

говорить про те, що конструкція одразу не зруйнується. Проте, враховуючи, що система працює в умовах циклічного навантаження рекомендується проводити дослідження ресурсу з урахуванням пружно-пластичних деформацій, а також, має сенс зміцнення конструкції. Проте для схеми 2 ми спостерігаємо напруження, що не перевищують допустимі. Отже ми можемо зробити висновок, що така побудова трійникового з'єднання для заданої геометрії та умов навантаження є рішенням проблеми виникнення небезпечних напружень.

Список літератури: 1. Скопинский В.Н., Казачкин А.В. Расчетный экспериментальный анализ тройниковых соединений с отбортовкой // Проблемы прочности. – 1994. – № 11. – С. 69-74. 2. Шрон Р.З., Гецфрид Э.И., Гооге С.Ю. и др. Длительная прочность тройниковых сварных соединений трубопроводов // Проблемы прочности. – 1992 – № 2. – С. 40-45. 3. Стрельченко А.С., Стрельченко И.Г. Напряженное состояние пересекающихся цилиндрических оболочек с учетом поперечного сдвига обжатия // Проблемы прочности. – 1992. – № 2. – С. 61-67. 4. Нормы расчета на прочность оборудования и Трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86) (Правила и нормы в атомной энергетике) / Госатомэнергонадзор СССР – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 525 с. 5. С.В.Кобельский, В.И.Кравченко, А.Л.Квитка и др. Анализ напряженного состояния в равнопроходных тройниковых соединениях трубопроводов // Проблемы прочности. – 1998. – № 6. – С. 116-122. 6. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. – М., Мир, 1975. – 342 с. 7. Астахова К.В., Жовдак В.А., Татьков В.В. и др. Вынужденные колебания трубопроводов гидросистемы копрового пресса // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Динаміка та міцність машин. – 2006. – № 32.

Надійшла до редколегії 21.11.2007

УДК 621.039.55:593.3

О.В.БИРЮКОВ, канд.техн.наук; ННЦ «ХФТИ», Харьков
Ю.М.АНДРЕЕВ, канд.техн.наук; **Д.В.ЛАВИНСКИЙ**, канд.техн.наук;
В.Н.СОБОЛЬ, канд.техн.наук; НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ПРИ ПАДЕНИИ КОНТЕЙНЕРА-УПАКОВКИ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Представлено метод та результати аналізу динамічних реакцій, кінематичних параметрів та напружено-деформованого стану (НДС) при падіннях контейнера-упаковки (КУ) для транспортування радіоактивних відходів. Аналіз ударної взаємодії виконувався на базі САПР динаміки систем твердих тіл. Аналіз НДС конструктивних елементів КУ виконано методом скінчених елементів (МСЕ). Приведено розрахункові дані та рекомендації з удосконалення конструкції КУ.

The method and results of the analysis of dynamic reactions, kinematics parameters and stress-strain state for the falling nuclear waste package are presented. The analysis of impact interaction by using the SAE of multibody system dynamics is done. The stress-state analysis of the package elements by finite element method (FEM) is given.

Актуальность проблемы. Безопасная перевозка отработавшего топлива является обязательной для предприятий, организаций и учреждений, которые разрабатывают, изготавливают, испытывают и эксплуатируют транспортные упаковочные комплекты для перевозки и хранения делящихся ядерных материалов [1].

Правила МАГАТЭ [2] и отечественные стандарты предъявляют определенные требования к конструкциям транспортного комплекта в части обеспечения приемлемой безопасности отработавшего ядерного топлива, которые допускается обосновывать с помощью расчетов и другой аргументации, включая испытания масштабных моделей, прототипов или сочетание этих методов. В отдельных случаях принимается решение о необходимости проведения испытаний полномасштабного комплекта, несмотря на большие трудности и затраты испытаний крупногабаритных и массивных объектов.

