

Список литературы:

1. Donadille L. et al. Fission dynamics for capture reactions in $^{58,64}\text{Ni} + ^{208}\text{Pb}$ systems: New results in terms of thermal energy and neutron multiplicity correlated distributions // Nuclear Physics. – 1999. – V. A656. – P. 259.
2. Ryabov E.G. et al. Application of a temperature-dependent liquid-drop model to dynamical Langevin calculations of fission-fragment distributions of excited nuclei // Physical Review. – 2008. – V. C78. – P. 044614.
3. Ye W. Significant role of fissility in evaporation residue cross sections as a probe of presaddle nuclear dissipation // Physical Review. – 2010. – V. C81. – P. 011603.
4. Адеев Г.Д. и др. Многомерный стохастический подход к динамике деления возбуждённых ядер // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2005. – Т. 36. – С. 731.
5. Гончар И.И. и др. Теоретическое исследование зависимости среднего времени деления возбужденных атомных ядер от углового момента // Ядерная физика. – 2004. – Т. 67. – С. 2101.
6. Литневский А.Л. Зависимость результатов моделирования деления возбуждённых ядер от значений угловых моментов, уносимых эмитируемыми частицами // Омский научный вестник. – 2014. – № 3 (133). – С. 32.
7. Литневский А.Л. Процесс деления возбуждённых ядер: распределение эмитируемых лёгких частиц по уносимым ими угловым моментам // Омский научный вестник. – 2014. – № 3 (133). – С. 35.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ОБЕЧАЙКИ
ШЕСТИГРАННОГО КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ
СРЕДНЕАКТИВНЫХ ЯДЕРНЫХ ОТХОДОВ**

*И.С. Мищенко, студент гр. 4Е21,
К.К. Манабаев, ассистент кафедры ТПМ ИФВТ
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
тел.(953)-929-97-70
E-mail: mkk@tpu.ru*

В настоящее время транспортировка радиоактивных отходов (РАО) осуществляется согласно специальным правилам перевозки особо опасных грузов и нормам, которые утверждены законодательством Российской Федерации. Допускается транспортировка в специальных упаковках, которые должны быть механически прочными и герметичными. На сегодняшний день это контейнеры прямоугольной формы, вмещающие восемь двухсотлитровых бочек. Особенности транспортировки и захоронения РАО, наличие внешнего защитного бетонного контейнера толщиной в 0,8 метра обуславливают явные экономические затраты. Таким образом, масса среднеактивных отходов составляет треть от общей массы захоронения. Специалистами данной отрасли был предложен шестигранный

контейнер, предполагающий многоразовое использование защитного бетонного кожуха и снижение затрат на транспортировку и захоронение.

В данной работе проведен предварительный расчет толщины обечайки шестигранного контейнера, нагруженного погонной нагрузкой q (вес пяти контейнеров с грузом) и собственного веса засыпного материала (груз весом 2600 кг). Сделаны оценки точности расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) цилиндрического бака теорией пластин и оболочек [1], и численным способом с использованием программного комплекса метода конечных элементов (МКЭ) Ansys. Проведенные сравнения решений, математическое моделирование засыпного материала и моделирование контактных поверхностей способствовали спроектировать нагружение шестигранного контейнера и подобрать оптимальную толщину обечайки.

1. Определение НДС цилиндрического бака теорией пластин и оболочек.

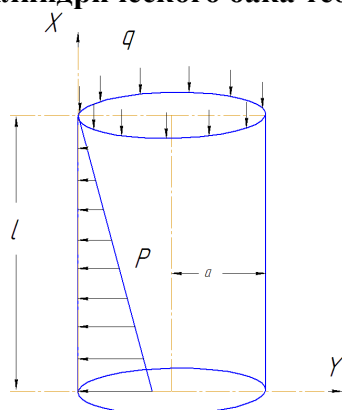


Рис.1. Схема нагружения цилиндрического бака.

Входные данные:

a (радиус цилиндра) = 0.5 м.

l (высота цилиндра) = 1.5 м.

h (толщина цилиндра) = 0.005 м.

E (модуль Юнга) = $2 \cdot 10^{11}$ Па.

ν (коэффициент Пуассона) = 0.3

γ (удельный вес) = 13672.041 Н/м³

q (интенсивность нагрузки) = 25436 Н/м.

Решение:

В силу осевой симметрии конструкции и нагрузок, параметры НДС будут зависеть от одной координаты X .

Усилия:

$$N_x = C \cdot \left(\frac{dU}{dx} + \nu \frac{W}{a} \right), \quad N_\theta = C \cdot \left(\frac{W}{a} + \nu \frac{dU}{dx} \right)$$

Моменты:

$$M_x = D \cdot \frac{d^2W}{dx^2}, \quad M_\theta = \nu \cdot D \cdot \frac{d^2W}{dx^2}$$

Здесь:

$$C = [E \cdot h] / [1 - \nu^2], \quad D = [C \cdot h^2] / 12;$$

погонная нагрузка заполнителя: $P = \gamma \cdot (l - x)$.

