

С.Ю.САЕНКО, канд. техн. наук, нач. отдела ННЦ «ХФТИ», Харьков;
О.К.МОРАЧКОВСКИЙ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
Д.В.ЛАВИНСКИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ УДАРНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКОГО КОНТЕЙНЕРА ПРИ ПРОБИВАНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ СТЕРЖНЕМ И ПУЛЕЙ

Проведено аналіз ударного деформування керамічного контейнера для транспортування й захоплення радіоактивних матеріалів при пробиванні його металевим стержнем та кулею. Аналіз проводився з метою оцінювання міцності й герметичності за умов нормативних вимог щодо проєктів таких об'єктів. Задача розв'язувалась методом скінчених елементів у переміщеннях за допомогою сучасного програмного комплексу ANSYS. Представлені розподіли максимальних інтенсивностей напружень. Одержані результати розрахунків дозволяють зробити висновок, що за вказаних видів навантаження керамічний контейнер залишається міцним та герметичним.

The analysis of impact deformation of a ceramic container for transporting and evaluating of radioactive material to the strength and tightness under regulatory requirements to projects such facilities. The analysis was completed for estimations of the strength and tightness of the container project. The problem was solved by finite element method in displacement with helping of modern program complex ANSYS. The distribution of maximal stress intensity is described.

Актуальность и состояние проблемы. В настоящее время в Украине для транспортирования и хранения отходов, возникающих при эксплуатации атомных электростанций, традиционно используются бетонные упаковки. Такие упаковки не в полной мере отвечают современным требованиям безопасности. Одним из вариантов повышения прочностных характеристик контейнеров является разработка новых защитных материалов и конструкций на их основе [1,2]. Новые варианты конструкций контейнеров должны удовлетворять условиям прочности при стандартных видах нагружения в соответствии с разд. 4.5 руководящих материалов ГОСТа 51824 – 2001 «Контейнеры защитные невозвратные для радиоактивных отходов из конструкционных материалов на основе бетона. Общие технические требования». Одним из видов нагружения, определяемых ГОСТом, является падение металлического стержня из углеродистой стали (масса – 6 кг, диаметр – 32 мм, с полусферическим концом радиусом 16 мм) с высоты 1 м в направлении центра наименее прочной части контейнера. Такой тип нагружения может привести к пробиванию контейнера. Кроме того, в настоящее время хранилища вредных радиоактивных отходов могут стать объектом террористической атаки, при которой весьма велика вероятность поражения контейнера пулей стрелкового оружия. Очевидно, что новая конструкция контейнера может считаться работоспособной, если пробивание корпуса при указанных видах воздействия не произойдет. Этим обусловлена актуальность темы работы.

Постановка задачи и метод решения. В работах [3,4] проведены расчеты и анализ прочности контейнера при статическом нагружении и при падении. В данной работе за основу принималась модель контейнера уже рассмотренная ранее с такими же физико-механическими характеристиками материала. Особенности нагружения в данном случае (при пробивании стержнем или пулей) таковы, что воздействие производится в локальной области поверхности контейнера и, поэтому задача должна рассматриваться в трехмерной постановке. Анализ информационных источников по данной проблеме, а также предыдущие результаты расчетов прочности, позволяют сделать вывод, что при пробивании наименее прочной может считаться середина (по высоте) корпуса и середина крышки. Так же середина корпуса является наиболее вероятной областью попадания пули. На рис. 1 и 2 представлены расчетные схемы задач падения металлического стержня на корпус и попадания пули.

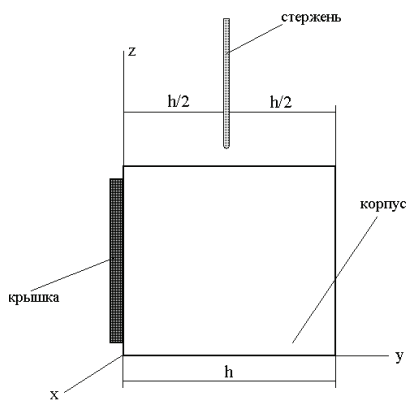


Рисунок 1

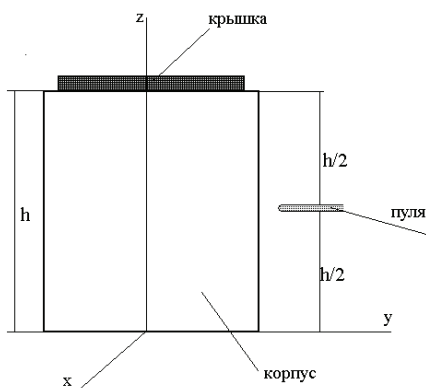


Рисунок 2

Для двух приведенных расчетных схем должны выполняться следующие условия закрепления. Для схемы рис. 1 – жесткое опирание вдоль линии касания боковой поверхности корпуса и опорой:

