

## СУПЕРЭВМ В СОСТАВЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ВИРТУАЛЬНАЯ АЭС С ВВЭР»

Т.Н. Корохов

ОАО «ГИ «ВНИПИЭТ», г. Санкт-Петербург

E-mail: [timofey@nio.spbaer.ru](mailto:timofey@nio.spbaer.ru)

Основной целью деятельности научно-исследовательского и научно-конструкторского отделов ОАО «ГИ «ВНИПИЭТ» является обеспечение высокого научно-технического уровня обоснования проектной продукции, а также обеспечение ее соответствия требованиям нормативных документов и требованиям Заказчика.

Обоснование безопасности и конструкторских решений требует проведения большого числа исследований с применением современных расчетных кодов (коды улучшенной оценки, трехмерные коды, нейтронно-физические коды), что в свою очередь требует создания и использования высокопроизводительных вычислительных центров (ВЦ).

### Создание виртуальной АЭС

Программно-технический комплекс «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР» (Рисунок 1) условно можно разделить на три составляющие:

- программная часть – алгоритмы и программные комплексы моделирования;
- вычислительный комплекс – средства моделирования;
- виртуальный блочный пульт управления (ВБПУ)– средства визуализации.

Программная часть состоит из кодов улучшенной оценки КОРСАР, РАТЕГ, среды передачи данных SMM, автоматике, пользовательского графического интерфейса, баз данных и пр. и служит для моделирования физических процессов, происходящих на АЭС, мониторинга и управления. На момент создания аппаратно-программного комплекса виртуальной АЭС с ВВЭР программная составляющая в большей степени уже сложилась и находилась на стадии совершенствования. Разрабатывались и отлаживались модели систем АЭС.

Основной функцией виртуального блочного пульта управления является мониторинг и управление АЭС, проведение этапов валидации и верификации человеко-машинного интерфейса пунктов управления.

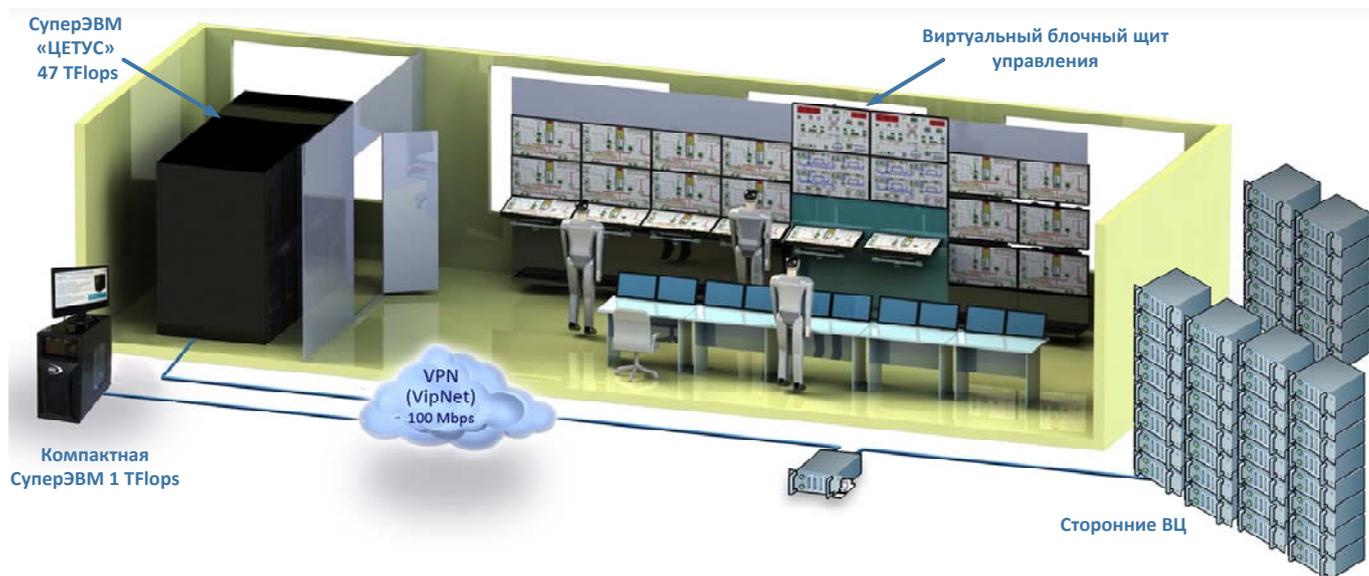


Рисунок 1 - Виртуальный блочный пульт управления

Вычислительный комплекс должен обеспечивать моделирование процессов АЭС в режиме реального времени либо в ускоренном режиме.

