



**РОСАТОМ**



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

РОССИЯ 2020:

Суперкомпьютерные технологии – основное  
«технологическое оружие» XXI века для достижения  
конкурентоспособности на мировом рынке

# **Суперкомпьютерные технологии в атомной энергетике**

**Российский федеральный ядерный центр – всероссийский НИИ  
экспериментальной физики  
(ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ)**

**«Атомэкспо-2011»**

**Москва, 07.06.2011**

# Суперкомпьютерные технологии. Актуальность

Уровнем развития суперкомпьютерных технологий определяются качество, сроки и экономичность процессов создания наукоемкой высокотехнологичной конкурентоспособной продукции, вооружений, военной и специальной техники

В ведущих промышленно-развитых странах приняты государственные программы по применению супер-ЭВМ для решения задач высокотехнологичных отраслей промышленности



60% ресурсов суперЭВМ в мире сосредоточены в промышленности

# Суперкомпьютерные технологии. Актуальность

**Имитационное моделирование на супер-ЭВМ -  
основа для технологического перевооружения предприятий  
высокотехнологичных отраслей**

**Сокращение стоимости и сроков  
разработки и проектирования  
сложных технических изделий**

**Повышение безопасности  
высокотехнологических  
изделий и объектов на всех  
этапах жизненного цикла**

**Повышение конкурентоспособности отечественных  
разработок на внутреннем и внешнем рынках**

# Комплексный подход РФЯЦ-ВНИИЭФ в области суперкомпьютерных технологий



# ВЦ РФЯЦ-ВНИИЭФ крупнейший вычислительный центр РФ

Более чем 30-летний опыт  
параллельных вычислений

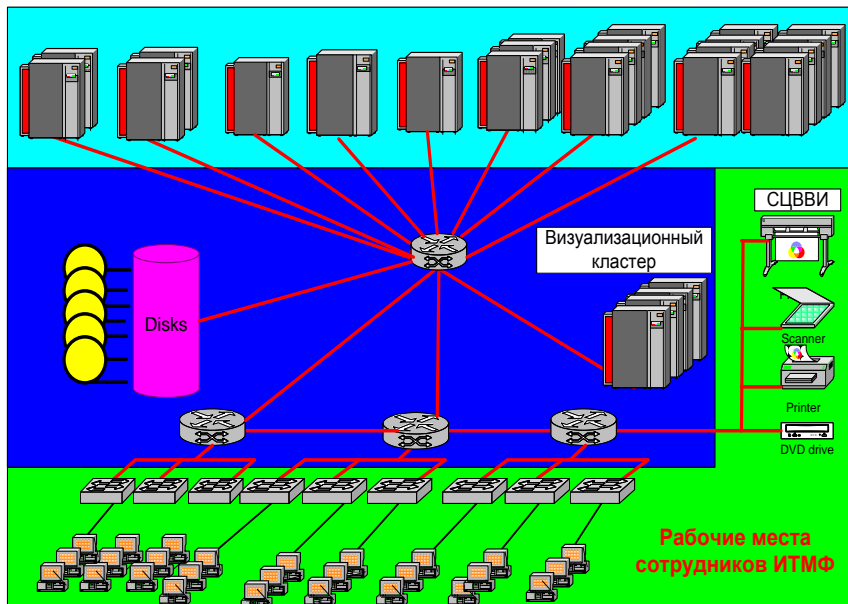
Научно-производственная база для  
проектирования и производства ЭВМ

Пакеты программ имитационного  
моделирования задач оборонных и  
гражданских отраслей

Технологии и каналы связи для  
защищенного доступа к вычислительным  
ресурсам ВЦ РФЯЦ-ВНИИЭФ



# ВЦ РФЯЦ-ВНИИЭФ крупнейший вычислительный центр РФ



- В составе ВЦ РФЯЦ-ВНИИЭФ 9 современных высокопроизводительных суперЭВМ;
- ВЦ оснащен современными инженерными системами;
- Все высокопроизводительные ЭВМ объединены в единую вычислительную сеть;
- Для выполнения работ по гражданской тематике в 2008 году в ВЦ создан вычислительный центр коллективного пользования (ВЦКП) производительностью 20 Тфлопс. В настоящее время его производительность доведена до 320 Тфлопс;
- На ресурсах ВЦКП проводят свои расчеты организации из Москвы, Нижнего Новгорода, Санкт-Петербурга и др.



