



АТОМПРОЕКТ

Предприятие
Госкорпорации «Росатом»

Развитие вычислительного центра АО "АТОМПРОЕКТ". Разработка и внедрение СуперЭВМ SETUS II

Корохов Т.Н.
Крекунов О.Б.

Санкт-Петербург
2015

Введение

В конце 2014 года, в рамках запланированного развития Вычислительного Центра АО «АТОМПРОЕКТ», был введен в эксплуатацию второй суперкомпьютер – CETUS II.

CETUS II – комплексная платформа для выполнения высокопроизводительных вычислений, проведения численных экспериментов, моделирования процессов в системах и оборудовании АЭС проектного блока АО «АТОМПРОЕКТ».



Превосходства решения с аналогичными продуктами на рынке

- 1) Применение высокоплотного жидкостного охлаждения вычислительного поля отечественной разработки позволило повысить:
 - энергоэффективность на 20%,
 - уменьшить размеры установки в два раза,
 - значительно повысить отказоустойчивость и стабильность работы системы.
- 2) Использование на вычислительном поле бездисковой операционной системы отечественной разработки.
- 3) Внедрение высокоскоростной параллельной файловой системы, тщательно доработанного системного программного обеспечения и продуманной конфигурации в части межпроцессорного обмена.



Основные характеристики

Позиция	Характеристики
Состав, занимаемое пространство	<ul style="list-style-type: none"> Две стандартные стойки 48" – вычислительное и коммуникационное оборудование Одна стойка - узел регулирования и гидромодуль
Система охлаждения	Жидкостное охлаждение
Вычислительное поле	<ul style="list-style-type: none"> 140 узлов 280 процессоров Intel Xeon E5-2690 Sandy Bridge-EP 2240 ядер
Производительность	2240*8*2900 = 51,9 Tflops
Общий объем оперативной памяти	140 * 64 ГБ = 8960 ГБ (DDR3 ECC UDIMM 1333)
Инструментальный, графический сервер	Intel Xeon E5-2690 SandyBridge-EP, 256 ГБ DDR3 ECCUDIMM 1333
Файловые сервера	<ul style="list-style-type: none"> Сервер NFS - 28 ТБ, MDS - 1 шт Сервер Lustre – 2 шт (объем дискового пространства 66 ТБ) BackUp сервер - 1 шт (объем дискового пространства 76 ТБ)
Коммутационная среда	<ul style="list-style-type: none"> Сеть передачи данных - Fat Tree, FDR InfiniBand (56 Гбит/с, Mellanox) Управляющая сеть - Gigabit Ethernet Сеть мониторинга - Gigabit Ethernet
Системное ПО	<ul style="list-style-type: none"> Малошумная ОС - Scientific Linux Release 6.2 (Carbon) ОЗУ резидентная ОС вычислительного поля Реализации MPI и OpenMP Система управления заданиями - JAM WEB мониторинг и управление

Результаты

Эффективная суперпозиция отечественных инженерных и научных решений позволила вычислительному комплексу CETUS II работать с производительностью 51,9 Tflops по тесту Linpack, что составляет 90% от максимальной расчетной вычислительной мощности.

Стандартная производительность систем подобного класса – не более 80%.



В результате внедрения CETUS II получены следующие преимущества

- ☑ Сокращение сроков проектирования.
- ☑ Сокращение сроков сооружения и стоимости проекта через снятие излишней консервативности, благодаря детальному математическому моделированию и детальному расчетному обоснованию проектных модернизаций.
- ☑ Постепенный отказ от дорогостоящих экспериментов.
- ☑ Конкурентоспособность на мировом рынке.

SETUS II в производственном процессе АО «АТОМПРОЕКТ»

Задачи

SETUS II постоянно применяется в основной производственной деятельности АО «Атомпроект» в части обоснования проектных решений и безопасности АЭС.

