

Симуляция взаимодействия высокоскоростных механических частиц с герметичными конструкциями летательного аппарата

А.А. Потапкин, Л.С. Зеленко

Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева

Увеличение габаритов космических аппаратов (КА) и сроков их активного существования на орбите является общей тенденцией в проектировании современных КА, что делает их более уязвимыми при высокоскоростном ударном воздействии техногенных и метеорных частиц. Повреждение обечайки герметичного блока космического аппарата вследствие такого воздействия может привести не только к потере герметичности, но и к катастрофическому разрушению силовой конструкции аппарата и отказу КА в целом. В этой связи особую актуальность приобретает разработка мероприятий, направленных на защиту проектируемых КА от воздействия частиц космического мусора, а также на создание методов оценки опасности катастрофического разрушения конструкций космических аппаратов.

Для решения данных задач требуется все больше точных знаний о количественных характеристиках нестационарных явлений при интенсивных нагрузках, которые инициированы процессами физического или химического взрыва и высокоскоростного удара. Данные процессы, в отличие от квазистатических, являются кратковременными быстропотекающими, сопровождающимися образованием ударных волн, волн сжатия и разрежения, их взаимодействием и отражением от различных дезориентированных поверхностей и движущихся тел и сред. Это приводит к большим деформациям, локальному перегреву вещества, изменению кристаллической структуры и свойств нагружаемых сред, множественным разрушениям и другим необратимым эффектам. Для численной оценки параметров процессов необходимо прибегать к методам имитационного моделирования, поскольку проведение натурных экспериментов в большинстве случаев является экономически не целесообразным. Кроме того, результаты прямых или косвенных измерений могут оказаться куда менее точными, чем результаты, получаемые при помощи верифицированной математической модели.

Для численного решения задачи был выбран метод гладких частиц (smoothed particle hydrodynamics method). Среди лагранжевых методов этот способ является наиболее удобным для рассмотрения сложных процессов, таких как большие деформации, разрушение, фазовые переходы и разлет вещества. Кроме того, сохраняется принцип рассмотрения среды с точки зрения самой среды, а не пространства, как в подходе Эйлера. Поскольку расчет параметров гладкой частицы осуществляется независимо от остальных частиц системы, возможна реализация метода для параллельной архитектуры. Ограничения на аппаратную поддержку привели к решению использовать для вычислений параллельную архитектуру графического процессора GPU.

Проектируемый симулятор включает две реализации вычислительного ядра. Базовая реализация метода гладких частиц строится на использовании графического API OpenGL, при помощи которого данные к GPU передаются в виде текстур, а расчётные программы загружаются в виде пиксельных и фрагментных шейдеров. Особенностью такого подхода является сравнительно низкая скорость обмена данными между CPU и GPU. Этому недостатка лишена реализация на базе технологии CUDA, которая даёт возможность организации доступа к набору инструкций графического ускорителя и управления его памятью при организации параллельных вычислений.