# Высокопроизводительные вычислительные комплексы, созданные в РФЯЦ-ВНИИЭФ



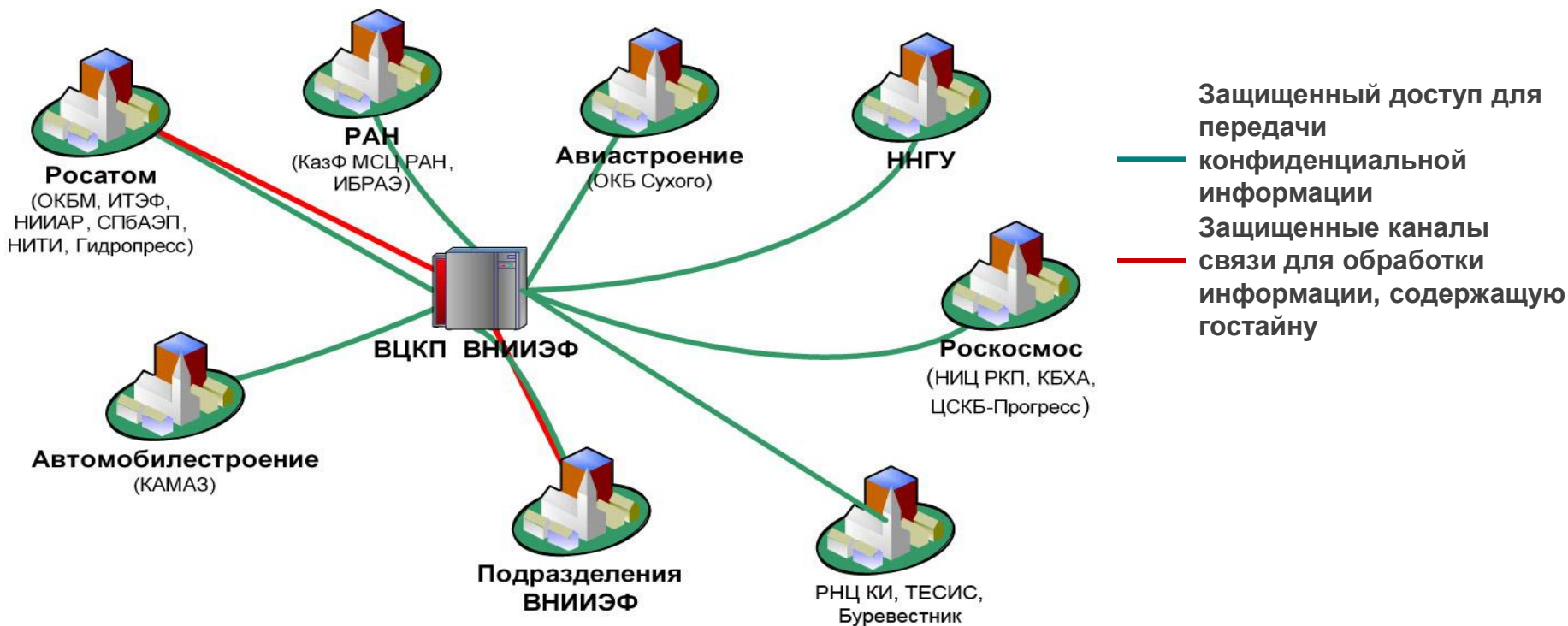
Дата создания	Место в России (на момент создания)
01.2001	1
08.2003	2
10.2004	1
12.2005	2
12.2006	1
12.2007	1
12.2009	1
02.2011	1

**В феврале 2011** года в РФЯЦ-ВНИИЭФ прошла Государственная приемка высокопроизводительного вычислительного комплекса нового поколения

# Доступ организаций к вычислительным ресурсам и центрам обработки данных

В ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» отработана технология предоставления ресурсов супер-ЭВМ ВЦ в режиме удаленного защищенного доступа подразделениям ядерного центра и внешним организациям.

Вычислительные ресурсы супер-ЭВМ предоставлены 19 организациям.



В 2011г. вычислительные ресурсы супер-ЭВМ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» будут дополнительно предоставлены более чем 10 организациям



# Работы по проекту «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий»

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

- **Разработка базового ряда супер-ЭВМ**
- **Создание отечественного базового программного обеспечения для комплексного имитационного моделирования на супер-ЭВМ**
- **Внедрение отечественных пакетов программ имитационного моделирования на супер-ЭВМ для проектирования и разработки новых образцов техники в высокотехнологичных отраслях промышленности**



# Создание базового ряда супер-ЭВМ

**НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ**  
по созданию базового ряда супер-ЭВМ

Супер-ЭВМ  
нового поколения

Компактные супер-ЭВМ

**НАЗНАЧЕНИЕ**

Комплексное  
полномасштабное  
имитационное  
моделирование

Инженерные расчёты  
отдельных узлов и  
системы узлов

Проектирование и производство изделий  
высокотехнологичных отраслей промышленности

# Универсальная компактная супер-ЭВМ терафлопсного класса



## ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ:

- 2010 год: 1 Тфлопс
- 2011 год: 3 Тфлопс
- 2012 год: 5 Тфлопс

## НАЗНАЧЕНИЕ:

- промышленность
- наука
- образование

## УРОВЕНЬ РАЗРАБОТКИ:

- новый продукт в России
- превосходит мировые аналоги  
(по показателям шумозащищенность, цена/производительность)

## УРОВЕНЬ ЗАВЕРШЕННОСТИ И ВНЕДРЕНИЯ:

- литера О1 РКД 2010 год;
- патент на полезную модель КС-ЭВМ;
- серийное производство;
- 25 КС-ЭВМ поставлено на предприятия;

# Универсальная компактная супер-ЭВМ (3 терафлопс)



## Опытный образец:

- производительность 3.0 Тфлопс/с;
- 24 процессора по 16 ядер = 384 ядра;
- оперативная память 768 Гб ОЗУ;
- дисковая память 108 Тб НДД;
- коммутатор для установки коммерческого ПО;
- стоимость 4.0 млн. руб.

# Специализированная компактная супер-ЭВМ (2010 год)

## Назначение:

Решение специальных классов задач для наукоёмких отраслей промышленности

## Особенности эксплуатации:

- Решение специальных классов задач для наукоёмких отраслей промышленности
- Не требует создания специальных инженерных систем обеспечения охлаждения и электропитания;
- Термодизайн и пониженный уровень шума;
- Литера «О1» – мелкосерийное производство;
- Используется операционная система Linux/MS Windows + специализированные пакеты программ расчёта молекулярной динамики и нейтронно- физических характеристик методом Монте-Карло

## Возможные потребители:

научно-технические центры, КБ и инжиниринговые компании, университеты.



## ПАРАМЕТРЫ

Производительность - до 3,5 Тфлоп/с  
Потребляемая мощность - 1,5 кВт  
Стоимость - 400 тыс. руб.