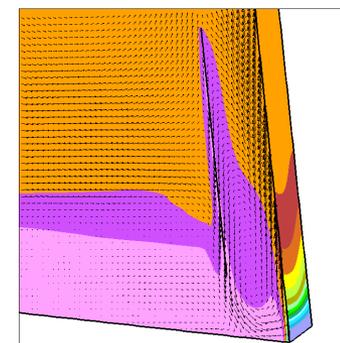
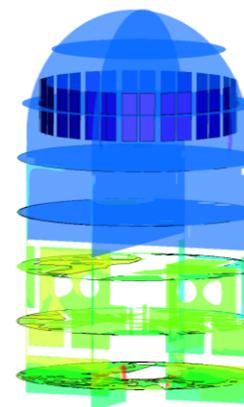
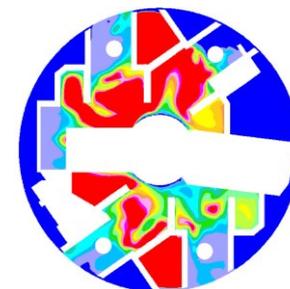
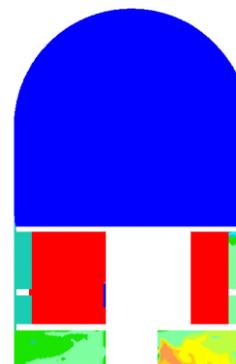
- Прочностные расчеты
- Гидро-газодинамические расчеты
- Нейтронно-физические расчеты
- Инновационные разработки

Программные средства

- ЛОГОС, КОРСАР, КОРТЕС, ПГС-ТК
- TDMCC
- Ansys
- CD-adapco
- Abaqus
- STAR-CCM+ и пр.

Применение CFD-кодов для обоснования контейментных систем

<p>Обоснование проектных решений по вент системам реакторного отделения</p>	<p>Полная трехмерная модель контеймента с учетом тепловыделения оборудования, расположения вентиляционных решеток и мощности вентиляционных систем согласно проекту. В результате расчетов разработаны требования к системе УРГ. Размер задачи ~3500000 ячеек Длительность 1 расчета 3 месяца на 320 ядрах</p>
<p>Поддержка обоснования СПОТ 30</p>	<p>Вариантные расчеты эффективности работы теплообменников-конденсаторов при тяжелых авариях. Размеры задач 3000000 – 6000000 ячеек Длительность 1 расчета 3-6 месяцев на 320 ядрах</p>
<p>Анализ распространения водорода в поддержку обоснования водородной взрыво-безопасности</p>	<p>Вариантные расчеты распространения водорода внутри защитной оболочки при тяжелых авариях. Размер задач 500000 - 700000 ячеек Длительность 1 расчета 1 месяц на 160 ядрах</p>

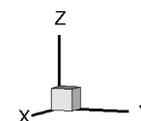
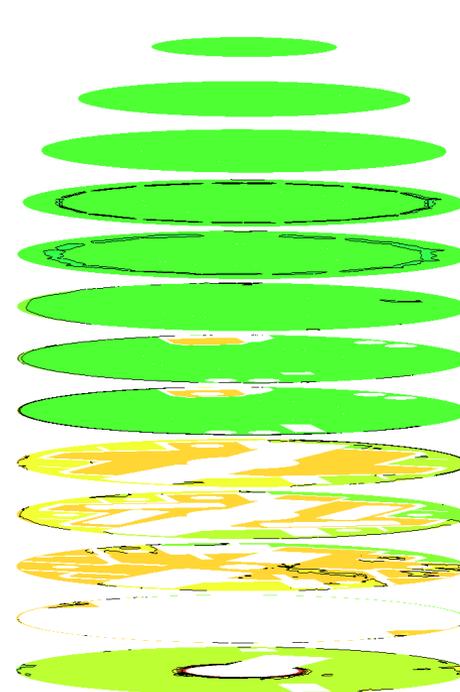
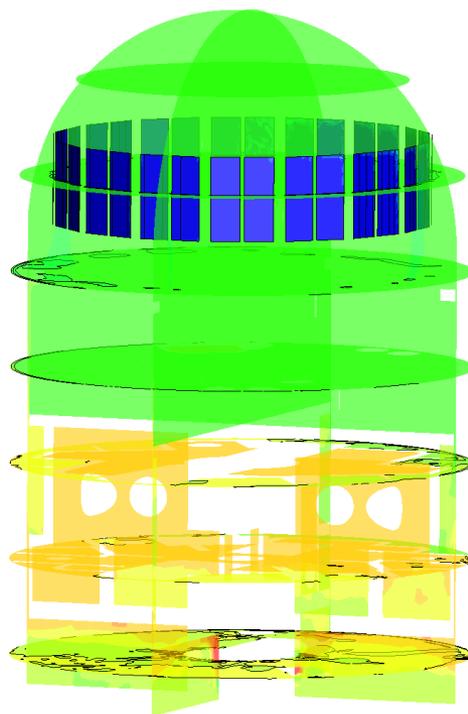
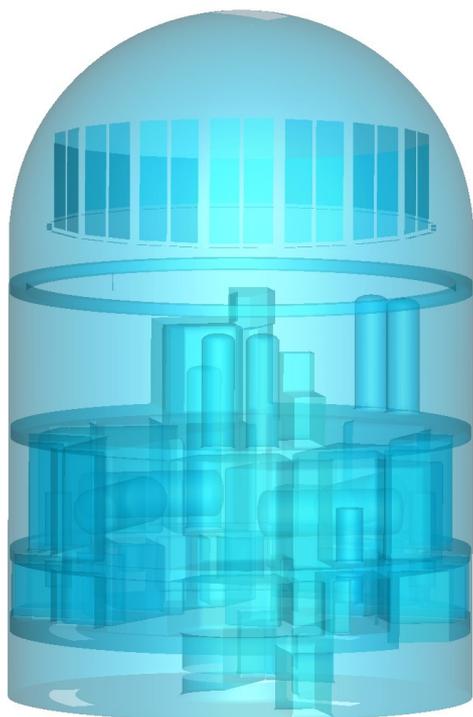


