

УДК 622.232:681.31(574.14)

М.М. Дружинин

РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БОЙКА ПОГРУЖНОГО ПНЕВМОУДАРНИКА

Приведены результаты постановки численного эксперимента удара детали цилиндрической формы по бойку погружного пневмоударника П-150.

Ключевые слова: боек пневмоударника, ударные машины, численное моделирование.

Семинар № 21

M.M. Druzhinin

THE IMPLEMENTATION OF THE QUANTATIVE MODELING OF STRAIN-STRESS STATE OF THE HEADER OF THE DOWNHOLE HAMMER

The results of quantitative experiment of cylindrical detail knock on the header of the downhole hammer P-150 are given.

Key words: header of the downhole hammer, pneumatic hammer, quantitative modeling.

Исследованием напряжённо-деформированного состояния (НДС) бойков ударных машин занимались многие исследователи у нас в стране и зарубежом. Расчёт НДС можно проводить следующими расчётными моделями: одномерными, двумерными и трёхмерными. Можно выделить основные одномерные модели расчёта: энергетическая, волновая [1], дискретная [2], конечно-разностная [3, 4, 5], модель Сен-Венана [6]. Одномерные модели имеют как численное, так и аналитическое решение. Двумерные и трёхмерные модели имеют только численное решение.

В последнее время стало очевидным, что одномерные модели исчерпали себя с точки зрения инструмента, способного предоставить полный

анализ НДС соударяемых деталей. Развитие метода конечных элементов (МКЭ) позволило перейти на новый уровень расчётов, т.к. детали теперь рассматриваются как трёхмерные тела. Поэтому становится возможным рассмотреть влияние различных концентраторов напряжений (проточки, выточки, сквозные и глухие отверстия) на НДС бойков ударных машин.

В настоящее время на рынке программного обеспечения можно выделить небольшой круг профессиональных программ конечно-элементных расчётов – Ansys, Nastran, Abaqus, Nastran, Nei/Nastran.

Основные требования, которые предъявляются к программному обеспечению в случае постановки численного эксперимента по работе реального бойка, следующие:

- 1) Возможность импорта 3D моделей из различных CAD пакетов.
- 2) Способность производить разбивку трёхмерных деталей на конечные элементы типа tetra.
- 3) Возможность автоматической генерации контактных конечных элементов типа поверхность-поверхность.
- 4) Возможность производить расчёты в нелинейной постановке с наличием нелинейности в материале.

Компьютеры ССКЦ

	НКС-160	МВС-1000	RM600
Количество вычислительных модулей/серверов	40	64	2 сервера RM6000-E30
Количество процессоров на модуле (сервере)	2	2	8 процессоров на одном сервере и 3 процессора на другом
Процессор	Intel Itanium 2, 1.66 ГГц, 3 Мб кэш	64 разрядный Alpha 21264, 667 МГц	R1000, 250 МГц
Скорость выполнения операций с плавущей точкой (FLOPS)	500 GFLOPS	196 GFLOPS	5 GFLOPS
Стандарт взаимодействия модулей	InfiniBand	–	FastEthernet
Операционная система	Red Hat Enterprise Linux ES release 4 (Nahant)	–	Reliant UNIX 5.44 C20

Перечисленные выше программные продукты удовлетворяют этим требованиям.

Автор этой статьи поставил перед собой задачу постановки численного эксперимента удара детали цилиндрической формы (т.н. снаряда) по бойку погружного пневмоударника П-150. Результаты такого численного эксперимента предполагается непосредственно сравнить с натурным экспериментом для того, чтобы убедиться в адекватности математической модели. Была создана конечно-элементная модель такого удара.

Как оказалось, решение такой численной задачи требует больших вычислительных ресурсов. Так если боёк имитировался 54 тыс. конечно-элементов, а снаряд – 11 тыс., а время решения соответствует $5L/c$, где L – длина бойка, а c – скорость звука в материале бойка, то такая задача на персональном компьютере решается несколько суток, при условии задания 10000 шагов интегрирования.

Поэтому для решения такой задачи рассматривается возможность использования ресурсов Сибирского суперкомпьютерного центра коллективного пользования (ССКЦ), расположенного

в новосибирском академгородке. ССКЦ базируется в Институте вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ СО РАН) и представляет собой ряд высокопроизводительных компьютеров, к которым можно подключаться удалённо по сети интернет. В ССКЦ имеется три суперкомпьютера: НКС-160, МВС-1000, RM600 (таблица).

Таким образом, работу с компьютерами ССКЦ можно осуществить так, как это показано на рисунке.

Оценить время вычислений, производимых процессором любого компьютера можно по формуле:

$$T_{\text{ПАСЧ}} = \frac{m \cdot N_{\text{FLOPS}}}{\text{FLOPS}},$$

где $T_{\text{ПАСЧ}}$ – время расчёта на компьютере, с; m – количество итераций при расчёте задачи; N_{FLOPS} – количество операций с плавущей точкой, которые процессор выполняет за один шаг интегрирования; FLOPS – скорость выполнения процессором компьютера операций с плавущей точкой.

Достаточно сложно определить, как численный алгоритм влияет на количество операций с плавущей точкой, не имея глубоких знаний в про-



Принцип работы с суперкомпьютером НКС-160 в ССКЦ

компьютера, а также вычисления процессора ограничиваются скоростью обмена данными с ОЗУ и жёстким диском. Поэтому формула (1) отражает заниженное время расчёта.

Можно оценить, во сколько раз будет уменьшено время расчёта на суперкомпьютере. Если для персонального компьютера с процессором Celeron 2.53 ГГц параметр FLOPS составляет около 47·10⁶, то время

расчёта на персональном компьютере будет в 500·10⁹/47·10⁶ или 10638 раз больше, чем на суперкомпьютере НКС-160.

граммировании и исходных кодов программы [7]. Кроме того, при выполнении расчётов, как правило, задействована только часть ресурсов

1. Алимов, О.Д. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах / О.Д. Алимов, В.К. Манжосов, В.Э. Еремьянц – М.: Наука, 1985.

2. Закаблуковский Н.Г. Исследование продольного удара с помощью дискретной модели/Н.Г. Закаблуковский, Г.Н. Покровский, Б.Н. Серпенинов // ФТПРПИ. – 1969. – №1. – С. 62–66.

3. Chiu, S.S. Difference Method for Multiple Reflection of Elastic Stress Waves / S.S. Chiu; California, Livermore, Analytical Mechanics Division, Sandia Corporation, Sandia Laboratories // Journal of Computational Physics. – 1970. – V. 6. – №1–2. – C.17–28.

скное разрушение твёрдых тел / В.С. Никифоровский, Е.И. Шемякин. – Новосибирск: Наука, 1979.

5. Мирзаев, И.М. Исследование распространения плоских волн и разрушение в упругих и неидеально-упругих составных конструкциях / И.М. Мирзаев, В.С. Никифоровский // ФТПРПИ. – 1973. – №2. – С.58–62.

6. Доброгурский, С.О. Вопросы расчёта и конструирования деталей машин / А.И. Петруевич, Г.В. Ужик, И.Х. Милейковский, Д.М. Комаров – М.-Л.: Изд-во Академии наук Союза ССР, 1942.

7. http://geofem.tokyo.ist.or.jp/report_common/GeoFEM01_001.pdf ГИАБ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Коротко об авторе

Дружинин М.М. – ИГД СО РАН, Новосибирск, admin@misd.nsc.ru