# НАПРАВЛЕНИЕ: Создание конкурентоспособного отечественного импортозамещающего программного обеспечения для имитационного моделирования на супер-ЭВМ



Предполагаемая стоимость отечественных пакетов программ  
в **2-3** раза дешевле



# Отечественные пакеты программ для имитационного моделирования на супер-ЭВМ: ЛОГОС, ЛЭГАК-ДК, ДАНКО+ГЕПАРД, НИМФА

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

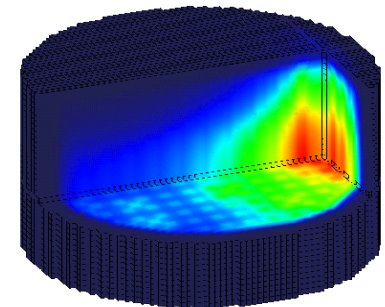
Авиастроение, Атомная энергетика, Автомобилестроение, Ракетно-космическая отрасль, Нефтегазовая отрасль, Экология



# Специализированные программные пакеты РФЯЦ-ВНИИЭФ

1

**Анализ нейтронно-физических процессов в активной зоне ЯЭУ** (диффузионное, транспортное, Монте-Карло, константное обеспечение) TDMCC, KOPAT-3D, SERENA, CONCORD.



2

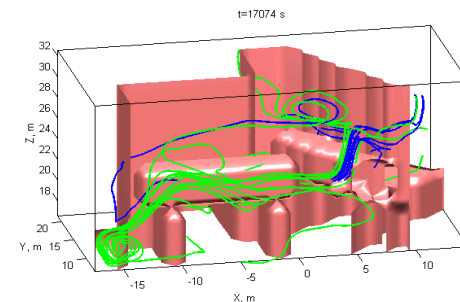
**Анализ теплогидравлических процессов** (РАТЕГ – канальное двухскоростное, аттестован в составе СОКРАТ, обоснование Тяньваньской АЭС, «Куданкулам», НВАЭС-2, и др.)

3

**Термомеханика и термохимия (CAFR)**

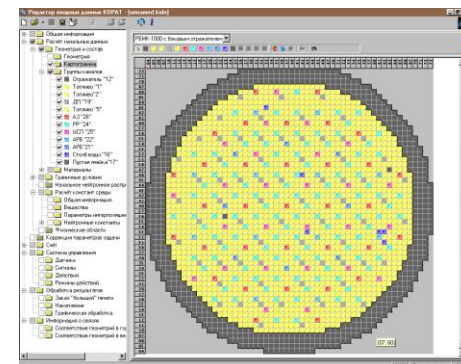
4

**Анализ аварийных ситуаций (SRP, Firecon)** (горение газовых смесей в помещениях АЭС, многокомпонентные течения)



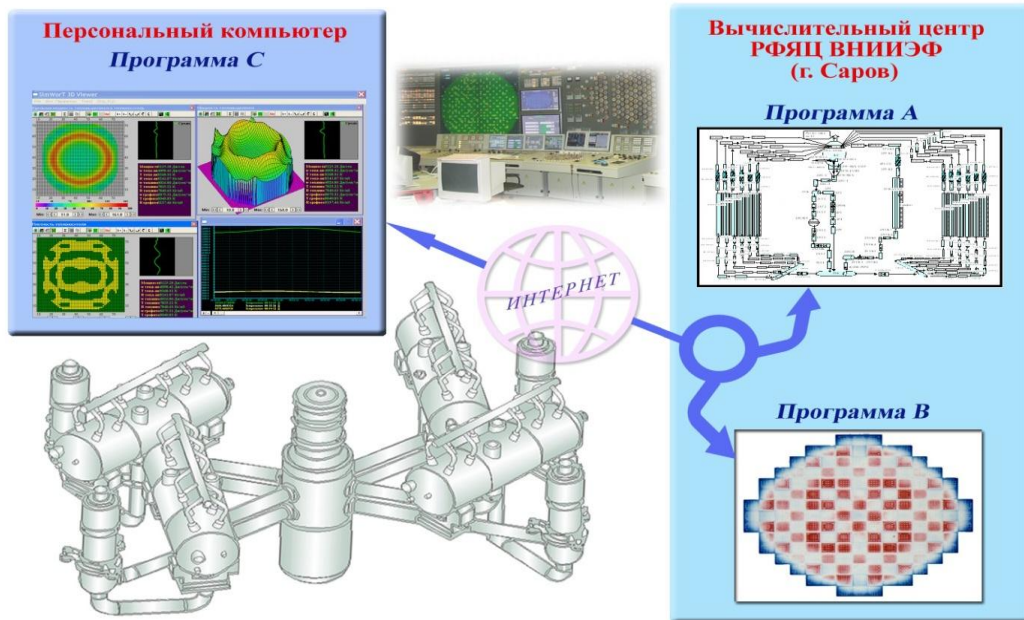
5

**Комплексный анализ (ТЕНАР, PSS)** (3D нейтронно-теплогидравлический код, система интеграции расчетных кодов для комплексного анализа)

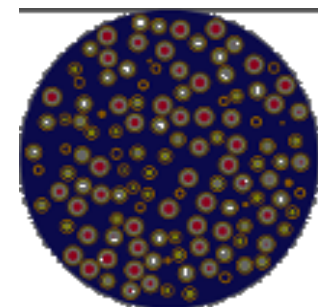
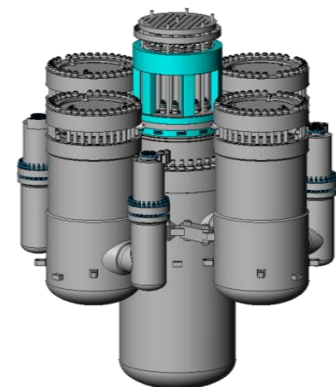
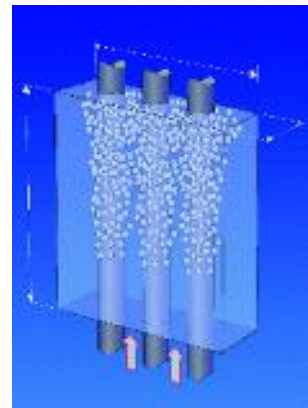
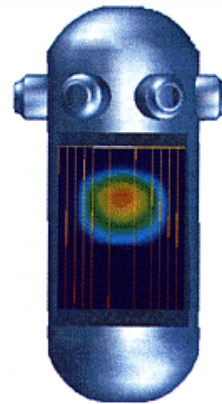


# PSS - Интеллектуальная автоматизированная система интеграции программных пакетов в единый расчетный комплекс (совместно с РНЦ «КИ»)

Технология объединения независимых программных продуктов для моделирования сложных технических систем с сохранением независимости и закрытости самих кодов.



