

# Использование многоядерных компьютеров для инженерных расчетов в САЕ-системах

**В**ремена, когда предприятия прибегали к компьютерному моделированию технологии как к крайнему средству (подобно тому, как вызывают шамана к умирающему больному), безвозвратно уходят. Компьютерное моделирование настолько прочно внедрилось в современное производство, что фактически стало одной из операций технологической цепочки. Причин этому много: и экономический рост, и востребованность продукции при одновременном повышении требований к ее качеству, и просветительская деятельность производителей программного обеспечения, а также центров технической поддержки.

Еще одну причину хочется упомянуть особо. Это интенсивный рост производительности вычислительной техники. Вспомните, еще совсем недавно компьютеры делились на две категории: "офисные" и "станции" (графические, рабочие и т.п.). Офисными звались компьютеры с "обычной" конфигурацией и производительностью. Они были вполне доступны по цене, но использовались как пишущие машинки. Запустить на этих компьютерах программные пакеты для различных инженерных расчетов чаще всего не стоило и пытаться: используемые в этих программах методы решения требовали значительно большей производительности и совсем других объемов памяти. Для работы с расчетными пакетами использовались станции. Конфигурация этих машин должна была обеспечить максимальную производительность и надежность. При сборке использовались новейшие модели процессоров и плат. Производителем станций не могла быть какая-нибудь никому не известная китайская или тайваньская фирма — только серьезная компания масштаба HP, Sun Microsystems

или SGI. Стоили станции в разы дороже, чем офисные компьютеры. Таким образом, решившись купить дорогой программный продукт, предприятие должно было позаботиться и о приобретении не менее дорогого оборудования.

Со временем ситуация поменялась в корне. Стремительный прогресс технологии изготовления различных комплектующих привел к тому, что сегодня все необходимые инженерные расчеты способен выполнить самый обычный компьютер. Грань между офисным компьютером и станцией стерлась настолько, что даже ноутбук, некогда считавшийся чем-то вроде дорогой игрушки бизнесмена, с легкостью выполняет функции рабочей и графической станции.

Наравне с другими причинами эта доступность привела к тому, что сегодня среди слушателей семинаров, посвященных различным вопросам моделирования, количество "пользователей" приближается к количеству "сочувствующих", а иногда и превышает его.

## Маловато будет!

Итак, "мирный атом вошел в дом". Моделирование прочно закрепилось на промышленных предприятиях, заняв почетное место важного, современного и экономичного этапа подготовки и анализа производственных процессов. Создаются отделы, набирается инженерный состав. Некоторые предприятия официально запретили внедрение технологий, не подтвержденных соответствующими расчетами, выпустив нормативные документы, регламентирующие отношения между службами САЕ и производственными службами. Но при этом у моделирования появились и некоторые обязанности, одна из которых — выполнение всех поставленных задач в *заданные* сроки.

А вот это не так просто. Расчеты, проводимые даже на современных компьютерах, могут длиться несколько дней и даже недель. Обратимся к примерам. Длительность расчета в системе моделирования процесса литья металлов ProCAST зависит от количества элементов в расчетной модели, качества конечно-элементной сетки и заданных параметров расчета (шаг по времени, количество расчетных полей и т.п.). Предположим, что качество сетки удовлетворяет требованиям алгоритмов и все параметры заданы правильно. Тогда при стандартном наборе решателей (моделируется заполнение формы расплавом, охлаждение и прогноз пористости) длительность расчета технологического процесса для несложной отливки составит от двух до трех дней — в зависимости от количества элементов. Если добавить к стандартному набору решателей расчет напряжений или модель микроструктуры, время расчета увеличится уже до трех-четырех дней. И это при условии, что расчет идет стабильно. Если же предположить, что расчетная сетка окажется не совсем хорошего качества, велика вероятность возникновения проблем с устойчивостью и сходимостью при работе гидродинамического модуля. Это чревато непрогнозируемым увеличением времени расчета, а то и полной остановкой процесса.

Не следует также забывать, что ситуация, при которой первый же расчет дает ответ на все вопросы, встречается на производстве крайне редко — как правило, требуется серия расчетов. Зато куда как чаще случается так, что задание, полученное сегодня, было бы лучше выполнить еще вчера. Поэтому вопрос о сокращении сроков проведения расчетов стоит достаточно остро.

