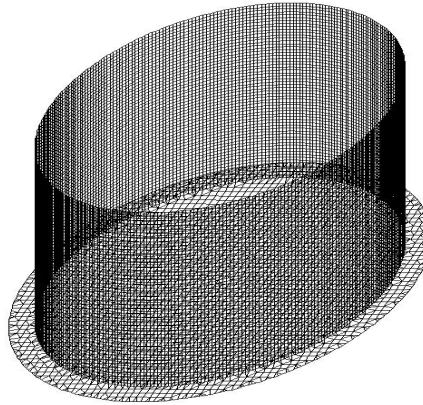


Рис. 2. Розрахункова схема в комплексі SCAD

В цілому, **основною метою** проводимих досліджень є встановлення загальних закономірностей зміни напружено-деформованого стану уторного вузла вертикального циліндричного резервуара (в тому числі з подвійними стінками) і створення його методики розрахунку при різних варіантах виконання з урахуванням податливості основи.

Загальний план проведення експериментальних досліджень при вивченні цього питання:

1. Проведення експериментальних досліджень вертикального циліндричного резервуара з однією стінкою на жорсткій основі (без урахування податливості основи).
2. Проведення експериментальних досліджень вертикального циліндричного резервуара з однією стінкою на ґрунтовій основі (з урахуванням податливості основи).
3. Проведення експериментальних досліджень вертикального циліндричного резервуара з двома стінками на ґрунтовій основі (з урахуванням податливості основи).

В час проведення експерименту застосовувалися наступні прилади:

1. Індикатори годинного типу з ціною ділення 0,001 і 0,002, призначені для визначення величини відхилень від заданої геометричної форми.

2. Для определения напряжений, возникающих в оболочке, использовались бумажные тензометрические датчики с базой 20 мм и точностью измерений $3,7 \text{ кг/см}^2$ (объединены в розетки).
3. СИИТ – 3. Система предназначена для измерения выходных сигналов тензорезисторов с представлением результатов в цифровом виде.

Схемы расположения измерительных приборов представлены на рис. 1 и 3.

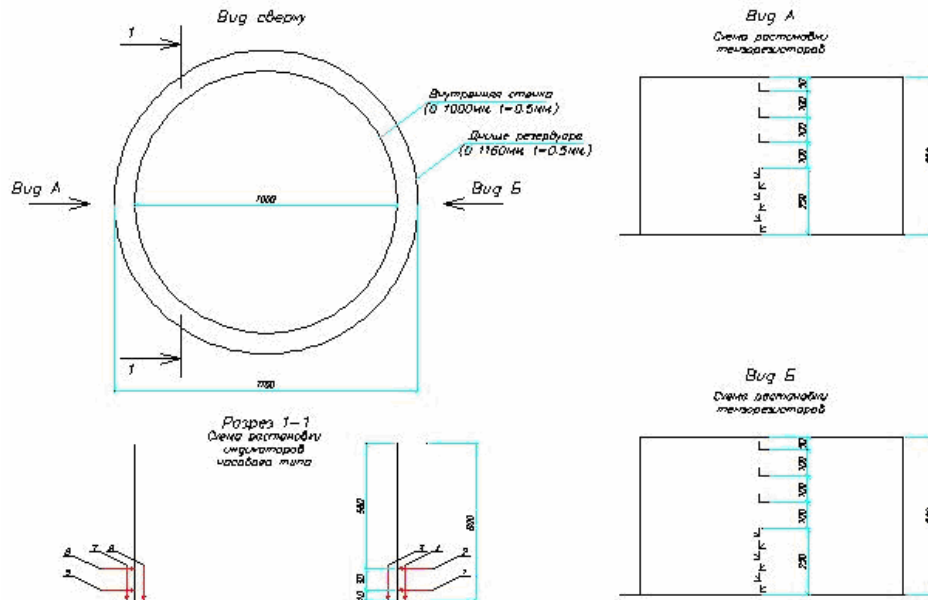


Рис. 3. Схема расстановки измерительных приборов

Для проведенного первого цикла испытаний, который включал в себя испытания модели вертикального цилиндрического резервуара с одной стенкой на жестком основании, залив модели водой осуществлялся за 10 циклов (по 6 см высоты стенки). Результаты испытаний представлены на рис. 4 – 9.

