

Моделирование быстропротекающих динамических процессов в механике деформируемого твёрдого тела с использованием суперкомпьютерных технологий



17 Моделирование быстропротекающих динамических процессов в механике деформируемого твердого тела с использованием суперкомпьютерных технологий

В современной механике виртуальное моделирование является одним из основных методов исследования нелинейных задач. Применительно к ряду практически важных проблем этот подход часто оказывается более предпочтительным по сравнению с традиционными экспериментальными и аналитическими методами исследования. Надежность виртуального моделирования зависит от многих факторов, в частности от степени детализации геометрической модели и масштаба ее дискретизации. Применительно к моделированию динамических процессов в сильно неоднородных средах построение адекватных математических моделей, как правило, требует значительных вычислительных ресурсов. Эффективное решение подобных задач возможно только при условии использования современных суперкомпьютерных технологий.

АВТОРЫ:

П.А. Моссаковский – канд. физ.-мат. наук, вед. научн. сотр. НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова, рук. Центра компьютерных технологий в механике,
e-mail: pavel_mossakovsky@rambler.ru

Ф.К. Антонов – канд. физ.-мат. наук, вед. инженер-прочнист ГК «Ростехнологии» (ОАО «ММЭЗ-Композиционные технологии»),
e-mail: antonof@gmail.com

Л.А. Костырева – канд. физ.-мат. наук, инженер-конструктор ФГУП-НПЦ газотурбостроения «САЛЮТ»,
e-mail: kostyle@inbox.ru

А.В. Инюхин – научн. сотр., рук. сетевой группы НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова,
e-mail: avi@imec.msu.ru

Введение

В последние годы в связи с появлением и постоянным совершенствованием инструментальных программных сред инженерного анализа и наличием мощных вычислительных ресурсов (суперкомпьютеров) для решения большого числа инженерных задач и задач механики все чаще используется прямое трехмерное компьютерное моделирование. Во многих случаях такой подход является вполне оправданным, тем более что при решении сложных, нелинейных задач, качество компьютерного моделирования, как правило, оценивается сравнением с результатами натуральных испытаний. Однако существует немало проблем, когда возможность проведения натуральных полномасштабных экспериментов ограничена, их реализация экономически нецелесообразна или в принципе невозможна. К таким задачам относится, в частности, моделирование различного рода аварийных ситуаций, которые могут приводить к катастрофическим последствиям. При решении этих задач необходимо получать высокую точность результатов моделирования в условиях ограниченности проведения полномасштабных верификационных экспериментов. Это приводит к необходимости отказа от ряда инженерных упрощений, позволяющих сводить решение сложных с вычислительной точки зрения задач к более простым. В настоящей работе рассматривается ряд таких проблем, для решения которых невозможно обойтись без применения суперкомпьютерных технологий.

Моделирование процессов на микро- и мезомасштабных уровнях

Примером может послужить моделирование пробивания композиционных материалов с учетом структуры композита. Моделирование тканых композиционных структур с высокой степенью детализации геометрии и характера плетения нитей в слоях требует большого объема вычислительных ресурсов. В одном слое ткани 5x5 см (реальные защитные пластины имеют размер 30x30 см) содержится более 30 000 элементарных плетений. Число степеней свободы в таком слое превышает 3 000 000. Таким образом, расчеты по пробиванию тканых композитов, содержащих несколько слоев ткани реальных размеров невозможно проводить без применения суперкомпьютерных технологий. В случае наличия связующего, количество степеней свободы в слое увеличивается на порядок (характерный размер элемента разбиения связующего не должен превышать размер разбиения элемента арматуры).

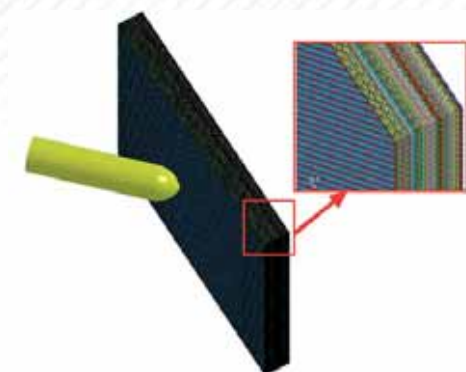


Рис. 1.
Конечно-элементная модель 20-слойного тканого композита

ми потребует от трех до четырех суток расчетного времени. Проведение массовых расчетов такого рода, а также расчетов по моделированию реальных конструкций потребует большего количества узлов (более 1000). На рисунке 1 приводится конечно-элементная модель 20-слойного тканого композита. На рисунке 2 — пример моделирования пробивания 20-ти слоев тканого арамидного композита твердым ударником и сравнение с экспериментом.