STAR-CD, ПГС-ТК

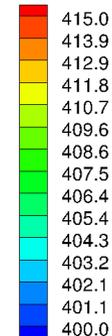
Обоснование СПОТ 30 АЭС-2006

(Моделирование процессов тепломассопереноса в парогазовой среде натурального контейнента)

STAR-CD, ПГС-ТК



Temperature



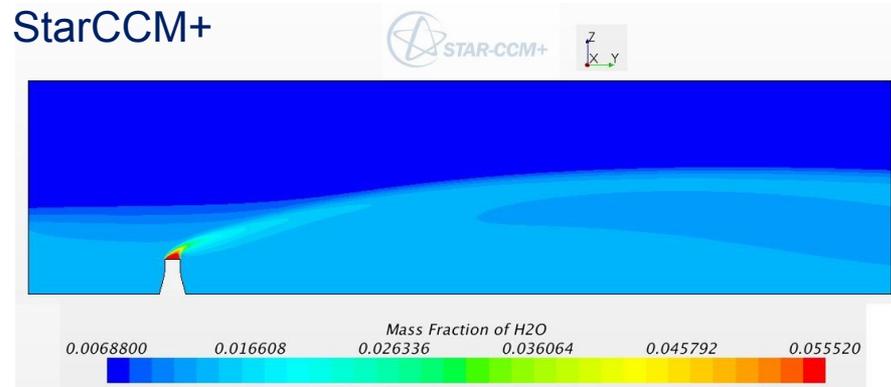
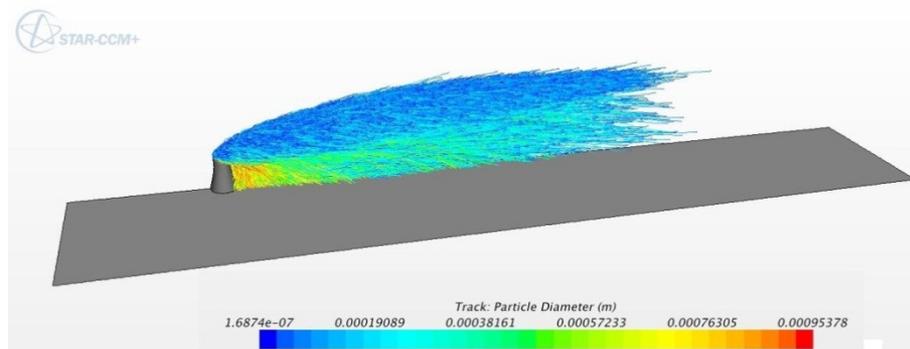
Моделирование процессов тепломассопереноса внутри защитной оболочки на внекорпусной стадии тяжелой аварии (размер сетки - 4.1 млн. ячеек)

Расчеты башенных градирен CFD-кодами

Расчет распространения капель уноса из градирни в лагранжевом приближении двухфазных течений с использованием RANS и LES турбулентных моделей.