Расчет кинематических параметров и силовых факторов проведен в целях прогноза конечного положения после падения на жесткое основание и оценки параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) контейнера–упаковки (КУ). Расчет кинематических параметров – распределений векторов ускорений и угловых скоростей – и, силовых факторов – реакции основания – проведен на основе САПР динамики систем твердых тел при ударном взаимодействии с упруго-диссипативным основанием. Расчет НДС проведен на базе метода конечных элементов с учетом действия сил инерции.

Устройство для транспортировки высокоактивных радиационных отходов атомных станций. Высокоактивные отходы атомных транспортируются в контейнере-упаковке (КУ) [3], расчетная схема которой представлена на рис.1. КУ состоит из торцевого затвора (1); торцевого фланца (2); наружных и внутренних защитных труб (3,4); защитного слоя из материала-поглотителя (5); торцевого вкладыша (6) и тепловыделяющей сборки реактора (7), которая находится внутри КУ в свободном состоянии. С целью обеспечения герметичности конструкции торцевой затвор запрессован во фланец с натягом (рис. 2).

Постановка задачи. Оценить расчетным путем напряженно-деформированное состояние от удара в деталях КУ: затворе – 1; торцевом фланце – 2; в трубах защитных внутренней – 3 и наружной – 4; в слое защитном – 5; с целью прогноза последующей работоспособности конструкции, которая заключается в не нарушении герметичности торцевого затвора и не разрушении деталей КУ. Так как при решении задачи необходимо учитывать силы инерции, то рассмотрим далее соответствующую методику определения кинематических параметров.

Метод расчета кинематических параметров и силовых факторов. Решение динамических задач для конструкций, представленных твердыми

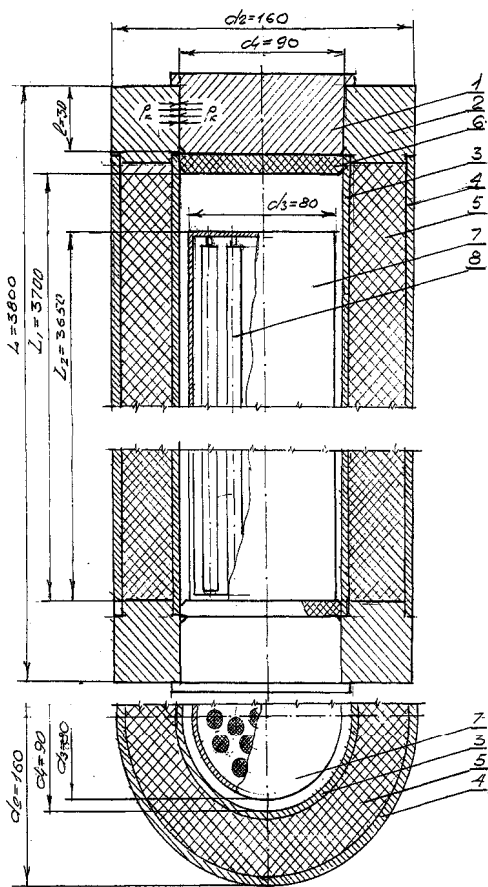


Рисунок 1 – Контейнер-упаковка для высокоактивных радиационных отходов атомных станций: 1 – торцевой затвор, сталь; 2 – торцевой фланец, сталь; 3 – труба защитная внутренняя, сталь; 4 – труба защитная наружная, сталь; 5 – слой защитный, керамический композитный материал-поглотитель (ккм-п); 6 – вкладыш торцевой, ккм-п; 7 – тепловыделяющая сборка (ТВС) реактора

диссипации – коэффициент восстановления при ударе. Таким образом, варьируя эти два параметра, можно добиться упругого удара с любым коэффициентом восстановления и любой длительностью удара. Анализ состава требуемых экспериментов, проведенные численные расчеты, рекомендации статьи