Система дает возможность проведения связанных расчетов с использованием произвольной группы вычислительных систем под управлением разных ОС



Разработка стала лауреатом конкурса и отмечена медалью выставки «Перспективные технологии XXI века», Москва, 2008г.

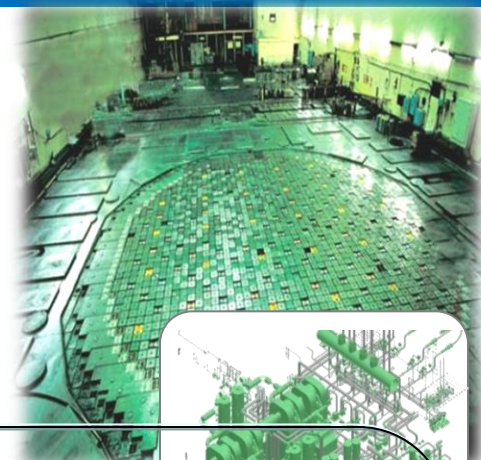


# Внедрение отечественных пакетов программ имитационного моделирования на супер-ЭВМ

## Атомная энергетика

### Цель:

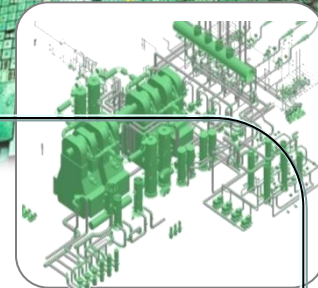
Обеспечение нового качества при проектировании, сооружении и эксплуатации ядерных энергетических установок и АЭС в целом.



### Направления работ:



**Внедрение  
суперкомпьютерных  
технологий в новых проектах  
корабельных  
реакторных установок  
и разработка  
“Виртуальной ЯЭУ”**



**Создание концепции  
и технологии  
«Виртуальная АЭС с ВВЭР»**

# Внедрение методов имитационного моделирования на супер-ЭВМ в работы ведущих предприятий атомной энергетики

## Ожидаемые результаты

Создание основы для технологического перевооружения предприятий отрасли на базе созданных и внедренных методов имитационного моделирования на суперЭВМ

Сокращения на 40-50% объема НИОКР в инновационных проектах

Снижения сроков разработки и проектирования ЯЭУ 20 – 50 %

Возможности разработки сложных технических устройств с увеличенным сроком эксплуатации

Анализ и обоснование безопасности АЭС в режимах недоступных для экспериментальных исследований

**Повышение конкурентоспособности отечественных разработок на внутреннем и внешнем рынке**

**Повышение безопасности эксплуатации ЯЭУ и АЭС**

# Внедрение суперкомпьютерных технологий в новых проектах корабельных реакторных установок (РУ) и разработка “виртуальной ЯЭУ”

Основные участники работ: ОАО «ОКБМ Африкантов», РФЯЦ-ВНИИЭФ; РНЦ «КИ»

## Ожидаемые результаты

**Создание пилотной версии полномасштабной 3D конструкторской и расчетной модели «виртуальная корабельная ЯЭУ», что обеспечит:**

1. Обоснование эксплуатационных и ресурсных характеристик корабельной РУ нового поколения с учетом новых специфических режимов работы без проведения дорогостоящих НИОКР с использованием крупномасштабных стендов.
2. Новая технология проектирования корабельных реакторных установок, пригодная для проектирования РУ различного назначения (корабельных, судовых, для плавучих АЭС, для АЭС малой и средней мощности), позволяющая:
  - существенно сократить затраты на проектирование за счет отказа от дорогостоящих НИОКР с использованием крупномасштабных стендов;
  - проводить на базе реалистического анализа оптимизацию конструкций и оборудования РУ, режимов работы, в том числе с учетом внешних воздействий.



# Создание концепции и технологии «Виртуальная АЭС с ВВЭР»

Основные участники работ: ОАО «СПБАЭП», ОКБ «Гидропресс», РФЯЦ-ВНИИЭФ, ОАО «ВНИИАЭС», ФГУП «НИТИ», ИБРАЭ РАН, РНЦ «КИ»

## Ожидаемые результаты

1. Создание современного программного обеспечения для атомной энергетики на базе суперкомпьютерных технологий;
2. Создание программно-технического комплекса «Виртуальная АЭС с ВВЭР» для расчетного моделирования на супер-ЭВМ с целью верификации проектных решений, информационной поддержки эксплуатирующей организации и сопровождения АЭС на всём жизненном цикле что позволит:
  - поднять качество проектов АЭС с ВВЭР, сократить сроки проектирования и пуско-наладочных работ и соответственно - стоимость АЭС;
  - повысить уровень безопасности объектов атомной энергетики за счет моделирования и последующего обоснования безопасности в тех режимах и условиях, в которых невозможны экспериментальные исследования;

# Программно-технический комплекс (ПТК) «Виртуальная АЭС с ВВЭР»



# Многоуровневая технология «Виртуальная АЭС с ВВЭР»

1

Полномасштабное моделирование различных режимов функционирования энергоблока на базе кодов улучшенной оценки.