10 миллионов ячеек.

Длительность расчета около 24 часов на 100 ядрах.

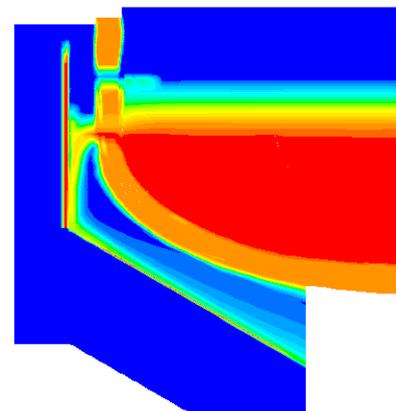
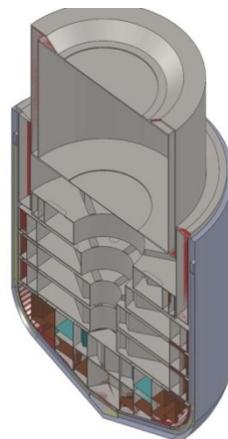
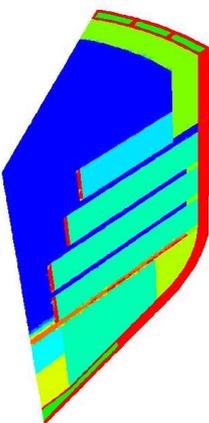
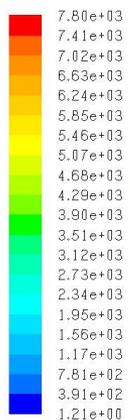
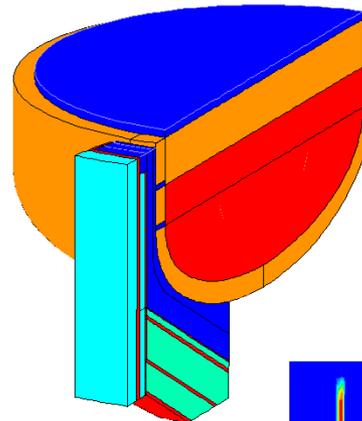
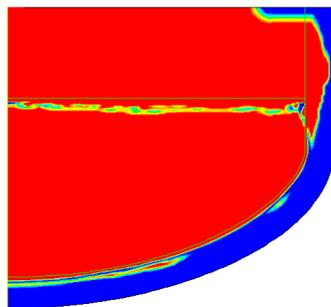
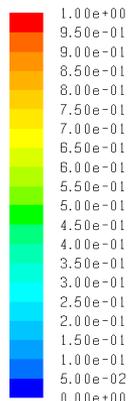


Моделирование запроектных аварий

Удержание расплава в корпусе реактора

Выход кориума за пределы реактора
(анализ теплового воздействия кориума на бетонную защиту)

Моделирование физико-химических процессов в устройстве локализации расплава (УЛР)



ANSYS Fluent

Моделирование системы пассивного отвода тепла от бассейна выдержки АЭС БН-1200 (обоснование отсутствия разверки температуры воды по глубине пучка ТВС)

