

14. Сивцова П.А., Шепелевич В.Г. // Актуальные проблемы прочности: материалы XLIV Международной конференции, Вологда, 3–7 октября 2005г. / ВоГТУ; отв. ред. В.А. Шорин. Вологда, 2005. С. 106.
15. Li D.Y., Szpunar I.A. // Mater. Sci. Lett. 1994. V. 13, № 21. P. 1521–1523.
16. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 416 с.
17. Василевич Е.Ю., Шепелевич В.Г. // Машиностроение: республик. межведомств. сб. научных тр. Вып. 17. / гл. ред. И.П. Филонов. Мн.: УП «Технопринт», 2001. С. 256–260.
18. Василевич Е.Ю., Шепелевич В.Г. // Теоретическая и прикладная механика: межвед. сб. науч.-метод. ст. / под ред. И.П. Филонова. Мн.: УП «Технопринт», 2002. С. 204–207.
19. Ташлыкова-Бупкевич И.И., Гутько Е.С., Шепелевич В.Г., Василевич Е.Ю. // Материалы V международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом». Минск, 6–9 октября 2003 года. Мн. 2003. С. 392–394.
20. Василевич Е.Ю., Гутько Е.С., Шепелевич В.Г. // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: сб. науч. тр. / ПГУ; под общ. ред. С.А. Астапчика, П.А. Витязя. Полоцк, 2001. С. 162–165.
21. Гутько Е.С., Шепелевич В.Г. // Машиностроение: республик. межведомов. сб. н. тр. Вып. 19 / Гл. ред. И.П. Филонов. Мн.: УП «Технопринт», 2003. С. 640–643.
22. Елагин В.И. Легирование деформируемых алюминиевых сплавов переходными металлами. М.: Металлургия, 1975. 284 с.
23. Сивцова П.А., Шепелевич В.Г. // Неорганические материалы. 2006. № 3. С. 307–311.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСА УПАКОВОЧНОГО КОНТЕЙНЕРА ИЗ ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ ПРИ ПАДЕНИИ

Казанцев А. Г., Радченко М. В.

НПО ЦНИИТМАШ, Москва

Для хранения и транспортировки отработавшего ядерного топлива используются специальные контейнеры, конструкция которых должна удовлетворять ряду требований безопасности, предусмотренных "Правилами безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. НП-053-04". В связи с этим, контейнеры подвергаются испытаниям, имитирующим условия железнодорожной катастрофы, в том числе, падению с высоты на жесткое основание при различной ориентации оси контейнера, а также на штырь из мягкой стали заданных размеров так, чтобы контейнеру были нанесены максимальные повреждения.

В данной работе с использованием метода конечных элементов выполнен анализ напряженного состояния, динамических усилий и ускорений для одного из случаев – падения упаковочного контейнера ТУК-128 с высоты 1,5 м днищем на вертикально закрепленный металлический штырь. При этом было принято, что при падении ось контейнера совпадает с осью штыря, т.е. удар приходится в центр днища.

Корпус контейнера весом 9,4 т изготовлен из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Расчетный предел текучести чугуна 177 МПа. Наружный диаметр корпуса около 1м, высота 1,5 м. Штырь изготовлен из стали с пределом текучести 280 МПа. Его высота 200 мм, диаметр 150 мм. Для упрощения расчетной схемы сдержимое контейнера весом 400 кг добавлено к весу корпуса.

Решение данной задачи осуществлялось в осесимметричной модели. Упругопластические свойства материалов описывались на основе модели с кинематическим уп-

рочением, зависимость предела текучести от скорости деформирования – соотношением Купера–Саймонда.

Рассмотрены два варианта изготовления штыря – с плоским верхним торцом и со сферическим радиусом 75 мм. На рис.1 показаны принятые расчетные схемы (1/2 часть), включая основные компоненты контейнера, а также разбиение на конечные элементы. В зоне удара их размер составляет около 1 мм, что оказалось достаточным для обеспечения необходимой точности вычислений.