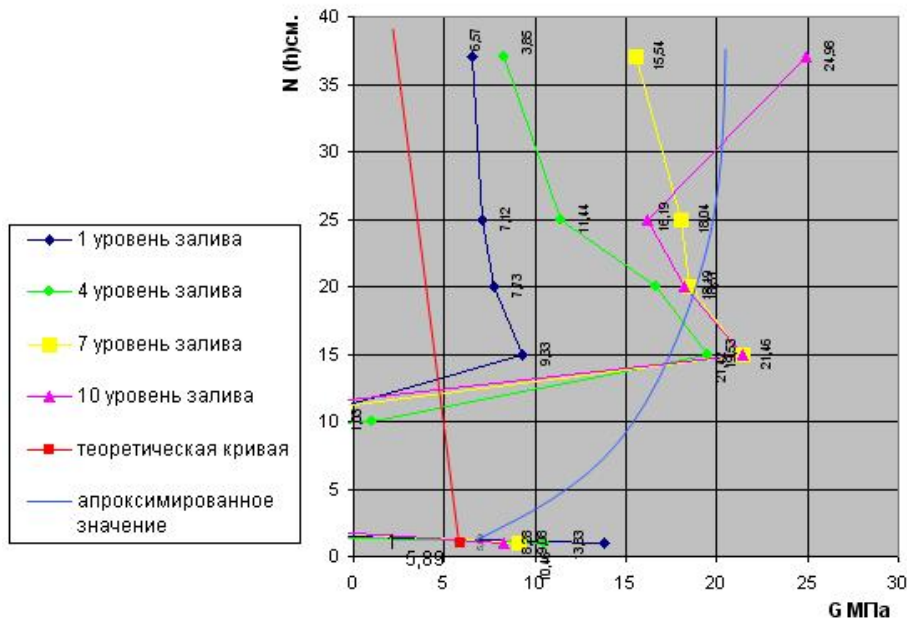


Рис. 4. Кольцевые напряжения σ_1

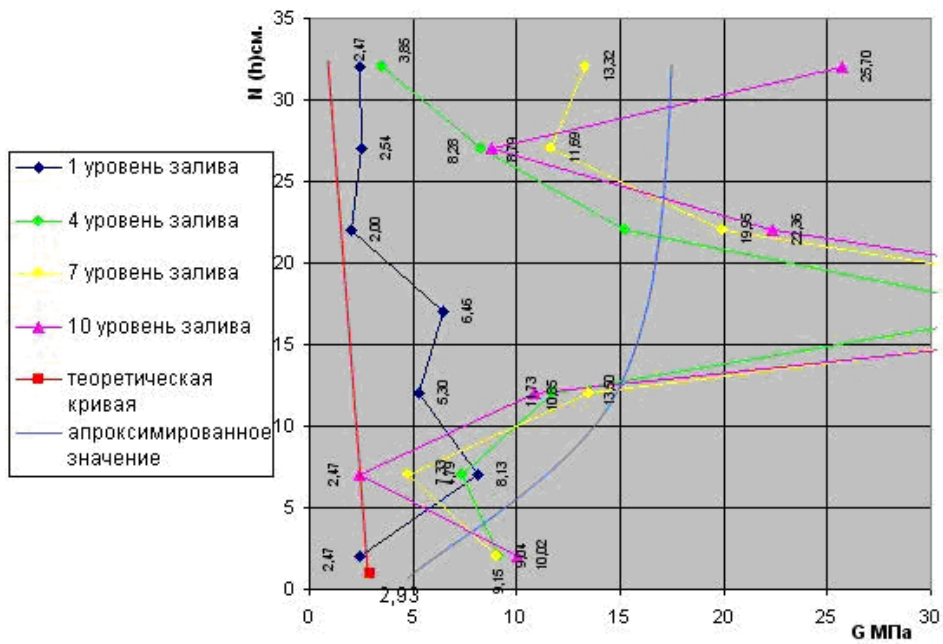


Рис. 6. Меридиональные напряжения σ_2

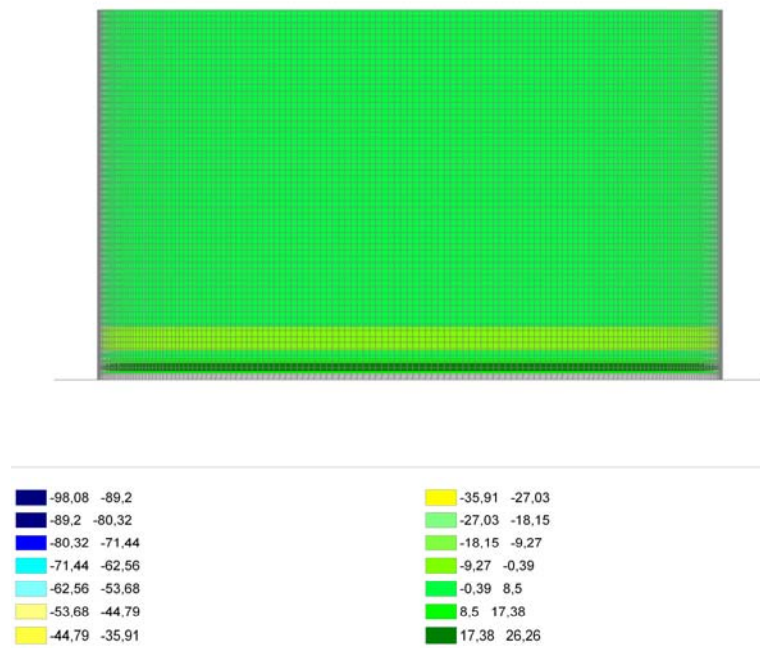


Рис. 7. Меридиональные напряжения σ_2 по результатам конечноэлементного расчета (кг/см²)

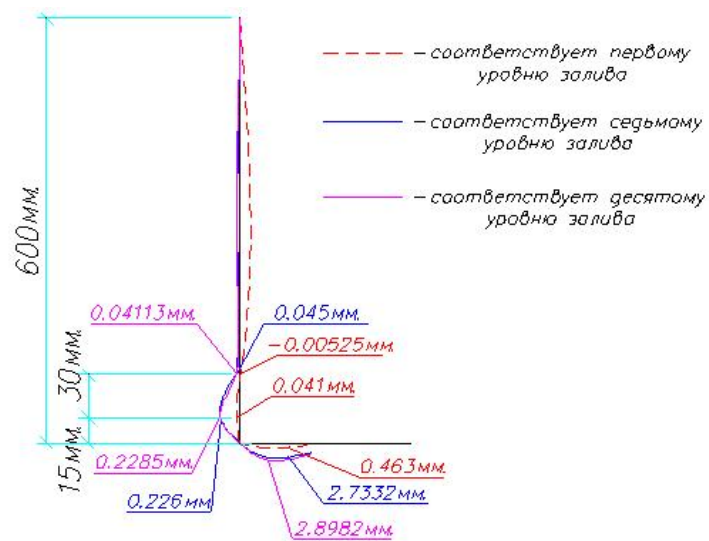