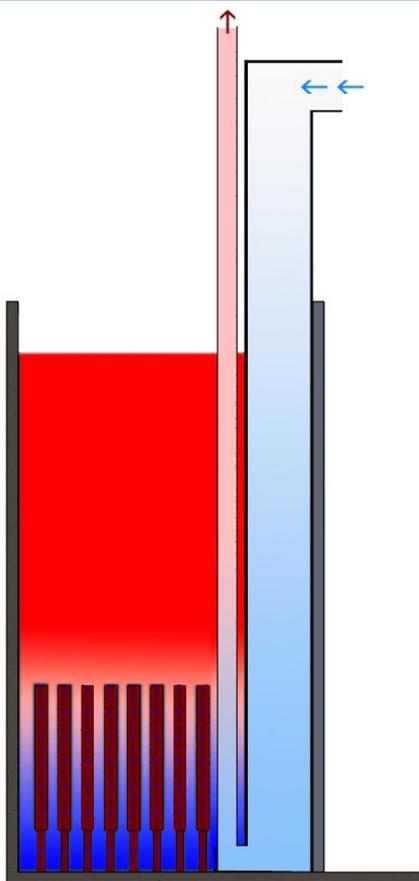
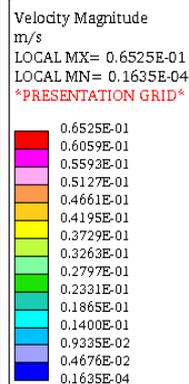
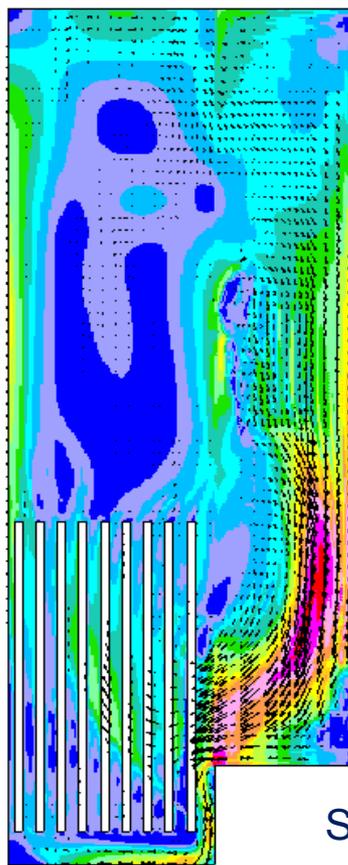
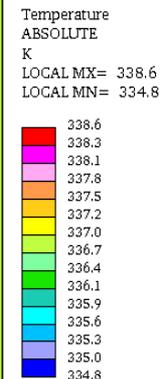
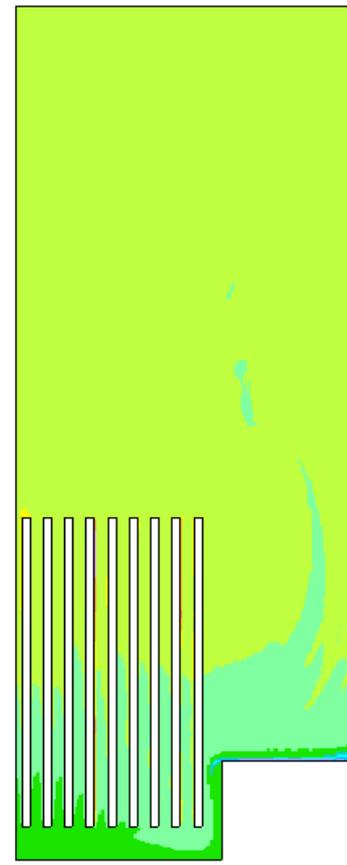


Схема СПОТ БВ



STAR-CD



Сопряженный расчет перемешивания воды в БВ и течения воздуха внутри труб теплообменника

Обоснование ядерной и радиационной безопасности

Задачи расчета уровней облучения в различных помещениях УЛР во время работы реактора.