телами относительно легко реализуется на основе САПР динамики систем Он позволяет автоматизировать получение уравнений движения широкого класса механических систем и численным интегрированием получить законы движения исследуемых объектов, а по ним – действующие силы. Это особенно актуально, когда приходится многократно решать такие задачи в процессе выбора конструкции проектируемого устройства. Особенностью задачи проектирования КУ является обеспечение возможности выдерживать значительные ударные нагрузки. Поэтому разработка эффективных алгоритмов решения таких задач для реальных объектов является актуальной проблемой. Более предпочтительным оказывается здесь способ, основанный на введении в механическую модель упруго-диссипативных взаимодействий, моделирующих удары. В данной работе эти силы считаются линейными. В любом случае (впрочем, как и в при использовании коэффициентов восстановления при ударе), надо привлекать дополнительные обоснования принятой модели таких взаимодействий. В данной работе было принято, что коэффициент жесткости определяет время взаимодействия, а также величину упругих деформаций, а коэффициент

[5] в части времени удара и характера движения КУ, показал, что самый неблагоприятный с точки зрения разгерметизации КУ случай возникает при падении КУ на стальную горизонтальную плиту под углом 60° . При этом удовлетворительные результаты получаются для значений коэффициентов жесткости $c = 10^8$ Н/м и демпфирования $b = 10^4$ Нс/м.

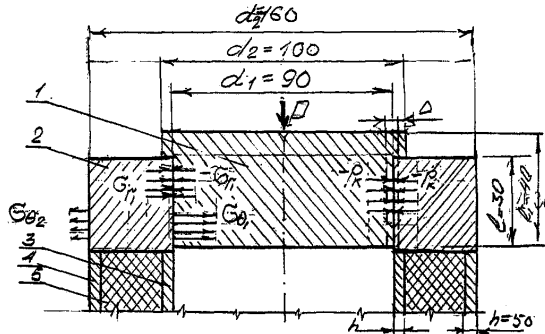


Рисунок 2 – Прессовая посадка затвора во фланец с натягом: 1 – затвор; 2 – торцевой фланец КУ; 3,4 – трубы защитные; 5 – слой защитный

Метод расчета напряженно деформированного состояния. Данные расчета кинематических параметров в виде векторов ускорений точек конструкции и векторов угловых ускорений служит для последующего кинестатического анализа. Согласно приведенной выше постановке задачи рассматривалось деформирование следующих элементов: торцевых затворов, торцевых фланцев, слоев из материала-поглотителя и защитных труб. Перечисленные элементы представляют собой тела вращения. Условие герметичности торцевого затвора считалось выполненным, если радиальные перемещения внутренней поверхности торцевого фланца не превышают величины заданного натяга:

$$u_r < \Delta, \quad (1)$$

Кроме того, проверялось не превышение максимальной интенсивности напряжений в материале конструкции предела текучести:

$$\sigma_i < \sigma_T, \quad (2)$$

Кинестатический анализ выполнялся для остановленного преградой КУ, для чего область контакта КУ принималась жестко закрепленной, элементы КУ – нагруженными известными силами инерции. Геометрия конструкции, а также условия деформирования позволяют рассматривать отдельно торцевой затвор и остальные элементы КУ. Контактное взаимодействие учитывалось введением на соответствующих границах контактных давлений.

Численный метод решения – метод конечных элементов. Базовый конечный элемент – 8-узловой пространственный элемент с билинейной аппроксимацией перемещений. Учет сил инерции приводит к следующему раз-

решающему уравнению:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (3)$$

Результаты расчетов. Расчеты проводились для следующих механических характеристик материала, представленных в таблице.