Уравнения равновесия:

$$\frac{d^2U}{dx^2} + \frac{\nu}{a} \cdot \frac{dW}{dx} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{h^2}{12} \cdot W^4 + \frac{\nu}{a} \cdot \frac{dU}{dx} + \frac{W}{a^2} = \frac{\gamma \cdot (1-x)}{C}. \quad (2)$$

здесь W, U – перемещения вдоль осей X и θ (осевое и тангенциальное перемещения).

Интеграл от (1) дает:

$$\frac{dU}{dx} + \frac{\nu}{a} \cdot W = C_6 = const. \quad (3)$$

Так как

$$N = C \cdot C_6, \quad N = h \cdot \sigma_x,$$

то из условия $\sigma_x = -\frac{q}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot h}$, $C_6 = -\frac{q}{C}$, где $q = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot a}$.

Далее исключаем $\frac{\nu}{a} \cdot \frac{dU}{dx}$ из (2) с помощью (3): $\frac{\nu}{a} \cdot \frac{dU}{dx} = -\frac{\nu^2}{a^2} \cdot W - \frac{\nu}{a} \cdot \frac{q}{C}$.

Подставляя в (2), получаем:

$$\frac{h^2}{12} \cdot W^4 + \frac{1-\nu^2}{a} \cdot W = \frac{\gamma \cdot (1-x)}{C} + \frac{\nu}{a} \cdot \frac{q}{C}. \quad (4)$$

Решение (4) имеет вид:

$$W = e^{-\lambda x} \cdot [C_1 \cdot \cos \lambda x + C_2 \cdot \sin \lambda x] + \frac{\gamma \cdot a^2 \cdot (1-x)}{E \cdot h} + \frac{\nu \cdot a}{E} \cdot \frac{q}{h}, \lambda = \sqrt[4]{3 \cdot (1-\nu^2) / h^2 \cdot a^2} \quad (5)$$

Перемещения найдутся как решения уравнения: $\frac{dU}{dx} + \frac{\nu}{a} \cdot W = -\frac{q}{C}$. Тогда:

$$U = \frac{\nu}{a} \int W dx - \frac{q}{C} \cdot x + C_5 \quad (6)$$

Граничные условия при $X=0$:

- | | | | |
|----|--|----|---|
| 1. | $U = \frac{-\nu}{2 \cdot \lambda \cdot a} \cdot (-C_1 - C_2) + C_5 = 0$ | 4. | $W' = 2 \cdot \lambda^2 \cdot e^{-\lambda x} \cdot [C_1 \cdot \sin \lambda x + C_2 \cdot \cos \lambda x]$ |
| 2. | $W = C_1 + \frac{\gamma \cdot a^2 \cdot 1}{E \cdot h} + \frac{\nu \cdot a}{E} \cdot \frac{q}{h} = 0$ | 5. | $\sigma_x = -\frac{E \cdot h}{2 \cdot (1-\nu^2)} \cdot W' = -1.619 \cdot 10^6 \text{ МПа}$ |
| 3. | $\frac{dW}{dx} = 0$ | 6. | $\sigma_\theta = -\frac{E \cdot h \cdot \nu}{2 \cdot (1-\nu^2)} \cdot W' = -4.509 \cdot 10^6 \text{ МПа}$ |

Здесь $C_1 = \frac{-\gamma \cdot a^2 \cdot 1}{E \cdot h} - \frac{\nu \cdot a}{E} \cdot \frac{q}{h}$, $C_2 = C_1 + \frac{\gamma \cdot a^2}{\lambda \cdot E \cdot h}$, $C_5 = \frac{-\nu}{2 \cdot \lambda \cdot a} \cdot (C_1 + C_2)$.

2. Результаты МКЭ комплекса Ansys. Моделирование металлической обечайки, описание ее механических свойств не составляет особых трудностей, в отличие, от моделирования и описания свойств засыпного материала – груза. Для допустимого упрощения задачи, была выбрана модель заполнения внутреннего объема цилиндра жидкостью с необходимой плотностью [2, 3].

В расчетную модель для объекта – груз добавлен определенный тип конечного элемента по типу FLUID 80 (команда *ET,matid,80*), имитирующий поведение жидкости. Про этот элемент стоит сказать, что это элемент нулевой сдвиговой жесткости. Все вводимые ранее значения свойств этого объекта не учитываются. Также ведем свойства жидкости как вязкость (команда *MP,VISC,matid,8.9e-4*).

Таблица 1. Сравнение значений нормальных и окружных напряжений, полученных методом аналитического расчета и решением с использованием Ansys [4].

	Аналитический метод	МКЭ, Ansys
$\sigma_x, X=1$	$-1.619 \cdot 10^6 \text{ Па}$	$-1.635 \cdot 10^6 \text{ Па}$
σ_x в заделке, $X=0$	$-4.509 \cdot 10^6 \text{ Па}$	$-3.994 \cdot 10^6 \text{ Па}$
σ_θ в заделке, $X=0$	$-1.353 \cdot 10^6 \text{ Па}$	$-1.415 \cdot 10^6 \text{ Па}$

3. Расчет шестигранного контейнера. В данном разделе приведены описание модели с толщиной обечайки 3 мм.