Таким образом, выбор и конфигурирование высокопроизводительной вычислительной системы (ВС) стали одними из основных этапов работы над аппаратно-программным комплексом. Работе в части создания СуперЭВМ посвящен данный доклад.

### **Требования к высокопроизводительной вычислительной системе**

Вышеперечисленные программные комплексы, задействованные при моделировании АЭС, определили основные требования к необходимой вычислительной системе:

- архитектура x86\_64 – программные комплексы написаны под данную архитектуру;
- межпроцессорный интерконнект FDR – программные комплексы распараллелены с помощью MPI;
- параллельная файловая система Lustre – позволяет значительно повысить производительность файловой системы при интенсивной работе программных комплексов с разрезами;
- архивная подсистема – позволит сохранять результаты для долговременного хранения;
- мониторинг аппаратно-программных компонент – снизит нагрузку на обслуживающий персонал;
- простота синхронизации образов вычислительных узлов – снизит нагрузку на обслуживающий персонал.

Кроме того, существовал определенный ряд ограничений, налагаемых на вычислительный комплекс:

- минимизация занимаемых площадей;
- минимизация шума;
- презентабельность внешнего вида всего аппаратно-программного комплекса

### **Реализация вычислительной системы с заданными требованиями**

Наиболее подходящим под данные требования и ограничения стал аппаратно-программный комплекс разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» АПК-5I. Однако в базовой конфигурации такой комплекс не мог в полной мере решить наши задачи. Для соответствия вычислительной системы нашим нуждам потребовалась существенная переработка структуры стандартной АПК-5.

Вычислительная система на базе стандартной АПК-5I была масштабирована до восьми вычислительных комплектов с соответствующим увеличением коммутирующего оборудования, добавлением инструментальных серверов, а так же расширением возможностей комплекса за счет многофункциональной подсистемы хранения данных. Кроме этого, в связи с небольшим объемом серверного зала была переработана система охлаждения.

Масштабирование коммутирующего оборудования проводилось по трем подсистемам:

- сеть межпроцессорных обменов на основе Infiniband – характеризуется предельно низкой латентностью наряду с высокой пропускной способностью, необходима для обмена данными между серверами. Увеличение вычислительных комплектов АПК-5I потребовало масштабирования количества коммутаторов, объединенных по топологии Fat Tree;

- сервисная сеть на основе Gigabit Ethernet – посредством этой сети выполняются управление вычислительным комплексом. Увеличение вычислительных комплектов АПК-5I потребовало масштабирования количества коммутаторов;
- сеть мониторинга состояния серверов на основе Fast Ethernet – посредством этой сети организуется контроль и диагностика аппаратно-программных компонентов в соответствии с IPMI 2.0. Увеличение вычислительных комплектов АПК-5I, добавление дисковых массивов и коммутаторов интерконнекта потребовало масштабирования количества коммутаторов мониторинга;
- сеть удаленного доступа к терминалу на базе KVM не потребовала изменений. Добавленная многофункциональная подсистема хранения данных делится на три отказоустойчивых производительных файловых системы:
  - сетевая файловая система на базе NFS – характеризуется простотой администрирования и восстановления, служит для хранения сервисных данных, не используемых для счета задач. Транспортный уровень опирается на сеть Gigabit Ethernet. Подсистема основана на отказоустойчивом дисковом массиве и наборе файловых серверов;
  - параллельная файловая система на базе Lustre - характеризуется низкой латентностью и высокой производительностью, служит для оперативного доступа к данным, необходимым в процессе счета задач. Транспортный уровень опирается на сеть Infiniband. Подсистема основана на отказоустойчивых дисковых массивах и файловых серверах;
  - архивная файловая система на базе NFS – характеризуется простотой, служит для долговременного хранения данных на менее производительных, но более объемных накопителях. Транспортный уровень опирается на сеть Gigabit Ethernet. Подсистема основана на файловых серверах с функциями дисковых массивов большой емкости.

Результатом модернизации конфигурации стандартной АПК-5I стала ВС, получившая название «CETUS». Упрощенная структурная схема ВС представлена на рисунке 2.