2

Комплексный анализ безопасности.

3

Моделирование основных физических и технологических процессов **в режиме реального времени** на базе упрощенных инженерных подходов (тренажерные коды) для:

- Оптимизации управления технологическими процессами (АСУ-ТП);
- Обучения персонала станций;
- Поиска и устранения неисправностей оборудования

**Примеры решения на супер-ЭВМ  
практических задач атомной  
энергетики  
с использованием программных  
пакетов РФЯЦ-ВНИИЭФ**

# Применение программных пакетов РФЯЦ-ВНИИЭФ для решения прикладных задач

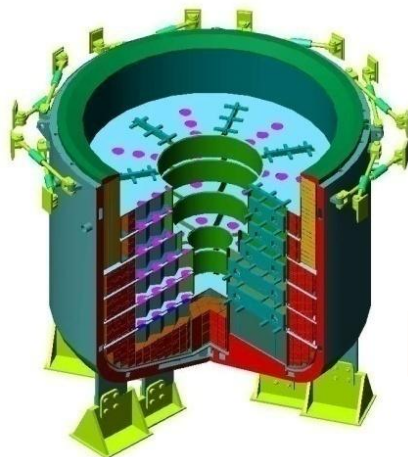
Задача решается по заказу ОАО «СПБАЭП»,  
аналогичные исследования запланированы для АЭП (Дизайн-Центр ВВЭР-ТОИ)

## Расчётное исследование прочностных свойств устройства локализации расплава (УЛР)

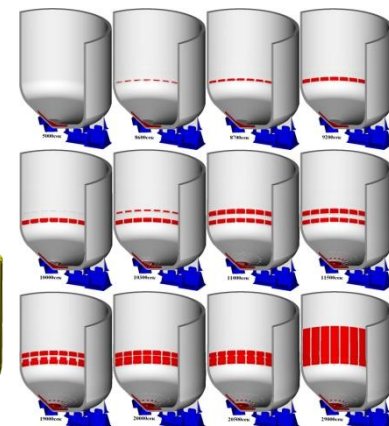
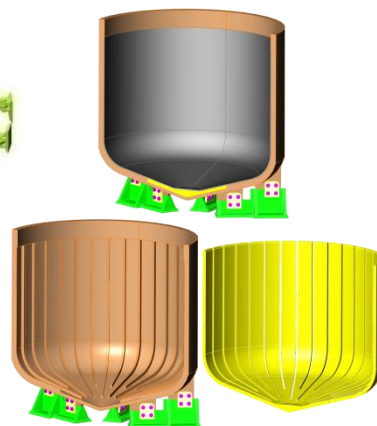
Пакет программ:  
**ДАНКО**

### Состояние работ:

- Построена конечно-элементная модель;
- Проводятся тестовые расчеты на многопроцессорной ЭВМ.



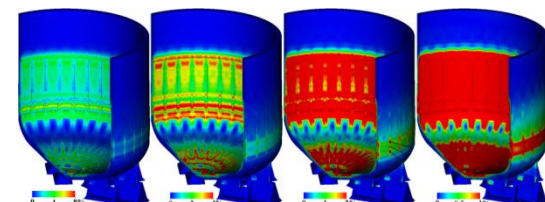
Конструкция УЛР



Картина разрушения внутренней стенки конструкции УЛР

### В модели учитывается:

- разрушение элементов конструкции при достижении пороговой температуры (температуры плавления);
- меняющийся во времени вес расплава (архимедова сила).



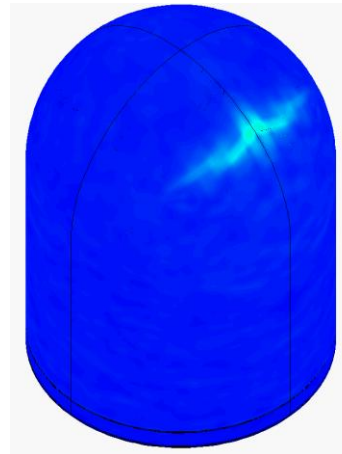
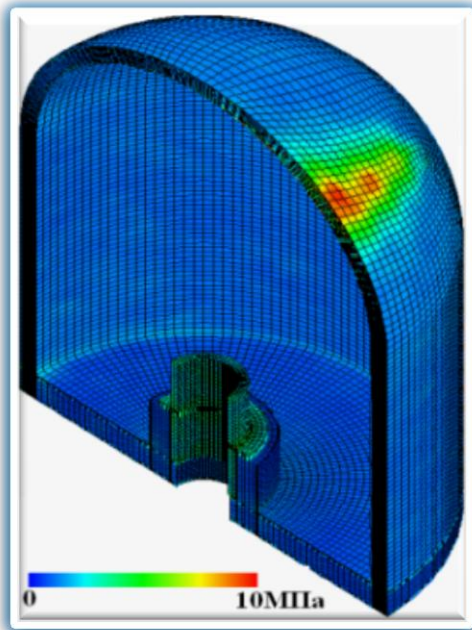
Интенсивность деформаций (%)

Моделирования поведения устройства локализации расплава при сейсмическом воздействии в соответствии с требованиями МАГАТЭ



# Применение программных пакетов РФЯЦ-ВНИИЭФ для решения прикладных задач

Расчётное исследование прочности защитной оболочки АЭС с ВВЭР-1000 при падении тяжёлого самолёта в соответствии с требованиями МАГАТЭ