Описание модели:

1. Объем расчетной модели = 2,2263 м³.
2. Масса модели-контейнера с учетом груза = 2929,6 кг.
3. Масса груза = 2625 кг, объем груза = 2,1875 м³.
4. Модуль упругости Юнга стали контейнера: $2 \cdot 10^{11}$ Па.
5. Коэффициент Пуассона стали контейнера: 0,3.
6. Ускорение силы тяжести: $-9,8066 \text{ м/с}^2$.
7. Заделка контейнера по плоскости днища.
8. Нагрузка от веса пяти контейнеров $q = 150\,000 \text{ Н}$.

Графическое представление результатов расчета.

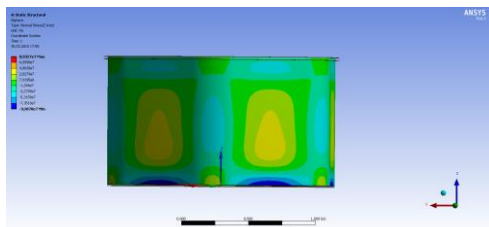


Рис. 2. Картина распределения полей нормальных напряжений σ_x .

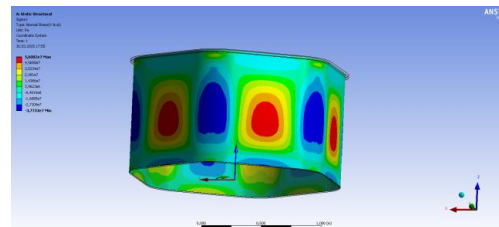


Рис. 3. Картина распределения полей нормальных напряжений σ_θ .

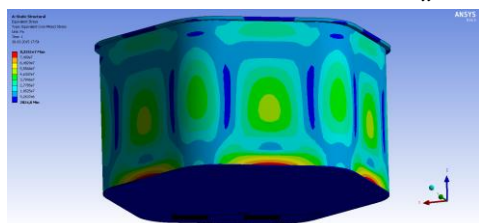


Рис. 4. Картина распределения полей интенсивности напряжений по критерию Мизеса.

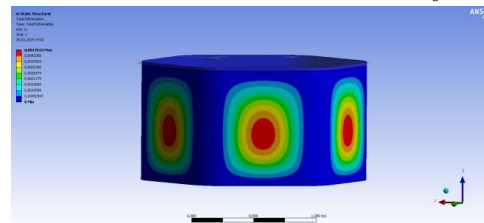


Рис. 5. Картина распределения полей общих перемещений обечайки.

Результаты расчетов для обечаек с толщинами 3-6 мм представлены в таблице 2. Критерием выбора необходимой толщины являются максимальные расчетные

напряжения, которые не должны превышать допускаемые для стали Ст3, равные 65 МПа.

Таблица 2. Результаты расчетов обечайки в зависимости от толщины.

Толщина листа обечайки, мм	σ_x , Па	σ_θ , Па	σ_M , Па	Общая деформация, м
3	$-93.878 \cdot 10^6$	$-37.733 \cdot 10^6$	$83.351 \cdot 10^6$	0.00476
4	$-60.963 \cdot 10^6$	$-24.918 \cdot 10^6$	$53.199 \cdot 10^6$	0.00213
5	$-45.754 \cdot 10^6$	$-19.894 \cdot 10^6$	$39.803 \cdot 10^6$	0.00135
6	$-37.037 \cdot 10^6$	$-17.796 \cdot 10^6$	$32.913 \cdot 10^6$	0.00101

Выводы:

1. Сравнение аналитического расчета для цилиндрического бака теорией пластин и оболочек, и, численного расчета в Ansys, показало согласованные результаты. Для описания поведения засыпного материала предложен определенный тип конечного элемента по типу FLUID 80.

2. Согласно результатам, приведенным в таблице 2, рекомендованная толщина обечайки составляет 4 мм.

Список литературы:

1. Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 528 с.
2. Светашков А.А., Куприянов Н.А., Манабаев К.К. Эффективные по времени вязкоупругие модули типа Хашина-Штрикмана. // Физическая мезомеханика, 2013. – Т. 16. – № 2. – С. 33–39.
3. Светашков А.А., Куприянов Н.А., Манабаев К.К. Приближенный алгоритм решения задач линейной вязкоупругости // Вычислительная механика сплошных сред. – 2012. – Т. 5. – № 3. – С. 292–299.
4. Рекач В.Г. Руководство по решению задач по теории упругости. – М.: Высшая школа, 1966. – 229 с.

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МЕТОДИКЕ

*К.Н. Радюк, аспирант,
С.В. Голдаев, д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
E-mail: radyuk@tpu.ru*

Повышение цен на органическое топливо, освоение северных регионов, интенсификация сельскохозяйственного производства, стимулируют использование