

# Использование суперкомпьютеров в машиностроении. Опыт НПО «Сатурн»





### 3 Использование суперкомпьютеров в машиностроении. Опыт НПО «Сатурн»

ОАО «Научно-производственное объединение “Сатурн”» — ведущая двигателестроительная компания России, специализирующаяся на разработке и производстве газотурбинных двигателей для военной и гражданской авиации, судов военно-морского флота, энергогенерирующих и газоперекачивающих установок. В соответствии с указом Президента РФ от 16 апреля 2008 г. ОАО «НПО “Сатурн”» входит в состав «Объединенной двигателестроительной корпорации» — дочерней компании ОАО «ОПК “ОБОРОНПРОМ”» по управлению двигателестроительными активами. Компания реализует все этапы жизненного цикла изделий — от проектирования и маркетинговых исследований до серийного производства и сервисного обслуживания. С 2001 г. НПО «Сатурн» выполнены ОКР с проведением государственных и межведомственных испытаний по 14 газотурбинным двигателям. В компании накоплен значительный опыт использования суперкомпьютерных вычислений, уникальный для промышленности России.

#### АВТОР:

Ю.А. Зеленков — директор по информационным технологиям, НПО «Сатурн»,  
*e-mail: yuri.zelenkov@npo-saturn.ru*

#### Суперкомпьютеры в проектировании авиационных двигателей

Авиационный газотурбинный двигатель (ГТД) является одним из самых сложных механических изделий, производимых человеком. Частота вращения ротора двигателя пятого поколения достигает нескольких десятков тысяч оборотов в минуту при температуре газа в камере сгорания, приближающейся к 2000 градусов Кельвина. Поэтому для создания нового двигателя требуется несколько тысяч человеко-лет, включающих не только разработку конструкции, но и создание новых материалов, освоение способов их обработки, испытания и т.д. Косвенно интеллектуальный вклад в создание любого продукта можно оценить через стоимость 1 кг изделия, поставляемого заказчику:

- 1 кг легкового автомобиля стоит примерно 25 долларов;
- 1 кг суперкомпьютера IBM Roadrunner (1 в списке Top 500 от 6/2010) — 530 долларов;
- 1 кг истребителя — 1 тысяча долларов;
- 1 кг авиационного двигателя — 3 – 5 тысяч долларов.

В 70–80 годы прошлого века цикл проектирования нового авиационного ГТД составлял 12–15 лет (в 2–3 раза больше, чем цикл проектирования самолета), из которых собственно определение конструкции занимало не более чем 2 года, все остальное время тратилось на экспериментальную доводку параметров. После изготовления первого опытного экземпляра проводились его испытания, проверялись технические характеристики и в результате уточнялись параметры конструкции. Далее изготавливался следующий экземпляр, испытывался, вновь уточнялись параметры конструкции и так далее, до получения приемлемых характеристик. Например, при разработке двигателя АЛ-31Ф (устанавливается на истребители Су-27) было построено и разрушено при испытаниях 50 полноразмерных опытных экземпляров, не говоря уже о различных испытаниях отдельных узлов и компонент. Затраты на создание этого двигателя оцениваются в 3,5 млрд долларов.

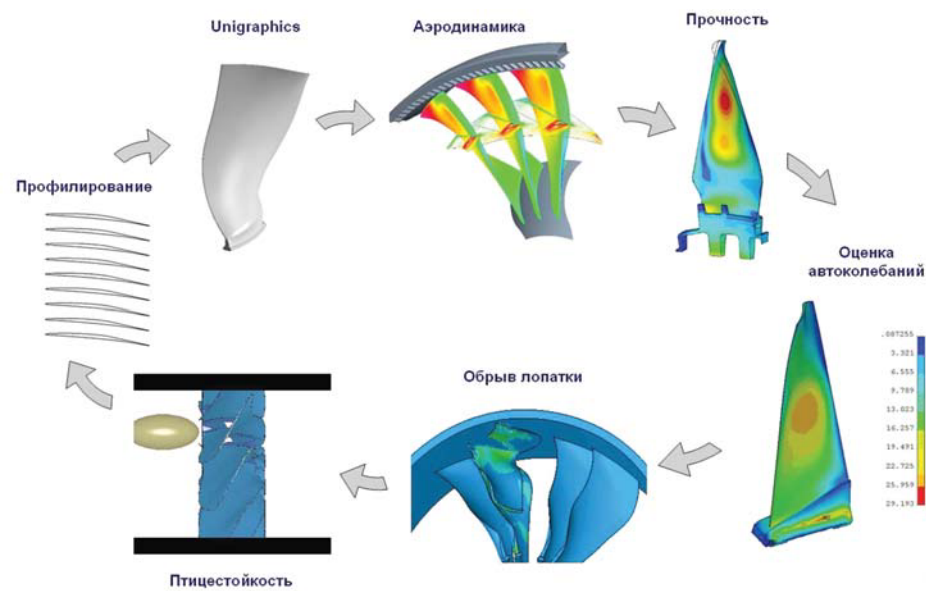
В 2000-е годы перед НПО «Сатурн» встала задача уменьшить продолжительность разработки нового двигателя не менее чем в 2 раза, а соответствующие затраты — не менее чем в 4–5 раз. Эти параметры соответствуют уровню ведущих западных компаний. Достижение этой цели было возможно только через создание виртуальной среды проектирования, которая включает следующие компоненты:

- Цифровое проектирование на основе 3-мерной мастер-модели, параллельная разработка конструкции деталей и методов их изготовления.
- Аэродинамические, прочностные, тепловые и акустические расчеты, многокри-

териальная оптимизация.

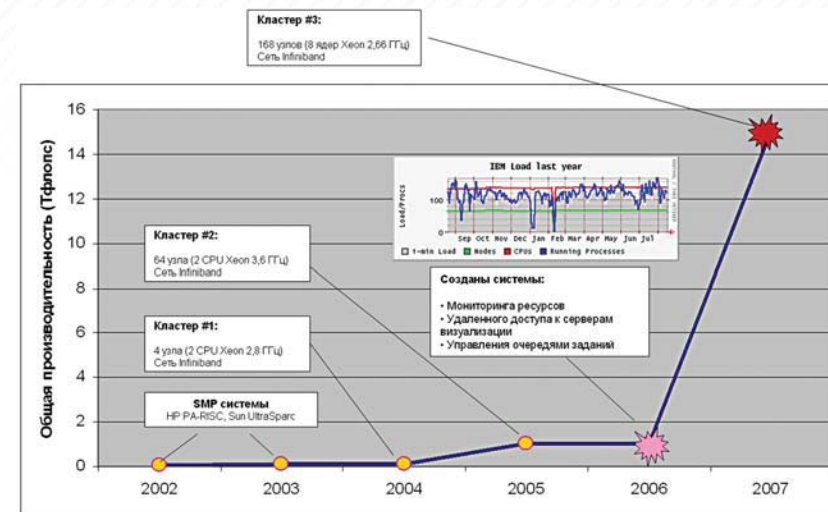
- Сбор максимального количества данных при испытаниях, их обработка, визуализация и стыковка с расчетными данными.

На рис. 1 в качестве примера представлен реализованный на НПО «Сатурн» цикл проектирования рабочей лопатки вентилятора ГТД. Данный итерационный процесс включает несколько последовательных этапов, которые выполняются с использованием различного программного обеспечения на вычислительном кластере.



**Рис. 1.**  
Цикл проектирования рабочей лопатки вентилятора ГТД

В результате освоения подобного подхода были сформулированы требования к вычислительным мощностям. Главной целью стало расширение пропускной способности систем, чтобы обеспечить как можно большее количество одновременно запускаемых сравнительно небольших вычислительных задач. График наращивания вычислительных мощностей НПО «Сатурн» представлен на рис. 2.



**Рис. 2.**  
Наращивание вычислительных мощностей НПО «Сатурн»

Первый промышленный кластер, пиковой производительностью порядка 1 Тфлопс, был запущен на «Сатурне» в 2005 г. Это увеличило доступные вычислительные мощности в 50 раз. При этом ряд задач пришлось решать, возможно, впервые в России:

- Был автоматизирован процесс подготовки и запуска расчетной задачи (построение сетки, определение граничных и начальных условий, настройка пре- и пост- процессоров — так называемый scientific workflow). В результате решение типовых вычислительных задач было передано из специального подразделения по расчетам в конструкторские отделы, для чего были разработаны стандартные формы, скрывающие всю сложность подготовки и запуска задач от неспециалистов по вычислениям.
- Была развернута параллельная файловая система, обеспечивающая одновременный ввод-вывод с приемлемой производительностью для сотен одновременно исполняемых процессов.
- Была создана система удаленного доступа к ресурсам кластера для удаленных пользователей из инженерных центров в Москве и Перми.