$$\vec{U}(x = 0, y \in [0, h], z = 0) = 0. \quad (1)$$

Для схемы рис.2 – жесткое опирание основания контейнера:

$$\vec{U}(x, y, z = 0) = 0. \quad (2)$$

Так как, в данном случае металлический стержень совершает поступательное движение, то его скорость в момент касания боковой поверхности может быть получена из теоремы об изменении кинетической энергии по следующей формуле:

$$v = \sqrt{2gh}, \quad (3)$$

при $h = 1$ м скорость составит $v = 4,43$ м/с. Во втором случае принимаем: мас-

са пули – 9 г, диаметр – 7,62 мм, скорость полета – 900 м/с.

Задача решалась методом конечных элементов (МКЭ) в перемещениях средствами модуля программного комплекса ANSYS – LS DYNA. В качестве базового выбирался 10-узловой объемный призматический конечный элемент с квадратичной аппроксимацией перемещений – SOLID168.

Материал контейнера считался упругим, свойства которого выбирались соответствующими спеченной керамике типа ZrO_2 [1]. Содержимое контейнера моделировалось твердым телом с упругими свойствами. Поведение материала стержня и пули моделировалось в рамках смешанного подхода Лагранжа-Эйлера описания сплошной деформируемой среды. Контактные явления, имеющие место между крышкой и корпусом, моделировались путем введения специального слоя контактных конечных элементов.

Оценки прочности керамического контейнера. Рассмотрим вначале результаты, полученные для случая соударения металлического стержня с контейнером.