Программный комплекс:  
**ДАНКО**

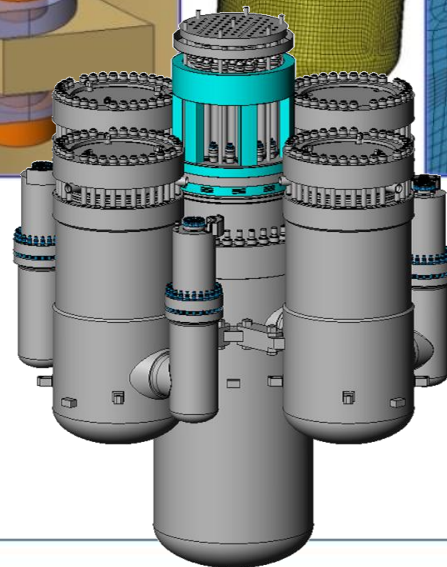
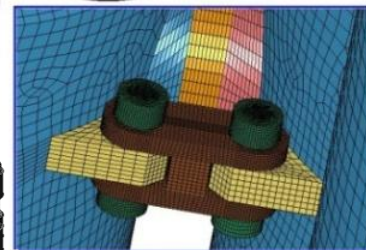
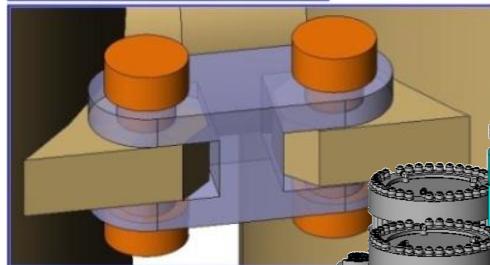
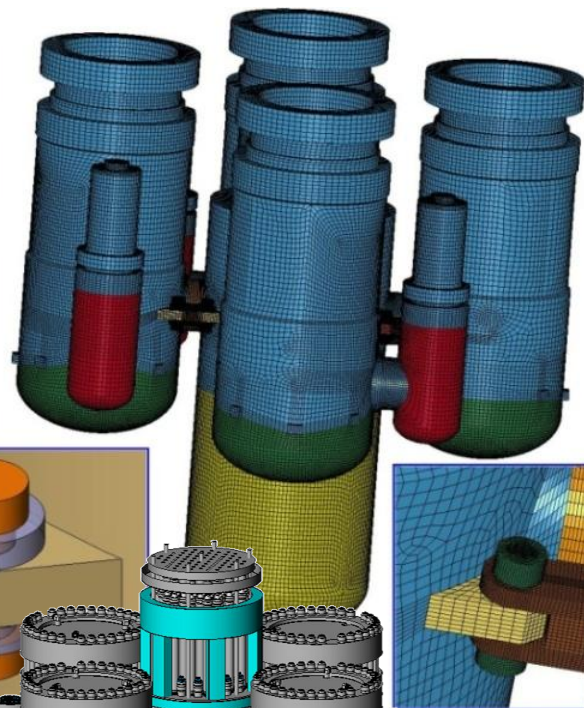
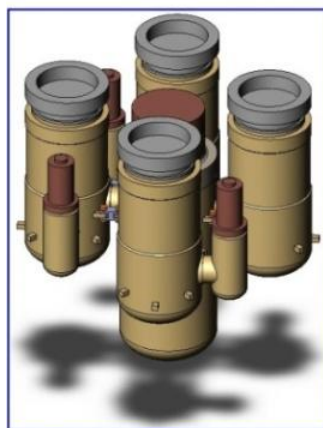
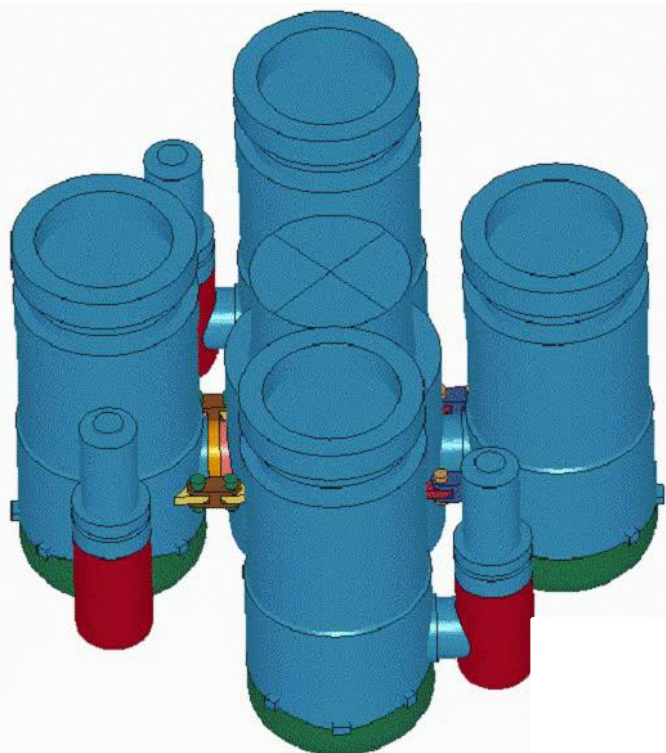
Определён запас прочности защитной оболочки НВАЭС методом расчетного исследования при различных углах и скоростях падения

Основные участники работ: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ОАО «СПБАЭП», ОАО «ОКБМ Африкантов»

Совместно с ОАО «Атомэнергопроект» (Дизайн-Центр) обсуждаются планы совместных работ по полномасштабному моделированию, включая наполнение подконтейментного пространства и детальной структуры аэробуса Боинг-747



# Расчет работы устройства ограничителя течи в случае гипотетической аварии при работе реактора ВБЭР-300



Расчетная схема конструкции состоит из  
2. млн конечных элементов.