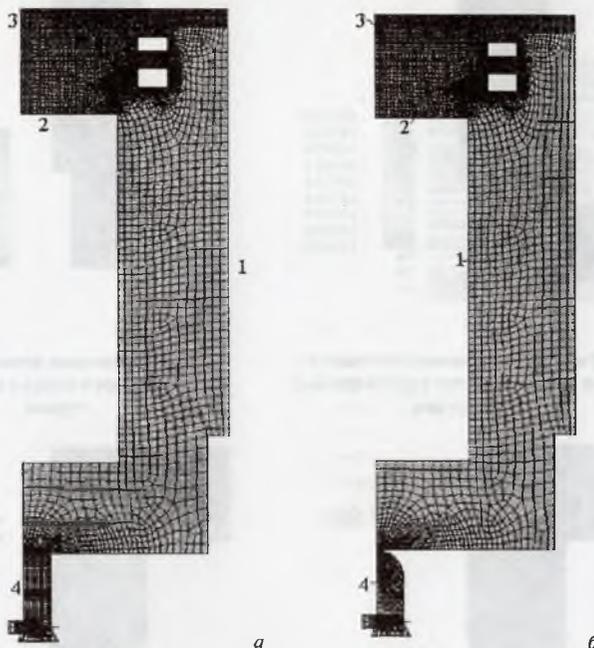


Рис.1. Расчетные схемы для случая падения контейнера на штырь с плоским торцом (а) и со сферическим торцом (б.); 1 – чугунный корпус; 2 – основная крышка из нержавеющей стали; 3 – верхняя крышка из нержавеющей стали; 4 – штырь.

Результаты расчета (рис. 2–5) показали, что при падении контейнера на штырь с плоским торцом (в момент удара скорость контейнера около 25 м/сек) корпус контейнера деформируется упруго, величина напряжений в днище корпуса не превышает 160 МПа. В штыре возникли значительные пластические деформации. Он получил осадку около 20 мм, а максимальное увеличение диаметра составило 10 мм. На представленных рисунках напряжения приведены в Н/мм^2 , перемещения в метрах, деформации в относительных единицах.

При ударе о штырь со сферическим торцом штырь получил осадку порядка 30 мм и увеличение диаметра на 14 мм. Однако в этом случае в днище корпуса возникают пластические деформации и вмятина глубиной около 4 мм, а в зоне под нею в днище – остаточные растягивающие напряжения величиной до 140 МПа, рис. 6–8.

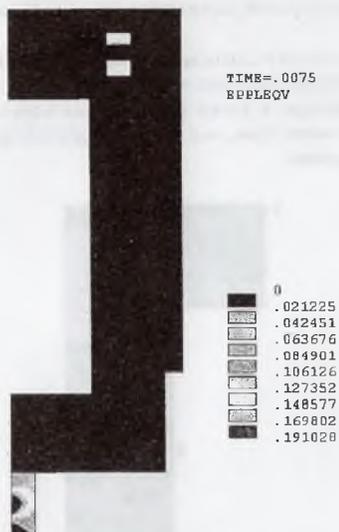


Рис.2. Распределение интенсивности пластических деформаций при ударе о штырь с плоским торцом

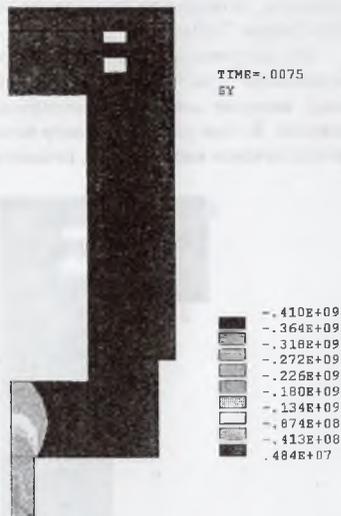


Рис.3. Распределение осевых напряжений при ударе о штырь с плоским торцом

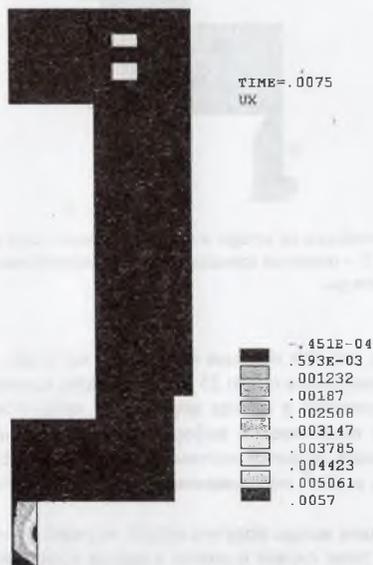


Рис.4. Горизонтальные перемещения при ударе о штырь с плоским торцом

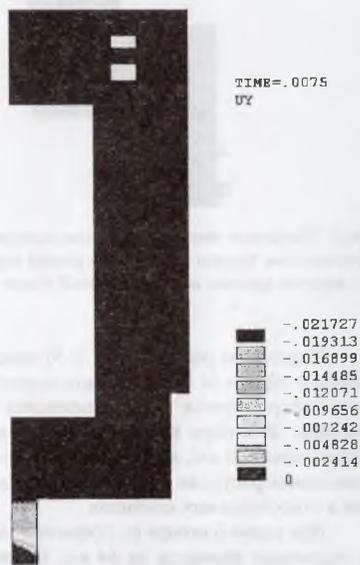


Рис.5. Вертикальные перемещения при ударе о штырь с плоским торцом.



