

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНКИ РЕЗЕРВУАРА.

Москва, Московская государственная академия водного транспорта

Известно, что стенка вертикального цилиндрического резервуара представляет собой тонкостенную оболочку. Точнее, с точки зрения теории оболочек стенка резервуара представляет собой сверхтонкую оболочку, так как отношение толщины стенки к радиусу находится в диапазоне от 1:2000 до 1:1000. Одним из важнейших вопросов характеризующих напряженно-деформируемое состояние стенки является ее устойчивость (способность сохранять устойчивую форму равновесия под действием сжимающих напряжений).

Решение подобной задачи предполагается возможной с помощью метода конечных элементов (МКМ). Инструментом реализующим применение МКМ для решения задачи устойчивости стенки РВС может послужить программа APM Structure 3D.

Проанализируем возможность применение программы APM Structure 3D для решения поставленной задачи, путем моделирования простейшей модели условного резервуара (полый цилиндр) под действием нагрузки, рассчитаем его на устойчивость и сравним полученный результат с решением по классической формуле.

Исходя из полученных в ходе расчетов результатов, можно сделать вывод, что модель с малым количеством разбиений рассчитывается некорректно, что, так же отмечают Д. Г. Кучерявенко, В. Л. Якушев в своей статье "Решение нелинейной задачи устойчивости тонких оболочек. Методом конечных элементов". А расчет модели с большим (более 30000 степеней свободы) количеством разбиений невозможно осуществить на мощностях персонального компьютера. Решим эту проблему с помощью удаления лишних элементов, днища которое не влияет на решение задачи устойчивости оболочки и кровли. Нагрузку (например снеговую) мы будем имитировать приложениям силы к верхним узлам верхних пластин стенки резервуара, направление нагрузки вдоль оси

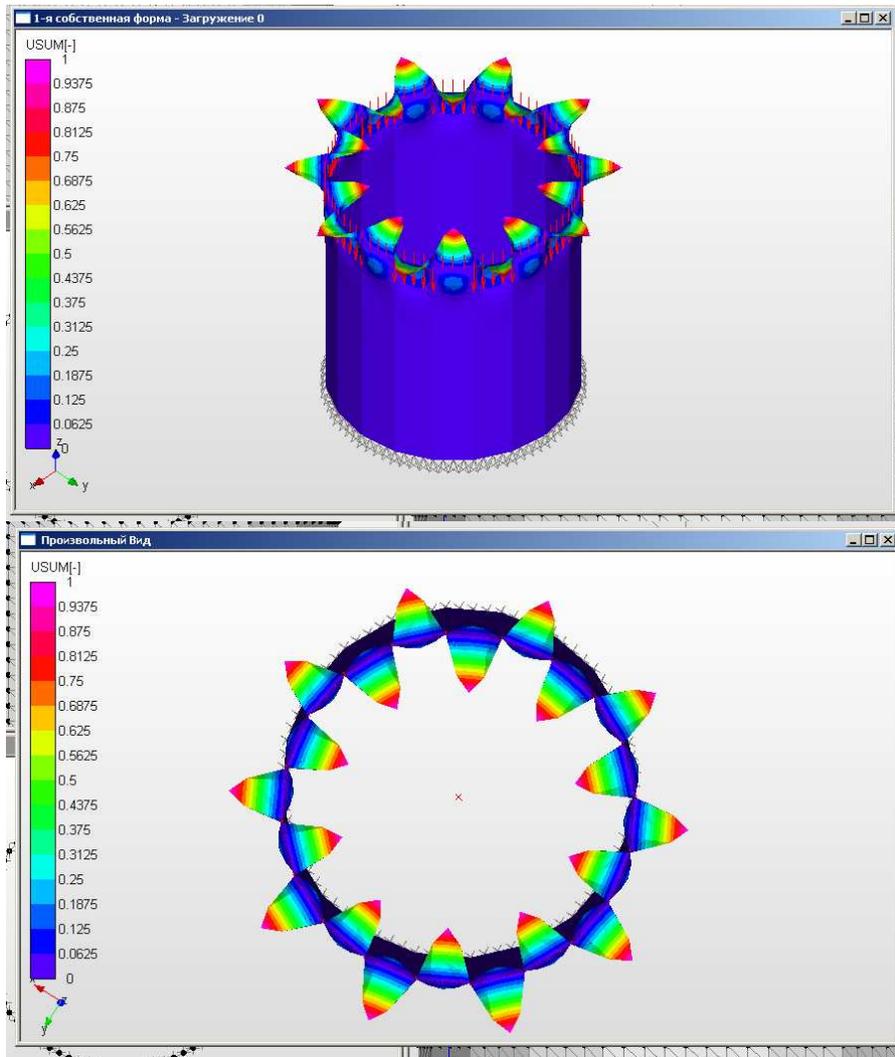


Рис.1 Форма потери устойчивости

Сравним полученную форму потери устойчивости с теоретической формой потери устойчивости при осевом сжатии:

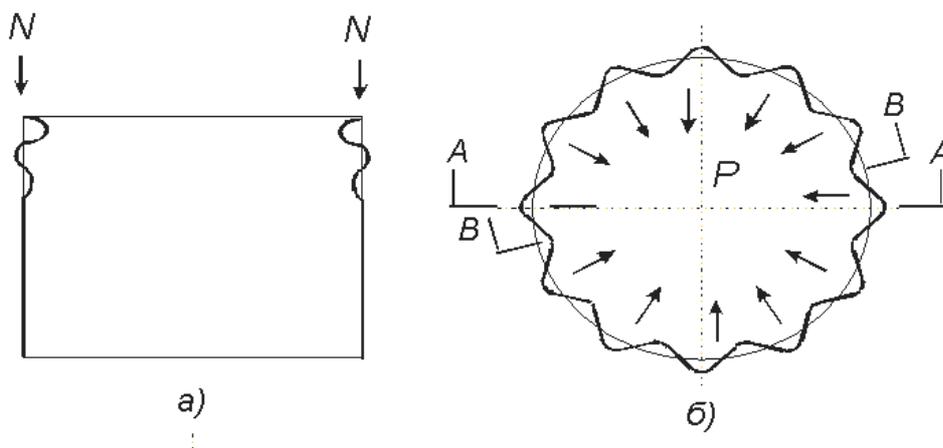


Рис. 2 Форма потери устойчивости при осевом сжатии.

Проверка расчетной модели по теоретической формуле.

Проверим расчетную модель по методике предлагаемой в [4,5] , для ускорения расчетов, а так же для последующих проверочных расчетов разработаем в среде Matchcad программу для расчета стенки резервуара на устойчивость. Однако после проведения расчетов по теоретической формуле мы убеждаемся, что значение коэффициента запаса устойчивости и следовательно критической нагрузки не соответствует вычисленному по теоретической формуле.

Разработка расчетной модели с учетом краевого эффекта.

Проанализировав расчетную модель и оценив факторы влияющие на точность расчета, наиболее вероятной причиной неверного результата является некорректный учет краевых поперечных сил и изгибающих моментов (краевой эффект) возникающих в тонкостенной оболочке.

Для учета краевого эффекта предполагается еще более мелкое разбиение модели на элементы. Однако, как показывают предыдущие численные эксперименты модели с большим числом степеней свободы не рассчитываются в среде APM Structure 3D.

Однако при осевом сжатии для решения задачи устойчивости нас интересует верхняя часть тонкостенной оболочки, так как потеря устойчивости наблюдается на верхних поясах резервуара. Поэтому увеличим количество разбиений в верхней части оболочки, а с целью осуществления возможности расчета среднюю и нижнюю часть модели разобьем на более крупные элементы. Создадим модель с неравномерным разбиением.

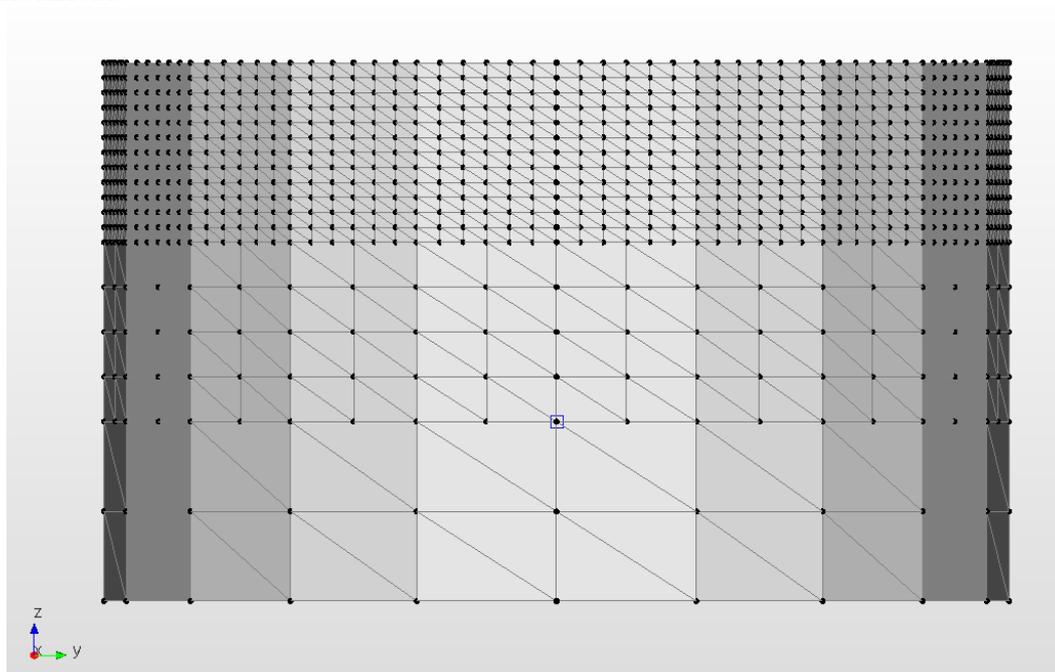


Рис. 3 модель с неравномерным разбиением.