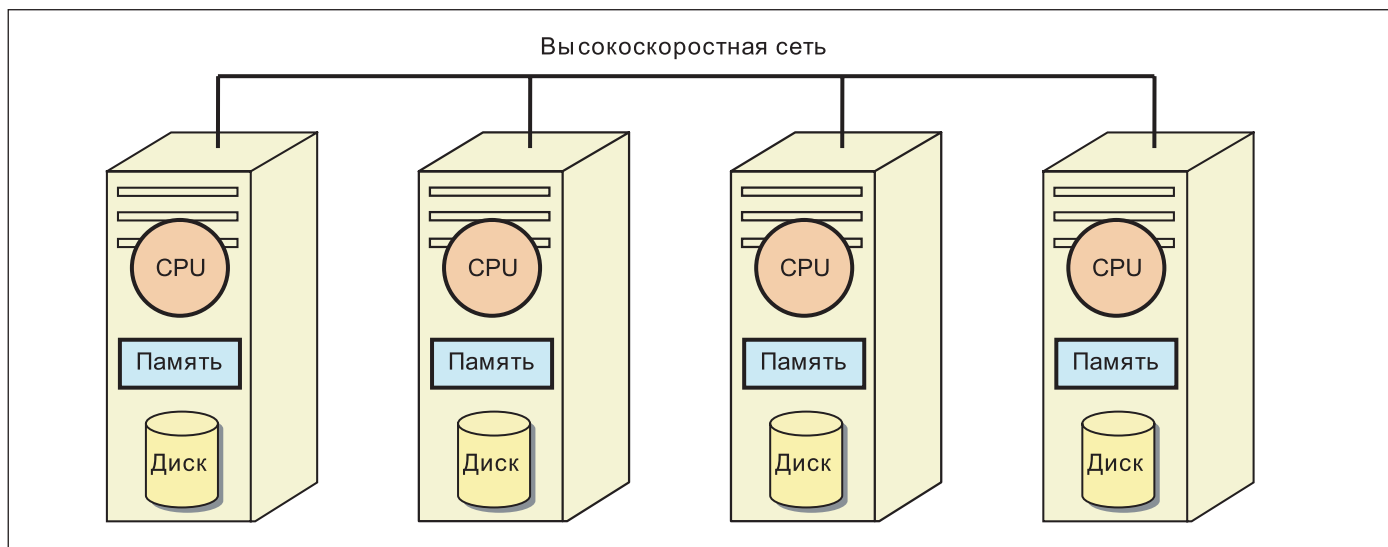


Рис. 1. Система с распределенной памятью

### А вот это мой размерчик!

Поскольку наращивать производительность персонального компьютера уже некуда, единственным выходом остается использование распределенных вычислений или параллельной обработки данных. Цель такой обработки — ускорить выполнение вычислений, распределив их на несколько процессоров или компьютеров. Проще говоря, над одним расчетом трудится не один процессор, а два, четыре и т.д. Скорость вычислений действительно возрастает очень существенно — в разы, а реализовать этот процесс можно одним из нескольких способов...

### Обработка с распределенной памятью

Обработка с распределенной памятью (Distributed Memory Processing, DMP) — это архитектура, в которой каждый процессор использует свою собственную память (рис. 1). Другими словами, это некоторое количество компьютеров, объединенных специальной сетью и работающих под операционной системой Unix/Linux. Такая система называется кластером (рис. 2), между компьютерами (узлами) которого и распределяется рассчитываемая задача. Конфигурация требует наличия высокоскоростной сети между процессорами.

Достоинствами кластерных систем являются их высокая производительность и масштабируемость. Количество компьютеров может наращиваться практически без ограничений, со временем компьютеры кластера можно заменять более современными и производительными (включая многопроцессорные). Покупка кластера безусловно оправдана при решении задач особой сложности — например, при расчете моделей, состоящих из сотен миллионов элементов.

К недостаткам следует отнести высокую стоимость кластера. Кроме того, как уже сказано, требуется создание сети, объединяющей компьютеры в единую систему. Кластер нельзя разместить, скажем, в помещении технологического бюро цеха — необходима отдельная комната с микроклиматом. Поддерживать работу кластера должен специалист.