Рис. 6. Распределение пластических деформаций при ударе о штырь со сферическим торцом

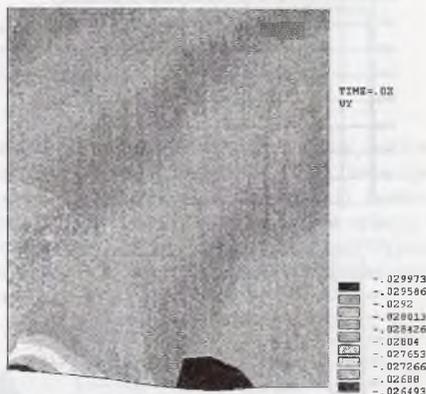


Рис.7. Характер вертикальных перемещений и размеры вмятины в днище корпуса при ударе о сферический торец

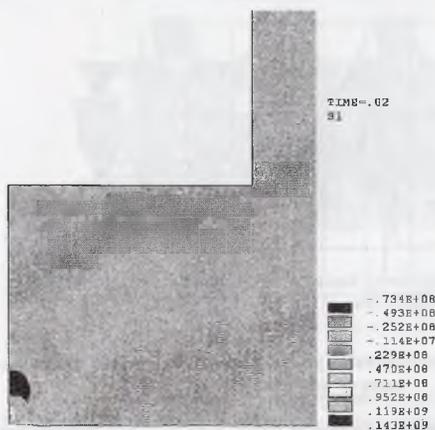


Рис.8. Распределение первого главного напряжения в зоне вмятины после удара о сферический торец

Представленные результаты были сопоставлены с экспериментальными данными, полученными при натурных испытаниях корпуса контейнера, выполненного на базе ОАО "КБСМ". Падение контейнера осуществлялось на штырь с плоским торцом. На боковой поверхности корпуса были установлены датчики ускорения, сигнал которых показан на рис.10. Полученные в эксперименте данные достаточно хорошо согласуются с расчетом по длительности импульса и величине ускорений.

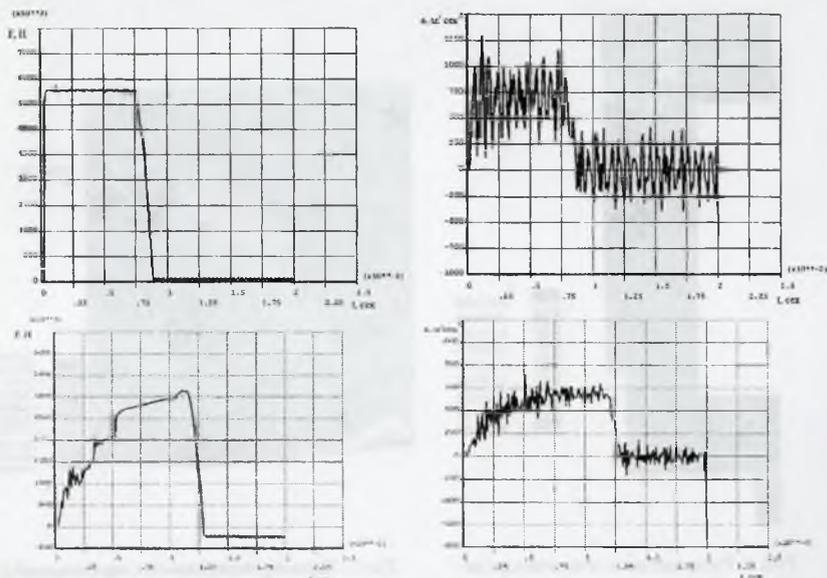


Рис. 9. Изменение усилия на штырь и ускорения на боковой поверхности корпуса контейнера при ударе о плоский (вверху) и сферический торец (внизу).

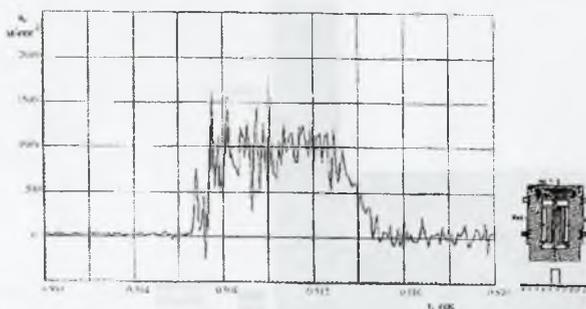


Рис. 10. Показания датчика ускорений, установленного на боковой поверхности корпуса контейнера.

Падением контейнера днищем на штырь проверялась сопротивляемость корпуса контейнера из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом действию ударной локальной нагрузки. Анализ последствий проведенного испытания подтвердил высокую степень прочности и пластичности чугуна, способного противостоять значительным по величине ударным локальным нагрузкам. В результате удара по штырю на днище образовалась незначительная вмятина; никаких других повреждений контейнер не получил. Данные эксперимента согласуются с выполненным конечноэлементным расчетом.