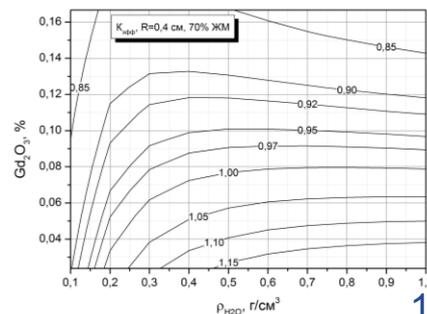
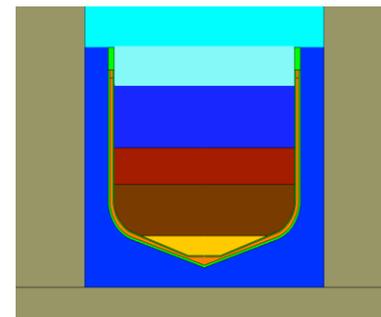
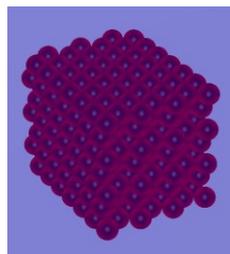
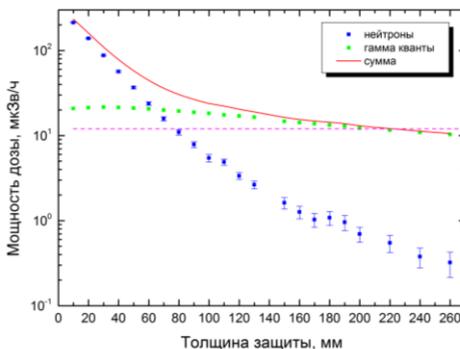
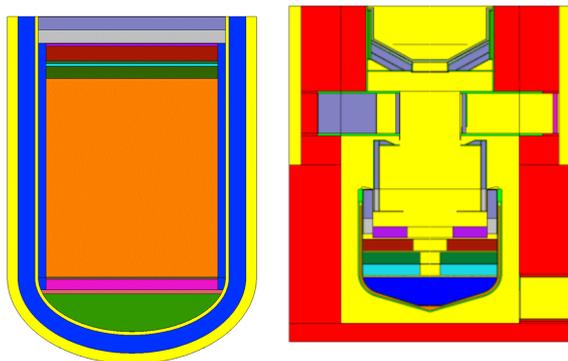
Длительность расчета на 240 ядрах 50-100 часов

Решение задачи биологической защиты

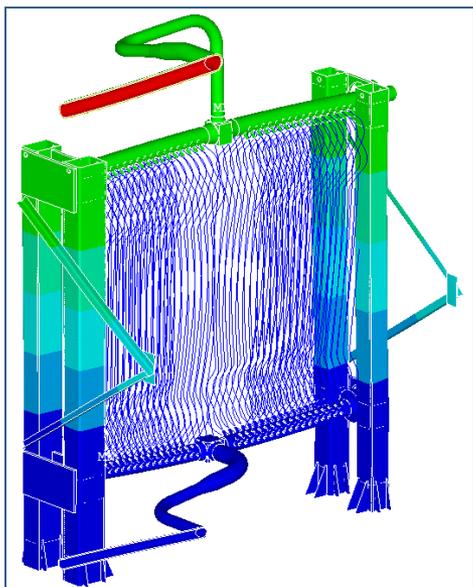
Длительность расчета на 240 ядрах 50-100 часов

Задачи расчета подкритичности на всех стадиях развития тяжелой аварии. Задача требует проведения большого числа расчетов ~ 30

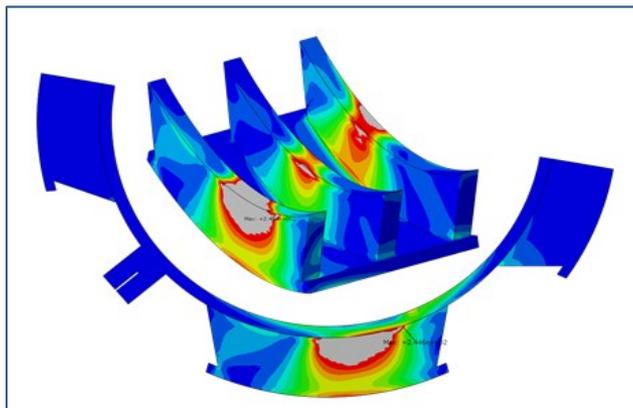
Длительность одного расчета на 240 ядрах 10 минут



Прочностные расчеты



Определение термонапряженного состояния теплообменника СПОТ ПГ. Размерность задачи составляет порядка 10 000 000 узлов.
Длительность расчета около 10 часов на 48 ядрах