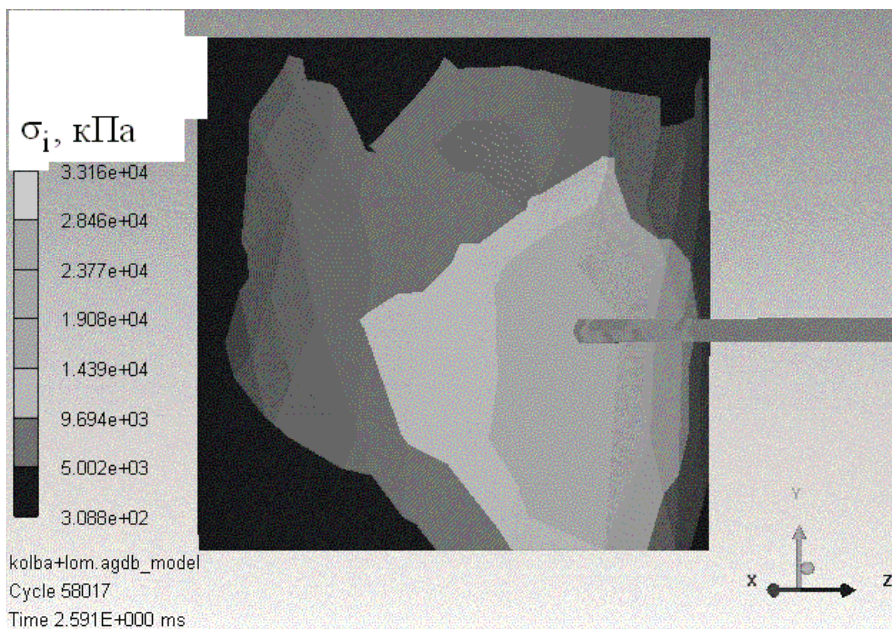


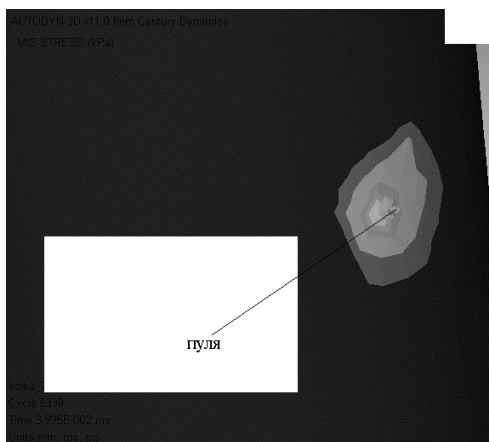
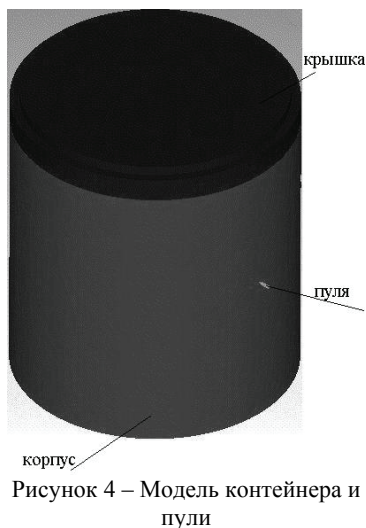
Рисунок 3 – Распределение интенсивности напряжений в области контакта стержня и контейнера

Следует отметить, что ударное воздействие приводит к возникновению значительных напряжений только в области, непосредственно прилегающей к месту соударения. В точках удаленных от места соударения напряжения

являются незначительными и не приводят к возникновению критических состояний материала. Таким образом можно утверждать, что падение металлического стержня на середину боковой поверхности корпуса контейнера не приведет к нарушению герметизации узла соединения крышки и корпуса.

В расчетах оценивалась длительность соударения, а также напряженное состояние в зависимости от времени соударения. Результаты показали, что длительность соударения составляет $0,5 \cdot 10^{-3}$ с. Максимальные значения напряжений наблюдаются в момент времени соударения $0,25 \cdot 10^{-3}$ с.

На рис. 3 представлена картина распределения максимальной (во времени) интенсивности напряжений в области соударения. Отметим, что максимальное значение интенсивности наблюдается в точка поверхности корпуса, непосредственно контактирующих с падающим стержнем, и составляет 33 МПа. Если воспользоваться критерием прочности Губера – Хенки – Мизеса и сравнить максимальную интенсивность напряжений с пределом прочности материала ZrO_2 – 1400 МПа [1], то можно утверждать, что в результате соударения контейнер остается прочным. Подобный же вывод можно сделать, если воспользоваться критерием Мора и сравнить максимальное значение первого главного напряжения с пределом на растяжение [1].



Подобные результаты были получены и в результате решения задачи о пробивании боковой поверхности контейнера пулей. На рис. 4 представлена геометрическая модель контейнера и пули, созданная средствами программного комплекса ANSYS. На рис. 5 представлена качественная картина распределения интенсивности напряжений в момент контакта пули и корпуса. Следует отметить, что общая картина распределения напряжений соответ-

ует первому рассмотренному случаю. В точках удаленных от места попадания пули напряжения являются незначительными, а значит и в этом случае разгерметизация узла соединения крышки и корпуса не наблюдается. Количественные оценки также позволяют сделать вывод, что прочность контейнера в месте попадания пули также не нарушается (максимальное значение интенсивности напряжений составляет 300 МПа). Следует отметить, что пуля претерпевает значительное пластическое формоизменение.

Выводы. Проведено моделирование двух критических режимов нагружения керамического контейнера для хранения радиоактивных отходов. Моделирование проводилось средствами программного комплекса ANSYS. Особым образом учтено поведение материала при соударении. Оценки прочности контейнера по теории Губера – Хенки – Мизеса и по теории Мора показывают, что прочность контейнера не нарушается ни при пробивании его боковой поверхности металлическим стержнем, ни при пробивании пулей.

Список литературы: 1. Саенко С.Ю. Технологические подходы для обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами // Энергетика, экономика, технологии, экология. – 2007. – № 2 (21). – С. 27-35. 2. Неклюдов И.М., Морачковский О.К., Андреев Ю.М., Саенко С.Ю., Бирюков О.В. Динамическое моделирование по испытанию на прочность контейнеров-упаковок для высокоактивных отходов атомных станций // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – № 6/4 (30) – 2007. – С.4-7. 3. Саенко С.Ю., Морачковский О.К., Лавинский Д.В., Соболев В.Н. Анализ статического и ударного деформирования керамического контейнера для радиоактивных отходов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2010. – № 37. – С. 136-142. 4. Лавинский Д.В., Морачковский О.К., Саенко С.Ю. Анализ прочности керамического контейнера для хранения радиоактивных отходов. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2010. – Вип. 101. – С.286-290.

Поступила в редколлегию 10.11.10