### Симметричная многопроцессорная обработка

Другая технология, получившая название SMP (Shared Memory Processing), предполагает распределение вычислений по разным процессорам, которые используют общую память (рис. 3). Иными словами, используется один компьютер с нужным количеством процессоров, каждый из которых может иметь несколько ядер. Максимально возможное число процессоров равно 32.

Главное достоинство такой системы — невысокая стоимость. Действительно, многоядерные процессоры стоят сегодня даже в ноутбуках. Покупка многопроцессорного и многоядерного системного блока обойдется дешевле, чем приобретение соответствующего числа одноядерных машин, которые впоследствии будут организованы в кластер. Не нужно заботиться о качестве и быстродействии сети, отдельном помещении. Многоядерная станция может быть подключена к ЛВС предприятия, что значительно упрощает обмен данными. Использование системы для решения задач инженерного анализа и анализа технологического процесса существенно, в несколько



Рис. 2. Вычислительный кластер ПНЦ РАН

раз, сократит время математического расчета.

Предлагая программное обеспечение и оказывая техническую поддержку, часто приходится отвечать на вопросы о способах ускорения процесса моделирования. При этом инженер ждет не общих рекомендаций вроде "купи новый компьютер", а определенных данных и цифр. Поэтому было решено сконфигу-

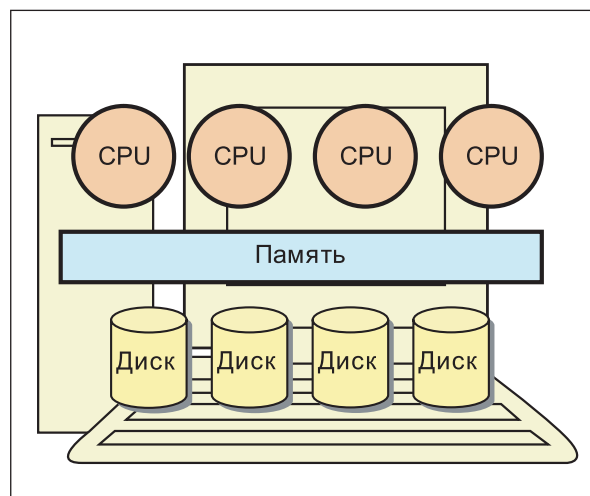


Рис. 3. Симметричная многопроцессорная обработка



Рис. 4. Расчетная многоядерная (2x4) станция для проведения расчетов в системах инженерного анализа

рировать, протестировать и предложить конечному пользователю решение недорогое, но вместе с тем максимально производительное и удобное в работе.

### Конфигурация

За изготовлением образца для тестирования мы обратились в известную московскую компанию, специализирующуюся на производстве профессиональных графических рабочих станций, высокопроизводительных кластерных решений и систем хранения данных. Совместно с ее специалистами и была разработана конфигурация компьютера, на котором планировалось провести серию расчетов в разных режимах.

Для получения максимальной производительности использовались два четырехъядерных процессора Intel Xeon, предоставляющих гибкие возможности ис-

пользования 64- и 32-разрядных приложений и операционных систем. На серверной материнской плате установлено 16 Гб оперативной памяти, что позволит одновременно запускать несколько ресурсоемких расчетов. Для работы с визуализацией результатов и графикой установили видеокарту компании NVIDIA среднего ценового диапазона. Модель Quadro FX 1500 с 256 Мб графической памяти — это более чем достаточный вариант для работы с САЕ-системами.

Несколько слов нужно сказать о жестких дисках. Жесткие диски (а тем более их количество) никак не влияют на скорость и производительность расчета, но это совсем не значит, что можно оставить их без внимания. Каждый расчет, выполненный в САЕ-системе, — это гигабайты информации. Их надо где-то хранить. Как правило, к хранению результатов

расчета предъявляются два требования: доступность и надежность. Опыт показывает, что архивирование и запись на различные оптические носители (CD, DVD) не приносит желаемых результатов. Чтобы получить доступ к данным, хранимым таким образом, надо сначала переписать содержимое диска на винчестер, а потом, возможно, и разархивировать. На это может уйти до часа времени. Кроме того, надежность оптических носителей довольно сомнительна.