Приложим к 240 верхним узлам силу, направленную вдоль оси Z равную 10 кН. Итого суммарная нагрузка 2400кН. После чего произведем статический расчет и расчет на устойчивость.

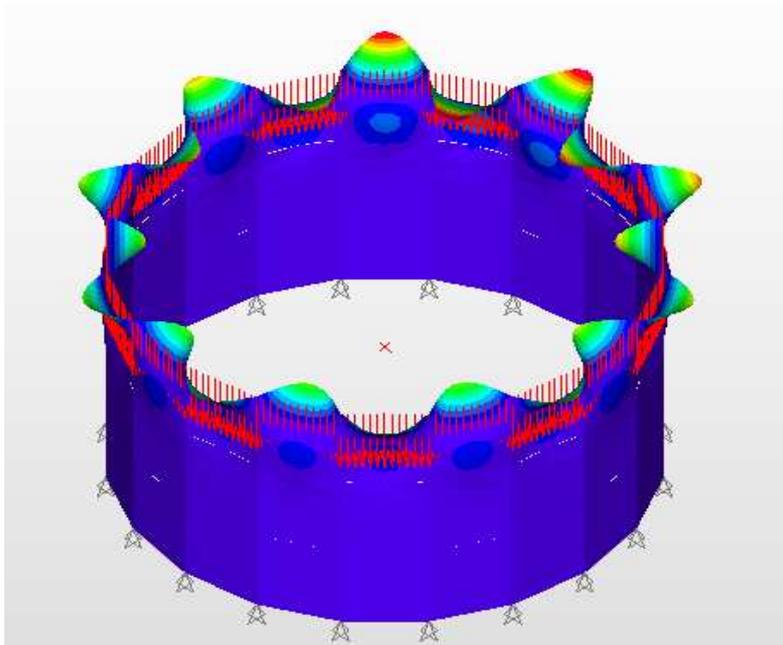


Рис. 4. Форма потери устойчивости.

Проверим полученный результат по расчетной формуле.

$$\sigma_{кр} = \frac{q_{кр}}{h} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} \frac{h}{R} \approx 0,6E \frac{h}{R}$$

Проверка показала, что расхождение между результатом полученным в ходе численного эксперимента и по теоретической формуле составляет 1,5 %.

Рассчитаем остальные типоразмеры резервуаров в среде APM Structure 3d и проверим результат по расчетной формуле. Так же проверим полученные результаты и формы потери устойчивости с помощью программы поиска точных решений.

Таблица.1.

РВС	Расхождение по формуле; %	по	Расхождение программой ;%	с
1000	1,7		2,0	
2000	1,4		1,1	
3000	0,5		0,1	
5000	0,3		0,2	
10000	1,0		0,3	
20000	1,4		0,4	
50000	1,1		0,8	

Из этого следует, что диапазон расхождений полученных критических нагрузок составляет 0,3-1,7 % с теоретической формулой и 0,1-2,0 с программой КИПР. Исходя из этого мы можем считать предложенную расчетную модель пригодной для дальнейших расчетов резервуаров с дефектами полученными в процессе эксплуатации.

Список литературы

1. Кандаков Г.П. Проблемы отечественного резервуаростроения и возможные пути их решения. Промышленное и гражданское строительство. № 5, 1998.
2. Нехаев Г. А. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления. АСВ. 2005. 216 с.
3. Сафарян М.К. Металлические резервуары и газгольдеры. М. Недра, 1987. 2000 с ил.
4. СА-03-008-08 Резервуары вертикальные стальные сварные для нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование и анализ безопасности. Методические указания./ Российская ассоциация экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности «Ростехэкспертиза», «Научно-промышленный союз «Риском», НПК «Изотермик».
5. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. ПБ 03-605-03, М., 2004.
6. Исследования вопроса устойчивости стальных вертикальных резервуаров Егоров Е.А. и др.: http://urs.com.ua/stat_5.htm 13-07 10 января 2011 свободный доступ
7. Тарасенко Александр Алексеевич. На правах рукописи Разработка научных основ методов ремонта вертикальных стальных резервуаров. Диссертация на соискание ученой с доктора технических наук.
8. <http://www.ipdn.ru/rics/doc0/DB/b3/1-kuch.htm/> 11 февраля 2011. Свободный доступ. «Решение нелинейной задачи устойчивости тонких оболочек Методом конечных элементов».