Рис. 8. Перемещения стенки и дна при различных этапах налива продукта при эксперименте

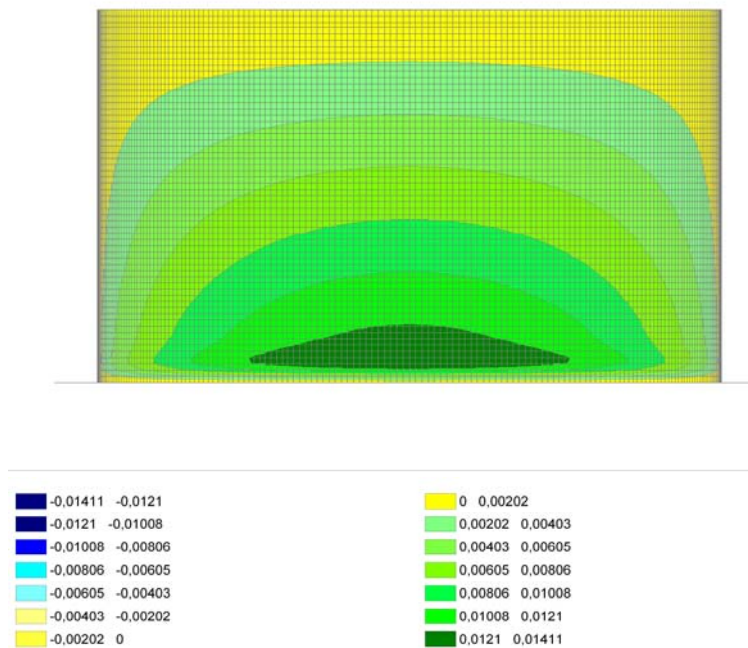


Рис. 9. Перемещения стенки модели резервуара по результатам конечноэлементного расчета

Выводы

Анализируя результаты экспериментальных и численных исследований для модели резервуара с указанными выше параметрами, следует отметить:

- Геометрические несовершенства на начальном этапе при низком уровне напряжений и перемещений оказывают значительное влияние на напряженно-деформированное состояние резервуара, что характерно для тонкостенных конструкций и подтверждается данными зависимостей, представленных на рис. 4 и 6.
- Из рис. 6 видно, что напряжения σ_1 носят не линейно убывающий характер, а возрастающий характер с достижением максимума, соответствующего 3-4 поясу натурального ВЦР. При этом, пика локальных меридиональных напряжений в уторном узле, характерного для жесткой (рамной) расчетной схемы, не наблюдается, что может произойти при его схеме работы, приближающейся к шарнирной модели.
- Качественный характер изменения эпюры кольцевых напряжений по стенке резервуара также не в полной мере соответствует традиционной расчетной модели, со смещением максимума в уровень 3-4 пояса реальной конструкции.

— Для установления пределов применимости жесткой и шарнирной схем уторного узла необходимо проведение дополнительного комплекса экспериментально-теоретических исследований с варьированием жесткостных и геометрических параметров резервуара, а также характеристик основания.

Литература

- [1] В.Ф. Мушанов, И.В. Роменский, Д.И. Роменский Проблемы совершенствования проектирования двустенчатых резервуаров / *Металеві конструкції*. № 1, том 13 (2007) – 2007. – С. 51 – 64.
- [2] ВБН В.2.2-58.2-94 Резервуары вертикальные стальные для хранения нефти и нефтепродуктов с давлением насыщенных паров не выше 93,3 кПа. – Киев: Госкомнефтегаз, 1994. – 98 с.
- [3] ДБН В.1.2:2006 Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования / Минстрой Ураины. – Киев, 2006. – 60 с.
- [4] Горохов Е.В., Мушанов В.Ф., Роменский И.В., Кулик А.А., Цыплухин А.Г. Некоторые особенности расчета и проектирования вертикальных цилиндрических резервуаров. Ростов н/Д: Ростовский государственный строительный университет – 2004. – С. 46.
- [5] Дидковский О.В. – ООО Самарский филиал "КХМ – Проект" (Россия, г. Самара) "Проектирование резервуаров в соответствии с ПБ-03-381-00 – типовые проекты, новые конструкции, проблемные вопросы" // <http://www.rmk.ru/konf2002/index.php>.
- [6] Зюлко Ежи, Супернак Ева Резервуары с двойной стенкой – почему они используются?: Научная конференция "Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее". – Киев, 18 – 22 октября 2004 г.
- [7] Землянский А.А. Принципы конструирования и экспериментально-теоретические исследования крупногабаритных резервуаров нового поколения. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2005. – 324 с.
- [8] Лессиг Е.Н., Лилеев А.Ф., Соколов А.Г. Листовые металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1970. – 488 с.
- [9] Мельников Н.П. Металлические конструкции: Современное состояние и перспективы развития. – М.: Стройиздат, 1983. – 541 с.
- [10] Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов / Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Веденников и др. // Под общ. ред. Е.И. Беленя. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
- [11] Мушанов В.Ф., Кулик А.А., Москаленко В.И. Учет дефектов и несовершенств ВЦР на стадиях расчета и проектирования Новые решения конструкций, технологии сооружения, диагностики и ремонта стальных резервуаров. Тезисы докладов на коллоквиуме Рабочей группы I «Резервуары и силосы» Международной ассоциации по оболочкам и пространственным конструкциям (IASS): Болгария, Варна, 1 – 5 июня 2006 г. – К.: Издательство «Сталь», 2006, 42 – 43 с.
- [12] Сафарян М.К. Металлические резервуары и газгольдеры. – М.: Недра, 1987. – 200 с.

- [13] Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов (СТО-СА-03-002-2009) / М., 2009 – 216 с.
- [14] M.C.M. Bakker, T. Pekoz The finite element method for thin-walled members- basic principles // Thin-Walled Structures 41(2003). P. 179 – 189.
- [15] L.A. Goboy, E.M. Sosa Localized support settlements of thin-walled storage tanks // Thin-Walled Structures (2003). P. 941 – 955.
- [16] Kamyab H. Displacement and stresses in oil storage tanks caused by differential settlement. - London. – 1987. – 256 p.
- [17] Martin Pircher, Russell Bridge The influence of circumferential weld-induced imperfections on the buckling of silos and tanks // Journal of Constructional Steel Research 57(2001). P. 569 – 580.
- [18] J.C. Virella, L.A. Goboy, L.E. Suarez Influence of the roof on the natural periods of empty steel tanks // Engineering Structures 25(2003). P. 877 – 887.

Надійшла до редколегії 22.06.2010 р.