Длительность процесса 0.15сек

Основные участники работ: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,  
ОАО «ОКБМ Африкантов»

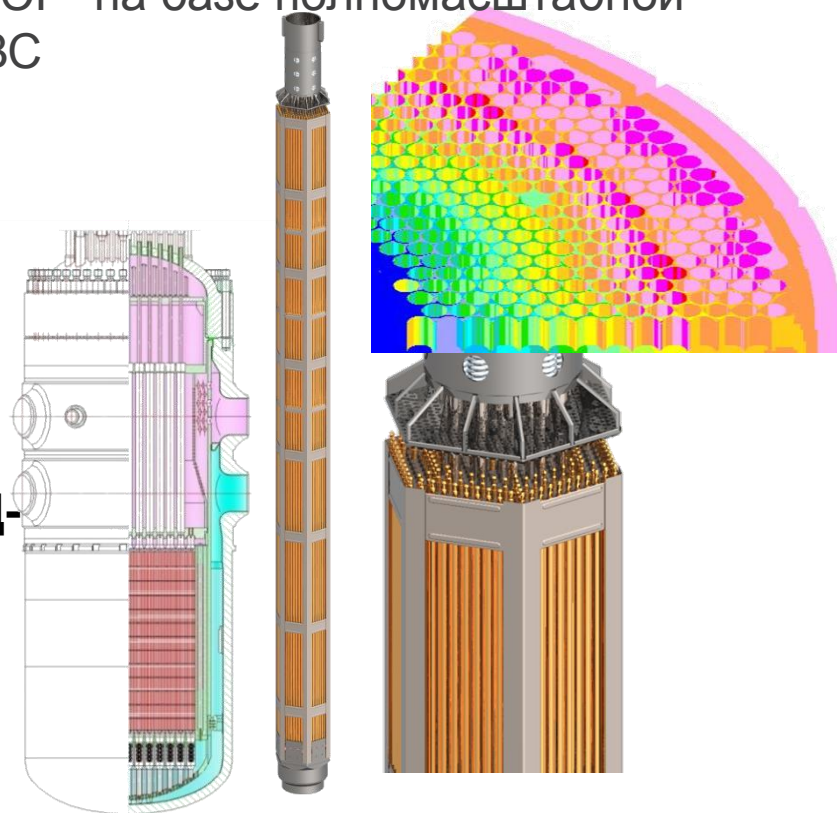
# Решение ресурсоемких задач проекта ВВЭР ТОИ

Моделирование активной зоны реактора ВВЭР на базе полномасштабной CFD-модели ТВС

Пакет программ:  
**ЛОГОС**

Размер расчётной модели: 150 млн.

**Основные участники работ: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ОАО «Гидропресс»**



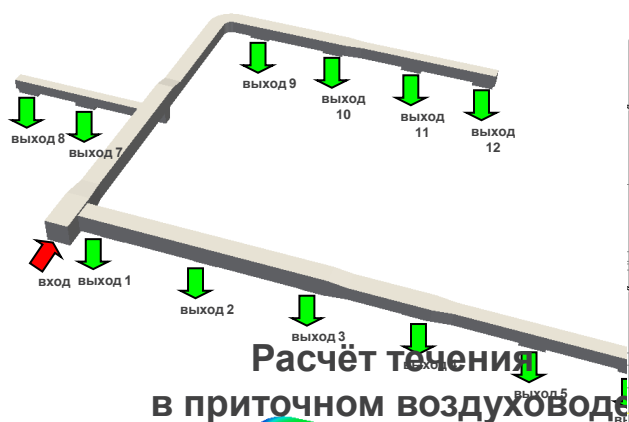
Оптимизация характеристик активной зоны на основе расчетного моделирования гидродинамического течения теплоносителя с учетом турбулентных эффектов и влияния дистанционирующих и турбулизирующих решёток внутри ТВС

# Применение программных пакетов РФЯЦ-ВНИИЭФ для решения прикладных задач

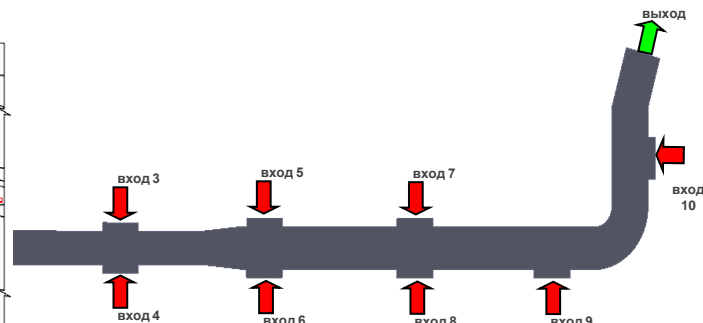
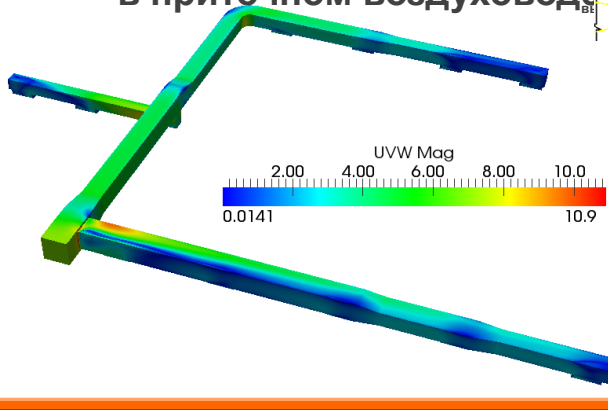
Основные участники работ: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ОАО «Атомэнергопроект»