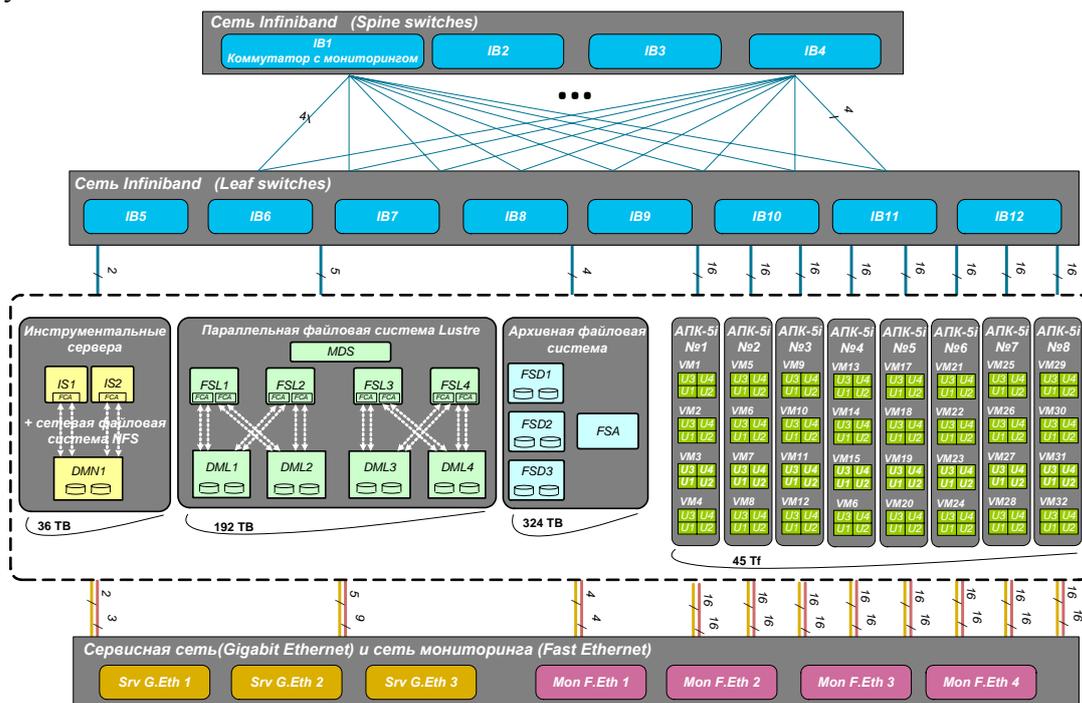


Рисунок 2 - Структурная схема вычислительной системы

Инсталляция вычислительной системы в том же зале, где располагается ВБПУ, потребовала решений по снижению шума, а в связи с большим весом (около 4000 кг) - заливки железобетонной разгрузочной плиты (вычислительный комплекс находится на четвертом этаже офисного здания). Для шумоизоляции серверная часть была отделена стеклянной перегородкой, значительно снижающей высокочастотное шумовое загрязнение виртуального пульта до значений, не превышающих допустимые санитарно-гигиенические нормы.

### **Заключение**

В ноябре 2012 года в научном подразделении ОАО «ГИ «ВНИПИЭТ» введена в эксплуатацию СуперЭВМ (Рисунок 3) в составе аппаратно-программного комплекса «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР».

Суперкомпьютер создан на основе последних аппаратных решений. Программные средства (системное и прикладное ПО) разработки ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ» позволяют достичь максимальной производительности на данной аппаратной конфигурации. Производительность на тесте Linpack составила 38 TFlops (81% от пиковой теоретической), что соответствовало 24 месту в списке TOP-50 (17 редакция 18 сентября 2012 г.) самых мощных суперкомпьютеров СНГ.

Пройден длительный этап адаптации коммерческого программного обеспечения. Сложность инсталляции коммерческого ПО (Ansys, CD-adapco, Abaqus и пр.) заключается в том, что оно универсально. Для максимальной эффективности необходимо было интегрировать ПО с аппаратно-системной частью на достаточно низком уровне, что является весьма не тривиальной задачей. Но силами высококвалифицированных специалистов проблемы и узкие места были устранены.

В настоящее время аппаратно-программный комплекс находится на стадии активной эксплуатации, СуперЭВМ применяется для выполнения плановых производственных задач. В дальнейшем планируется развитие вычислительного центра в соответствии с потребностями ОАО «ГИ «ВНИПИЭТ».



Рисунок 3 – Внешний вид вычислительной системы «CETUS»