Расчеты кинематических и силовых факторов при ударном взаимодействии произведены для следующих условий нагружения: падение КУ в вертикальном положении на жесткую плиту с высоты 1,2 м; падение КУ под углом 60° и 45° к плите с высоты 0,3 м; вертикальное падение КУ на стальной штырь диаметра 150 мм, l = 200 мм с высоты 1 м; вертикальное падение стального стержня весом 6 кг, диаметра 32 мм, длиной 940 мм на торцевой затвор КУ с высоты 1 м. Расчеты позволили получить информацию о величинах и распределении нормальных реакций, векторов ускорений, скоростей, угловых скоростей и ускорений элементов КУ при ударах. На рис. 3 приведен график изменения во времени ускорения точек нижнего торца КУ при падении под углом 60°.

Механические свойства	Сталь 18Н10Т	ККМ-П
Модуль упругости, кг/см ²		
при растяжении – $E \cdot 10^{-6}$	2,01	0,95
при сжатии – $E \cdot 10^{-6}$	2,01	3,32
Коэффициент Пуассона	0,3	0,2
Плотность, г/см ³	7,95	2,6

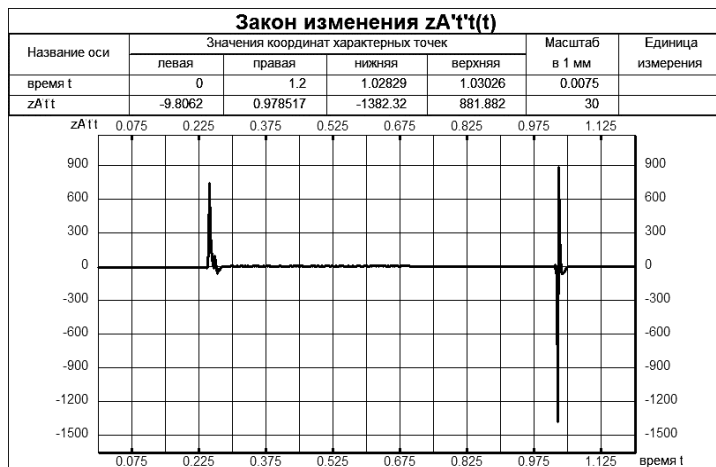


Рисунок 3 – Зависимость от времени ускорений точек нижнего торца КУ

Помимо данных о ускорениях и скоростях, необходимых для дальнейшего кинестатического анализа НДС, по результатам исследования ударно-

го взаимодействия были сделаны рекомендации по усовершенствованию конструкции торцевых затворов. Так при ударе краем КУ о плиту под определенным углом к его оси, ТВС также ударит изнутри по торцевому вкладышу, что приведет к появлению значительного вышибающего затвор усилия. Это может привести к «выворачиванию» затвора из фланца за счет того, что его диаметр его крышки меньше внешнего диаметра КУ. Далее проводились расчеты, в которых диаметр фланцев был принят равным диаметру всего КУ. При таком конструктивном исполнении «выворачивание» невозможно.

