

УДК 629.7.02

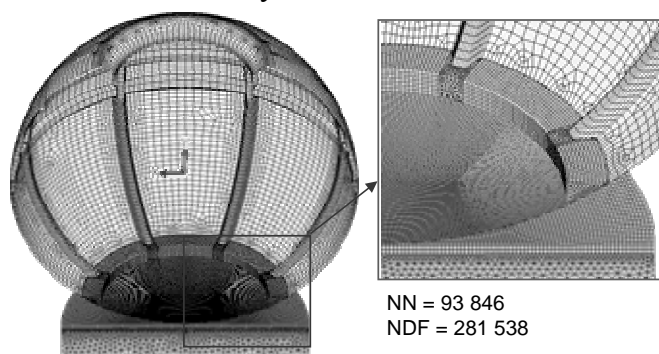
Д.В.Климшин (соиск., каф. МПУ), А.И.Боровков, к.т.н., проф., Д.В.Шевченко, асс.

### КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРА ОРЕБРЕННОЙ СФЕРЫ О ЗЕМЛЮ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЕ СТЕНОК

Оребренные конструкции являются одними из наиболее часто используемых в авиастроении, судостроении, космической промышленности. При этом наибольший интерес представляет поведение данных конструкций при динамических нагрузках.

В работе с помощью программной системы конечно-элементного анализа *LS-DYNA* [1, 2] моделируется удар сферической капсулы, подкрепленной меридиональными и поперечными ребрами жесткости, о грунт (рис. 1).

В конечно-элементном исследовании использованы модели упруго-пластических материалов, как для капсулы, так и для грунта. Для корректного моделирования свойств грунта использованы уникальные данные из отчета *NASA* [3].



**Рис. 1. Конечно-элементная модель сферической оребренной капсулы.**

составляет  $\sim 43$  мкс, а полная остановка капсулы происходит при 20 мкс. В этот момент времени в грунте образуется воронка, а в нижней части капсулы возникают максимальные напряжения. Затем происходит отскок капсулы от грунта.

Для скорости удара 10 м/с и 20 м/с отскок капсулы от грунта не наблюдается; нижняя часть капсулы полностью вминается внутрь, размеры воронки увеличиваются, зона пластических деформаций охватывает всю нижнюю часть капсулы вплоть до жесткого кольца.

Радиус капсулы составляет 2 метра. Материал капсулы – кевлар. Для предотвращения травм у пассажиров, находящихся внутри капсулы, и значительных повреждений самой капсулы, в нижней части капсулы введено дополнительное жесткое кольцо.

В ходе выполнения конечно-элементных исследований установлено, что время контактного взаимодействия капсулы с грунтом

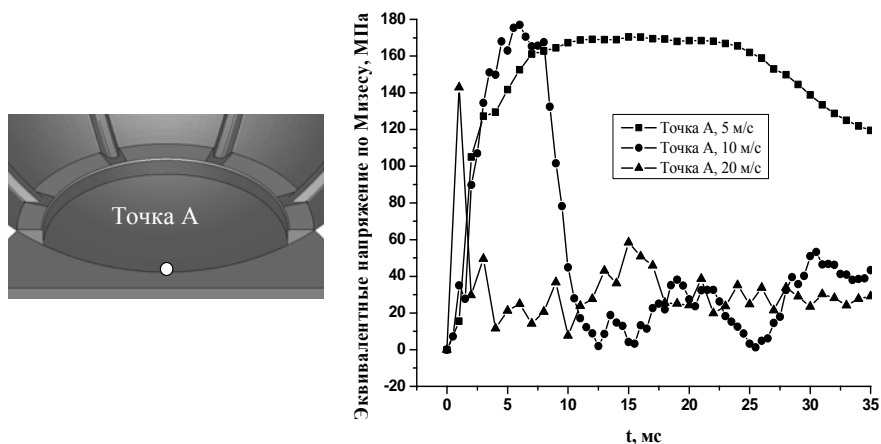


Рис. 2. Эквивалентные напряжения по Мизесу в точке А при различных скоростях удара.

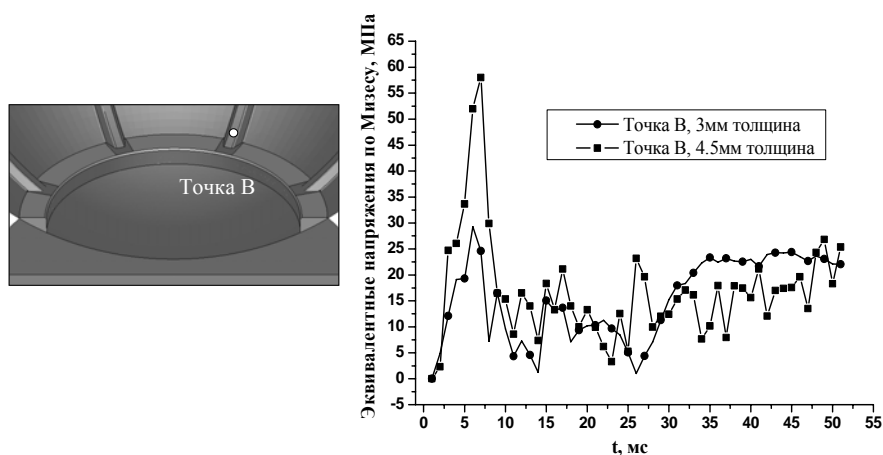


Рис. 3. Эквивалентные напряжения по Мизесу в точке В при различной толщине корпуса.

В работе детально исследованы динамические напряжения, возникающие в капсуле и ребрах, при различных скоростях удара от 5 м/с до 20 м/с (рис. 2). Проведен подробный сравнительный анализ динамических напряжений в различных зонах капсулы, меридиональных и поперечных ребер жесткости, при различной толщине нижней части корпуса – 3 мм и 4.5 мм (рис. 3). На основе проведенных исследований разработаны практические рекомендации по выбору геометрических характеристик ребер жесткости и дополнительного жесткого кольца, обеспечивающего возможность смены нижней части капсулы после удара о грунт

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Боровков А.И., Климшин Д.В., Шевченко Д.В. Конечно-элементное моделирование удара оребренной сферы о землю // Материалы VIII Всеросс. конф. по проблемам науки и высшей школы “Фундаментальные исследования в технических университетах”. СПб.: Изд. СПбГПУ. 2004. 186 – 187.
2. Hallquist J.O. LS-DYNA. Theoretical Manual // Livermore Software Technology Corporation, 1998.
3. Fasanella E., Yvonne J., Norman F., Sotiris K. Low velocity earth-penetration test and analysis // NASA/TM-2001-211023 ARL-TR-2539.