Все это привело к тому, что в 2006 г. средняя загрузка кластера превысила 90%. Поэтому в 2008 г. на НПО «Сатурн» была запущена новая система



с пиковой производительностью 14,3 Тфлопс (рис.3), что увеличило доступные мощности еще в 15 раз. Данный суперкомпьютер получил имя АЛ-100 в честь 100-летия академика Архипа Михайловича Люльки, выдающегося ученого и конструктора авиационных двигателей, основателя КБ «Люлька-Сатурн», в начале этого века вошедшего в состав ОАО «НПО «Сатурн»».

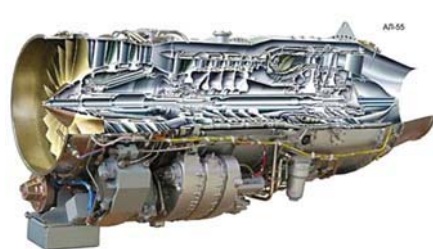


**Рис. 3.**  
Суперкомпьютерный комплекс НПО «Сатурн»

На рис. 4 представлены авиационные двигатели SaM146 (предназначен для регионального самолета Sukhoi Superjet -100) и АЛ-55И (создается по контракту с индийской фирмой HAL для учебно-тренировочного самолета НЛТ-36 индийских ВВС), которые были полностью разработаны в среде виртуального проектирования и на момент написания статьи находились в стадии сертификационных испытаний.



SaM146



АЛ-55И

**Рис. 4.**  
Авиационные двигатели, разработанные в среде виртуального проектирования

### Проблемы использования суперкомпьютерных вычислений в машиностроении России

Суперкомпьютеры реально нужны тем промышленным компаниям, которые ведут разработку новых продуктов. Требования современного рынка таковы, что создание новых продуктов, особенно в сфере высоких технологий, невозможно без

суперкомпьютерных вычислений, которые фактически становятся инфраструктурной технологией. При этом большинство задач машиностроения может быть решено на системах производительностью 50 — 100 Тфлопс. Например, по оценке специалистов НПО «Сатурн», для расчета авиационного ГТД целиком на нестационарном режиме (при изменяющейся частоте вращения ротора) требуется система, имеющая 3500 процессорных ядер (производительность порядка 80 Тфлопс) и память 7 ТБ.

Однако, несмотря на наличие соответствующих вычислительных мощностей, задача расчета двигателя на нестационарном режиме не может быть решена в России. Это вызвано проблемой, без разрешения которой разрыв между российским и западным машиностроением станет непреодолимым.

Западные компании (NASA, Boeing, General Electric, Snecma) используют собственные методы и системы инженерного анализа. Данные системы разрабатываются в результате целевого сотрудничества с научно-исследовательскими организациями в США и Западной Европе и опираются на передовые достижения в фундаментальных научных исследованиях и в программировании. Российские промышленные компании вынуждены пользоваться коммерческим программным обеспечением зарубежного производства, которое отстает по функциональности от «внутреннего» кода вышеупомянутых компаний на 5—10 лет, поскольку собственной индустрии разработки инженерного ПО в России нет. Данное коммерческое ПО имеет ограничения как по спектру используемых методов решения различных задач, так и по возможности эффективного распараллеливания на большое число процессоров. В результате российские инженеры могут проводить расчеты только отдельных узлов ГТД на стационарных режимах (при постоянной частоте вращения ротора), см., например, рис.1.

При этом соотношение затрат на приобретение аппаратного и прикладного (расчетного) программного обеспечения составляет примерно 1:5, инвестиции только НПО «Сатурн» в приобретение ПО для инженерных расчетов у западных производителей должны составить более 10 млн долл.

Из всего сказанного следует вывод, что для того, чтобы суперкомпьютерные вычисления стали действительно инфраструктурой, на которой будет базироваться машиностроение, разрабатывающее и производящее новые изделия, основной акцент необходимо сделать не на строительстве новых вычислительных мощностей, а на разработке собственного программного обеспечения для инженерных расчетов. Для этого необходимы согласованные усилия научно-исследовательских институтов и промышленных компаний под патронажем государства.