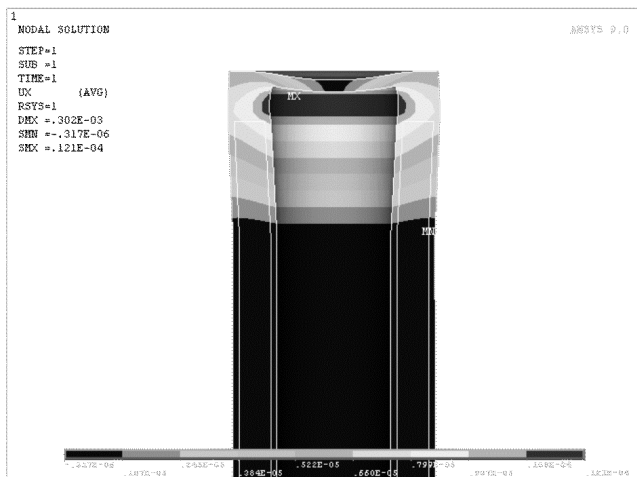


Рисунок 4 – Распределение радиальных перемещений в корпусе КУ

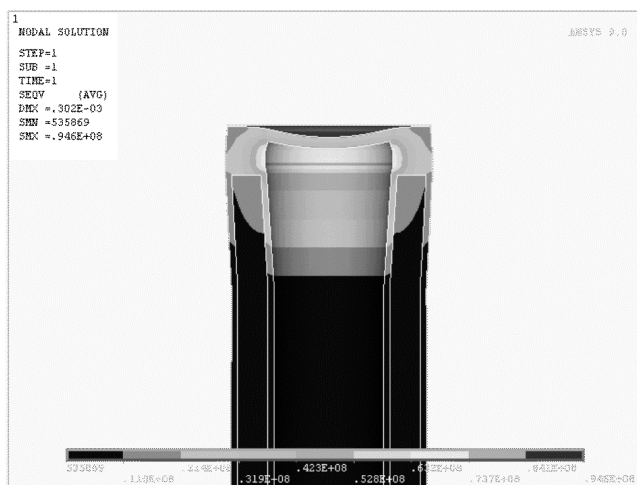


Рисунок 5 – Распределение интенсивности напряжений в корпусе КУ

Расчеты НДС проводились для полученных максимальных значений ускорений и для заданной величины натяга $\Delta = 0,33 \cdot 10^{-4}$ м. На рис. 4 и 5 представлены картины полей радиальных перемещений и интенсивности напряжений в зонах торцевых затворов. Максимальные радиальные перемещения стенок КУ наблюдаются на границах контакт с затвором но не превышают величины $0,16 \cdot 10^{-4}$ м, то есть условие герметичности выполняется. Максимальные значения интенсивности напряжений (≈ 90 МПа) наблюдаются в точках материала защитных стальных труб в зоне контакта с преградой. Величина интенсивности не достигает значения предела текучести для стали. Таким образом, можно сделать вывод, что при заданных условиях ударных нагрузок конструкция КУ остается работоспособной.

Список литературы: 1. Основные правила безопасности и физической защиты при перевозке ядерных материалов (ОПБЗ-83). – М., ЦНИИатом-информ, 1984. 2. Правила безопасной перевозки радиоактивных веществ. Нормы МАГАТЭ по безопасности. Серия изданий по безопасности № 6. Издание 1985 г. 3. Комплекты упаковочные транспортные для отработавших тепловыделяющих сборок ядерных реакторов. Общие технические требования. ГОСТ 26013–83. Издательство стандартов, 1984. 4. Андреев Ю.М., Ларин А.А, Морачковский О.К. Система компьютерной алгебры для досліджень механіки машин // Машинознавство. – 2005. – № 6 - С.3-8. 5. Веселков И.Л., Самарин Ю.А., Свилов А.В. и др. Расчетная оценка динамической реакции ТУК-84 при испытаниях на аварийные условия перевозки // Атомная энергия. – Т. 100. Вып. 6. – Июнь 2006 г. – С. 437-440.

Поступила в редколлегию 04.12.2007

УДК 539.3

Д.В.БРЕСЛАВСКИЙ, докт.техн.наук; **Ю.Н.КОРЫТКО**; **П.М.ЛЫСАК**;
НТУ «ХПИ»

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВУМЕРНЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ПОЛЗУЧЕСТИ

Статтю призначено опису програмних засобів, розроблених в НТУ «ХПІ» для розв'язку двовимірних задач теорії повзучості – плоского напруженого стану, плоскої деформації та узагальненого плоского напружено-деформованого стану. Як метод розв'язання поставлених задач застосовується метод скінчених елементів (МСЕ) у поєднанні з багатокроковими методами інтегрування за часом. Обговорюється побудова програмного продукту та проводиться оцінка достовірності чисельних результатів.

The paper describes the program codes has been developed in NTU 'KhPI' for the numerical simulation of two-dimensional problems of creep theory, such as plane stress, plane strain and generalized stress-strain state. The Finite Element Method (FEM) jointly with multi step time integration methods are used as a method of computer simulation. The software structure, as well as verification of numerical results are discussed.