В нашей расчетной станции установлено пять дисков большой емкости, объединенных в отказоустойчивый дисковый массив RAID 5. Такое решение не только позволит хранить результаты множества расчетов, но и обеспечит их сохранность. В случае выхода из строя одного из винчестеров вся информация будет сохранена, а система останется работоспособной.

Все комплектующие установлены в надежный и красивый корпус с хорошей системой вентиляции и защитой от несанкционированного доступа (рис. 4).

### Программное обеспечение

На компьютере установили лицензионную версию операционной системы Microsoft Windows XP Professional x64 Edition (версия 2003 с обновлением Service Pack 2).

Тестирование проводилось с использованием САЕ-системы высшего уровня ProCAST (рис. 5), уже более 20 лет представленной на европейском рынке. С 2005 года началось продвижение этого продукта в России и странах СНГ, так что сейчас система достаточно хорошо знакома и отечественным предприятиям, имеющим литейное производство. Программный комплекс ProCAST предназначен для проведения тепловых, гидродинамических, прочностных и других расчетов, необходимых для отладки тех-

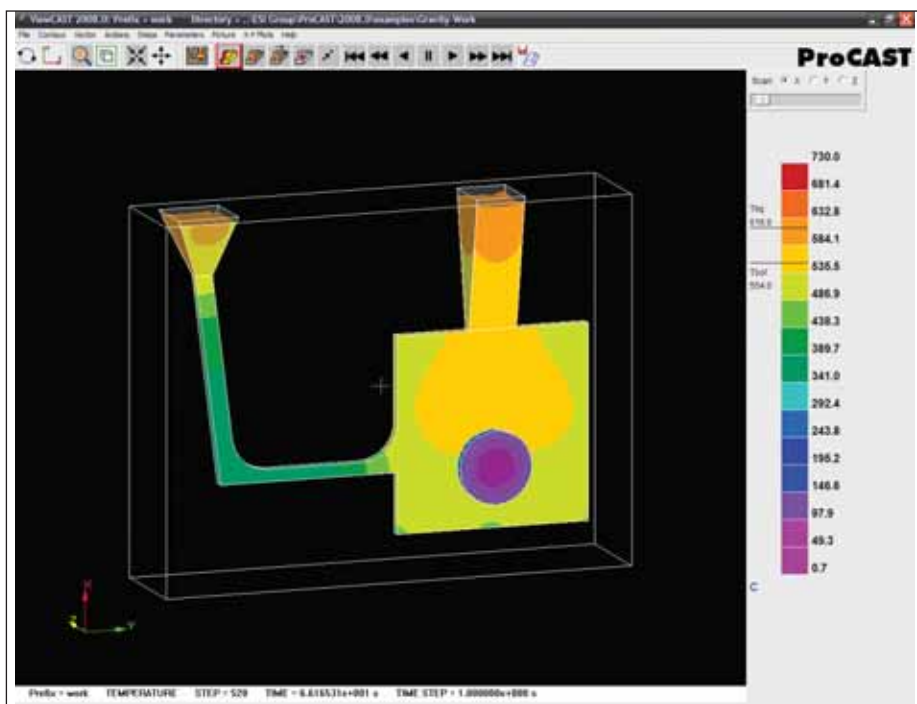


Рис. 5. Система компьютерного моделирования литейных процессов ProCAST 2007.0

Таблица 1. Параметры конечно-элементной модели

Объем	Количество элементов	Используемые решатели	
		Тепловой	Гидродинамический
Отливка	734 558	+	+
Форма	2 783 563	+	–

Таблица 2. Результаты тестирования

Количество ядер	Разрядность решателей	Время (дней, часов, минут, секунд)	Производительность	
			%	раз
8	64	15 ч, 56 м, 01 с	79,2	4,8
4	64	23 ч, 52 м, 34 с	68,8	3,2
2	64	1 д, 09 ч, 38 м, 38 с	56,1	2,3
1	64	2 д, 23 ч, 08 м, 35 с	7,1	1,08
1	32	2 д, 22 ч, 20 м, 57 с	8,1	1,09
1	32	3 д, 04 ч, 33 м, 27 с	–	–

нологии литья изделий. Основная часть модулей использует для расчета метод конечных элементов; есть модули, использующие метод конечных разностей и клеточных автоматов. Последняя на момент тестирования версия продукта (2007.0) имеет в своем составе 32- и 64-разрядные версии решателей. Кроме того, в состав ProCAST 2007.0 включена DMP-версия продукта для проведения распределенных вычислений.