Детальное моделирование динамических процессов, протекающих в сложных крупномасштабных конструкциях

Примерами такого рода задач является моделирование взрывного воздействия на сооружения и технику, моделирование сейсмического воздействия на здания и сооружения, моделирование процессов осколочно-фугасного поражения техники.

Актуальной задачей при проектировании военной и военно-транспортной техники является анализ фугасного воздействия на конструкцию и экипаж. При моделировании подрыва транспортного средства на mine необходимо детальное моделирование его конструкции, позволяющее оценить не только повреждения, наносимые технике, но и возможные последствия для ее экипажа. Модель 10-тонного грузовика в достаточной степени детализации содержит порядка миллиона конечных элементов, а для описания процесса подрыва заряда,



Рис. 2.
Пробивание 20-слойного тканого пакета из арамидных волокон (виртуальный и натуральный эксперименты)

Ресурсоемкость задачи также существенно увеличивается за счет затрат на FSI (fluid-structure interaction, твердо-жидкостное взаимодействие) и контактные алгоритмы. Таким образом, расчет 4-х слоев тканого композита 5x5 см со связующим на кластере с 64-мя 8-ядерными узлами



Рис. 3.
Пример моделирования подрыва 10-тонного грузовика



Рис. 4.
Пробивание корпуса двигателя при обрыве лопатки

распространения взрывчатого вещества и последующих ударно-волновых процессов необходимо помимо самого грузовика моделировать также и окружающее его пространство, что увеличивает размер задачи в несколько раз. На рисунке 3 приведен пример моделирования такого рода задачи.

Моделирование процессов, для которых необходимо получать высокую точность решения; моделирование конструкций с большой степенью детализации

К задачам такого рода относится прогнозирование результата обрыва лопатки газотурбинного двигателя, расчет его «птицестойкости», а также другие виртуальные краш- и дроп-тесты.

Расчет процесса обрыва лопатки в наиболее простой постановке требует моделирования помимо непосредственно обрываемой лопатки еще как минимум 5 последующих лопаток, принимающих активное участие в протекании процесса. При этом корпуса современных газотурбинных двигателей представляют собой сложные металлокомпозиционные конструкции, моделирование которых в необходимой степени детализации (не менее 5 конечных элементов по толщине металлической части корпуса) также приводит к потребности в больших вычислительных ресурсах вследствие большого объема модели. Наличие больших деформаций в процессе взаимодействия приводит к измельчению шага интегрирования, что влечет за собой увеличение расчетного времени.

Кроме того, подобные задачи обычно являются оптимизационными, и их необходимо решать в многократной повторности. На рисунке 4 приведен пример расчета на непробиваемость корпуса современного газотурбинного двигателя.



Рис. 5.
Примеры моделирования взаимодействия броневой пули с различными типами преград

Задачи оптимизации конструкций

Существует ряд задач, которые необходимо решать в обширном спектре вариаций параметров, поэтому длительность единичного расчета в них очень важна. Проведение необходимого числа вычислительных

экспериментов для множества вариантов конструкций невозможно без использования многопроцессорных вычислительных комплексов.

К таким задачам можно отнести проектирование бронепакетов и различных малых защитных конструкций. Современные средства для защиты от кинетических поражающих элементов обычно представляют собой многослойные композиционные пакеты, состоящие из слоев с различными физико-механическими параметрами и функциональным назначением. Моделирование процесса пробивания защитной преграды такого типа на персональном компьютере обычно занимает порядка 10–12 часов, а для оптимизации толщин и состава слоев необходимо решать десятки и сотни подобных задач.

На рисунке 5 приведены примеры решения нескольких таких задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 09-08-01229.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моссаковский П.А. Экспериментально-вычислительный метод решения задач динамической прочности при ударном взаимодействии // Упругость и неупругость. Материалы Международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых тел, посвященного 95-летию со дня рождения А.А. Ильюшина, 2006. – С. 408–409.
2. Моссаковский П.А., Колотников М.Е., Антонов Ф.К. Экспериментально-вычислительное исследование свойств нанокompозитной жидкости и ее влияния на защитные характеристики многослойных преград из тканых композитов // Материалы международной научной конференции «Современные проблемы математики, механики, информатики» 23–27 ноября 2009. – Издательство ТулГУ, 2009. – С. 237–240.
3. Lomakin E.V., Mossakovsky P.A., Bragov A.M., Lomunov A.K., Konstantinov A.Yu., Kolotnikov M.E., Antonov F.K., Vakshtein M.S. Investigation of impact resistance of multilayered woven composite barrier impregnated with the shear thickening fluid // Archive of Applied Mechanics, Springer, Heidelberg, 2011. – DOI: 10.1007/s00419-011-0533-0 Online First™.