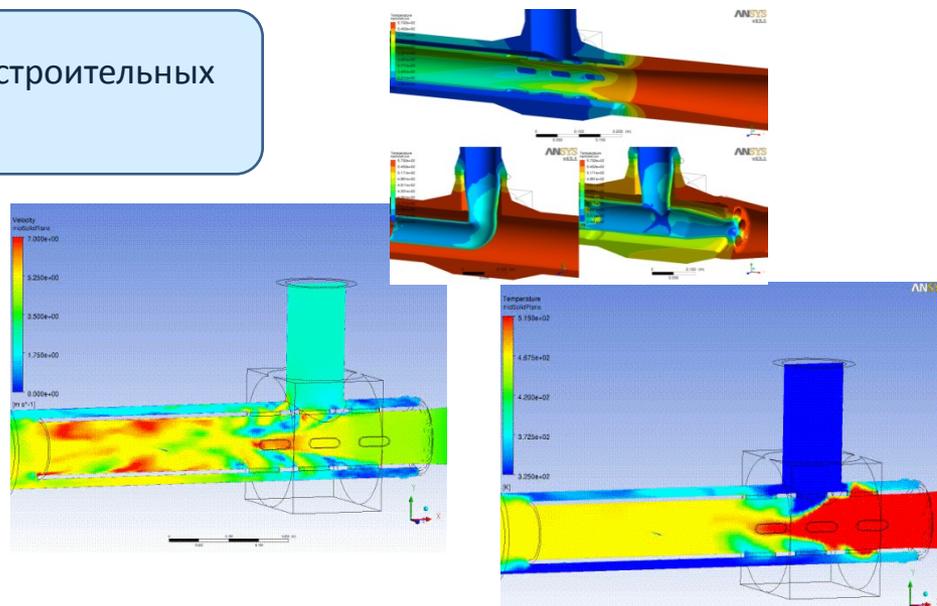
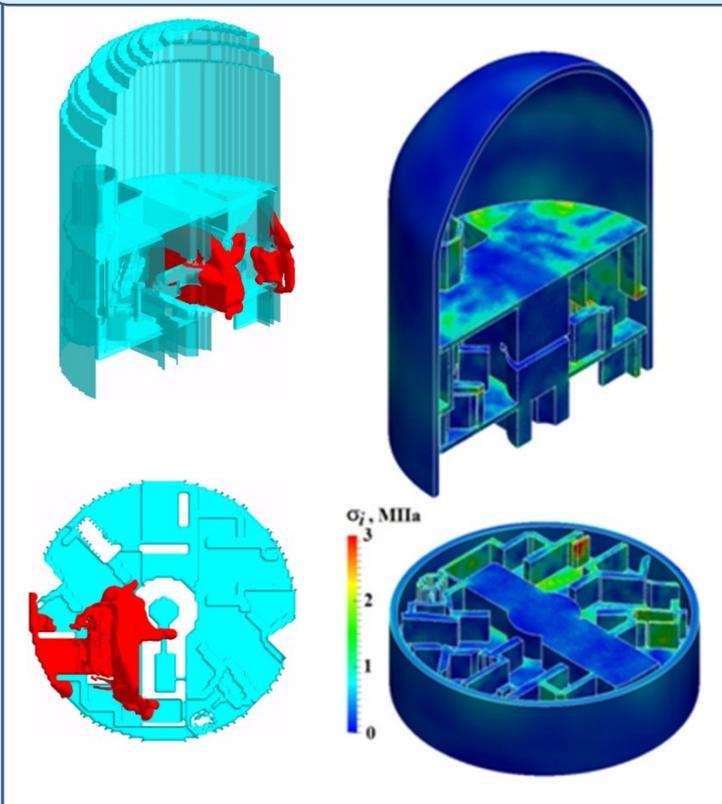
Определение напряженно-деформированного состояния ограничительного упора трубопровода LBA при ударе о него трубы вследствие гильотинного разрыва.
Длительность расчета - около 7 часов на 48 ядрах

Расчетные коды: ДАНКО, Simulia Abaqus, Ansys Mechanical

Связанные расчеты

Модель турбулентного горения и детонации многокомпонентной среды. Определение НДС строительных конструкций. 4,33 млн. ячеек.

Длительность расчета 15 часов, 32 ядра.