### Тестирование

Для проведения тестовых расчетов использовалась модель одного из заказчиков. Расчетная область модели состояла из двух объемов — тела отливки и песчано-глинистой формы. В процессе расчета работали решатели тепловой и гидродинамической задач. Общее количество элементов расчетной области — 3 518 121, дополнительные сведения о конечно-элементной модели приведены в таблице 1.

Тестирование компьютера проводилось путем расчета одной и той же задачи с использованием разного количества ядер и решателей разной разрядности (32- и 64-бит). По окончании каждого расчета фиксировалось процессорное время (CPU time).

При оценке результатов тестирования производительность вычислялась по формуле:

$$П = \frac{CPUtime^0 - CPUtime}{CPUtime^0} \cdot 100\%$$

где  $CPUtime^0$  — процессорное время эталонного (базового) расчета. За эталон принято процессорное время

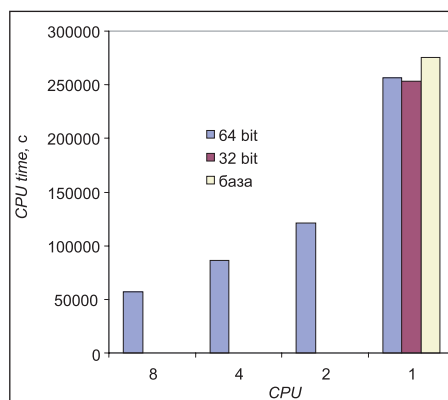


Рис. 6. Результаты тестирования

расчета той же самой задачи на ничем не выдающемся, но вполне современном компьютере (двухъядерный ЦПУ 2 ГГц, 2 Гб ОЗУ, Windows XP Pro). Чтобы рассчитать, во сколько раз время расчета тестируемой задачи оказалось меньше времени эталонного расчета, надо разделить время базового расчета на время тестового расчета.

Результаты тестирования представлены в таблице 2 и на рис. 6. Последняя строка таблицы (выделена шрифтом) относится к эталонному расчету.

Коротко подытожим. Наблюдается вполне прогнозируемый рост скорости расчета в зависимости от количества задействованных ядер. Даже аналогичный базовому расчет (одно ядро, 32-разрядные решатели) длится на 6 часов меньше, что, вероятно, связано и с удачной конфигурацией компьютера, и с использованием 64-разрядной ОС. Подключение к расчету еще одного ядра дает резкий, в 2,3 раза, скачок производительности по отношению к эталону. Конечно, такая динамика не могла сохраняться

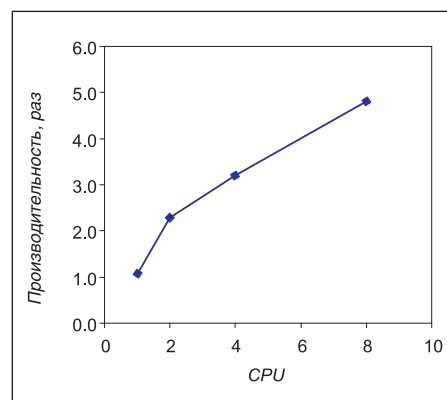


Рис. 7. Характер роста скорости расчета в зависимости от количества задействованных ядер

при увеличении количества задействованных ядер, но полученный результат тем не менее впечатлил. Начиная с двух и до восьми ядер включительно рост производительности происходит по линейному закону (рис. 7).

Расчет, прежде занимавший три дня, может быть выполнен за 16 часов, то есть запустив его вечером перед уходом с работы, на следующий день вы уже просматриваете результаты.

Сама расчетная станция тоже получила на удивление удачной. Это мощный и относительно недорогой компьютер с большим объемом дискового пространства для хранения результатов.

В завершение скажем, что экспериментальный экземпляр трудится в отделе САПР и инженерного анализа ЗАО "СиСофт".

**Алексей Монастырский**  
CSoft  
Тел.: (495) 913-2222  
E-mail: avmon@cssoft.ru