**Моделирование движения воздуха в системе вентиляции (проект ВВЭР-ТОИ)**

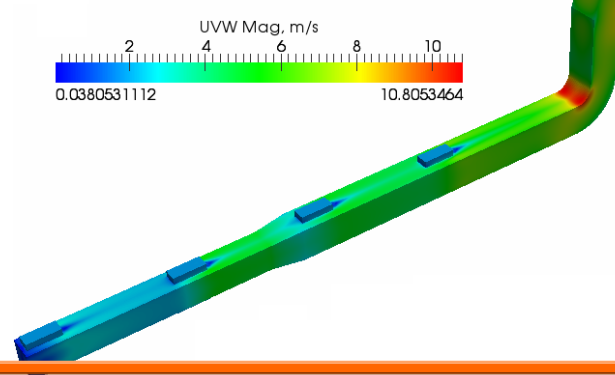
**Пакет программ:  
ЛОГОС**



**Расчёт течения в приточном воздуховоде**



**Расчёт течения в вытяжном воздуховоде**

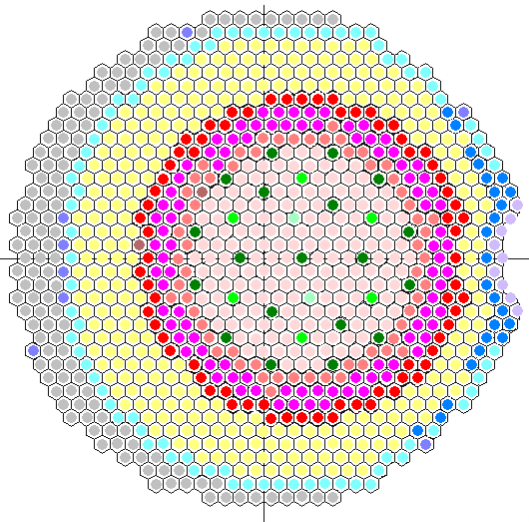


**Определение аэродинамических характеристик воздуховодов с целью оптимизации конструкции системы вентиляции на этапе проектирования**

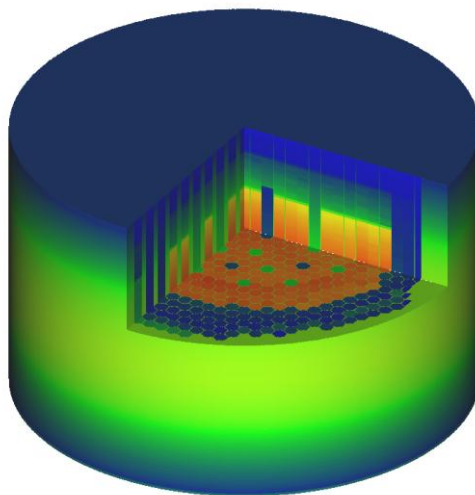


# Применение программных пакетов РФЯЦ-ВНИИЭФ для решения прикладных задач быстрых реакторов (код TDMCC)

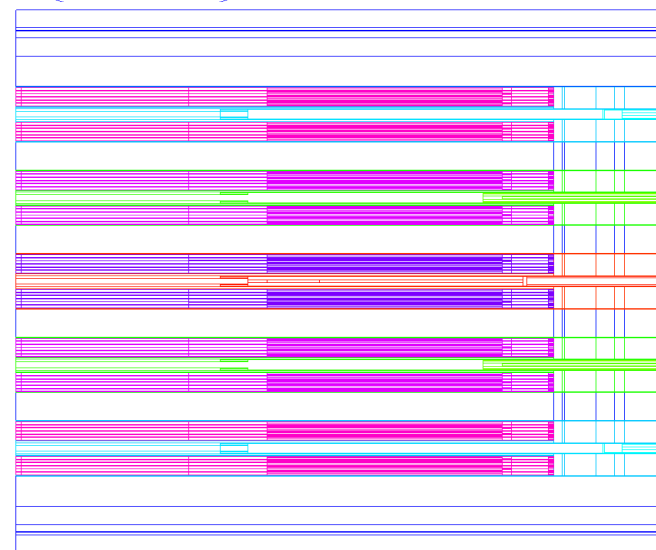
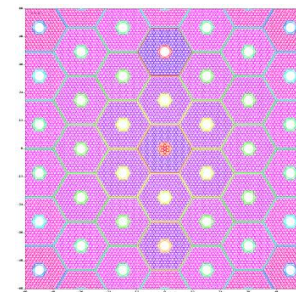
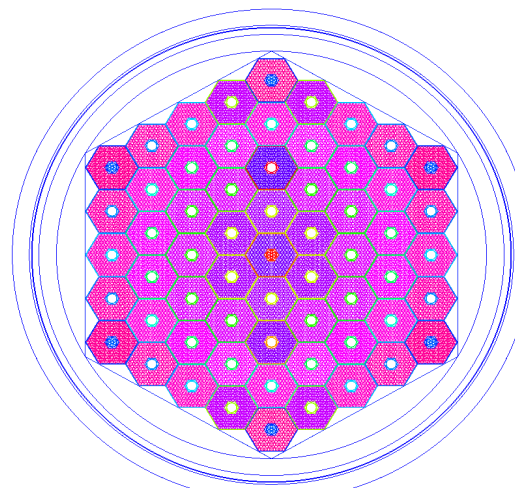
## БН-600



- ТВС ЗМО ( $Z_f=17\%$ ) - 172 шт.
- ТВС ЗСО ( $Z_f=21\%$ ) - 60 шт.
- МОХ ТВС - 91 шт.
- ТВС ЗБО ( $Z_f=26\%$ ) - 71 шт.
- ССЗ - 300 шт.
- СЕЗ-1 - 80 шт.
- СЕЗ-2 - 24 шт.
- стержни АЗ (5 шт. АЗ + 1 шт. АЗ-II в ячейке 14-20)
- стержни КС - 19 шт.
- стержни РС - 2 шт.
- источник нейтронов - 2 шт.
- отработавшие ТВС и ИН в ВРХ - 122 шт.
- сборки защиты элеватора - 9 шт.
- сборки технологические - 8 шт.



## СВБР-100



**Спасибо за внимание**