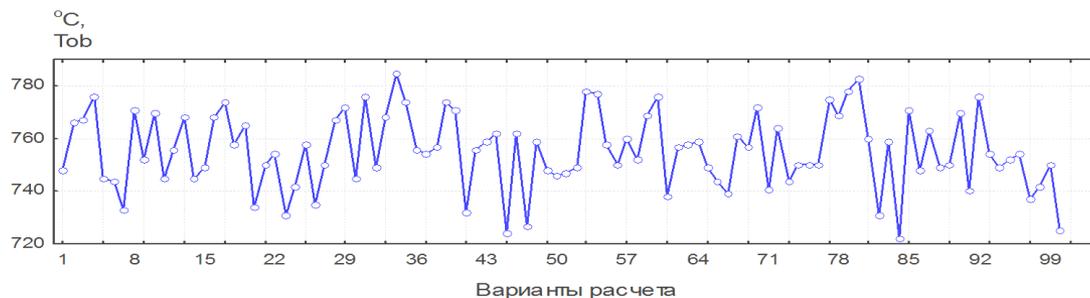
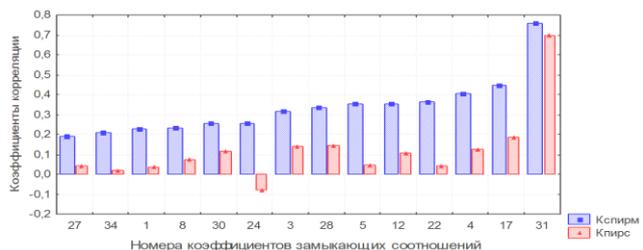
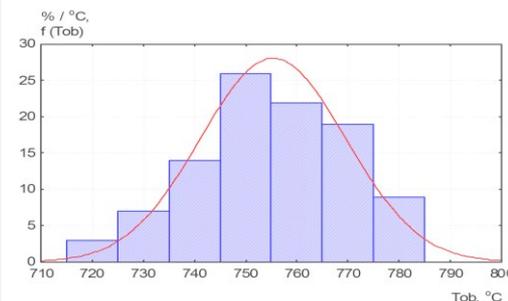
Расчеты тройника с использованием LES - модели турбулентности
Получение осциллограммы пульсаций температур (напряжений) на внутренней и наружной поверхности ТУСП.
Длительность расчета - 2 месяца 160 ядер

Вероятностно-статистический анализ неопределенностей и чувствительности

Проведение не менее 100 вариантных расчётов с целью анализа чувствительности и неопределённости

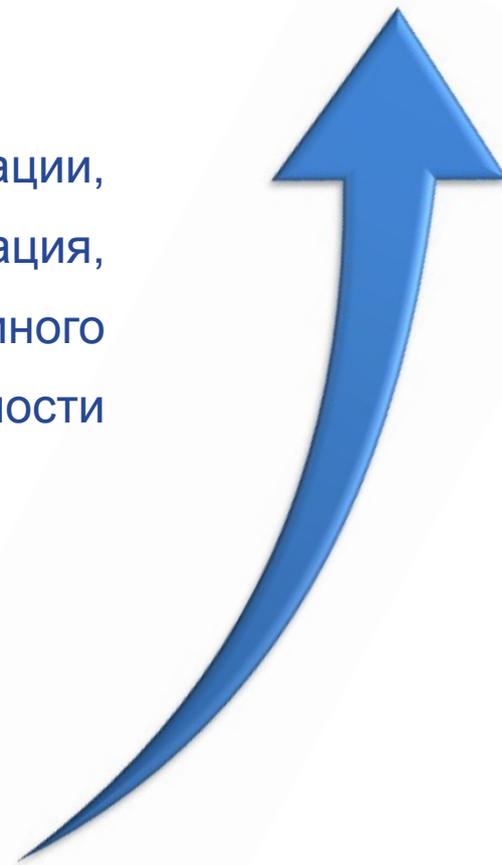
Использование суперЭВМ позволило более широко применять GRS-метод и уменьшить временные затраты в 150 раз

Снижение консерватизма заложенного в проектных решениях, удовлетворение требований Заказчика и регулирующих органов



Развитие

SETUS II находится в стадии активной эксплуатации, но также производится регулярная модернизация, оптимизация системного и прикладного программного обеспечения с целью повышения эффективности работы.





АТОМПРОЕКТ

Предприятие
Госкорпорации «Росатом»

Спасибо за внимание!