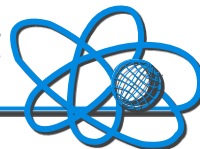




РОСАТОМ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Опыт Госкорпорации «Росатом» в создании виртуальной среды для разработки и обоснования безопасности новых технологий

Л.А.Большов

Требования к технически сложным объектам в стратегических областях промышленности

Требования к технически сложным объектам

Оптимальная стоимость жизненного цикла

Соответствие заявленным потребительским свойствам

Безопасность

Современные особенности

Повышение сложности объектов

Необходимость сокращения сроков вывода на рынок

Увеличение количества вариантов изделий под каждого заказчика

Традиционный подход

Высокая стоимость натуральных испытаний

Неприемлемость испытаний, влекущих значительный ущерб

Увеличение сроков испытаний в связи с высокой сложностью объектов

Отсутствие аппарата, позволяющего адекватно моделировать технически сложные объекты

Виртуальная среда для разработки и обоснования безопасности новых АЭС

- Аппаратное обеспечение: Суперкомпьютеры с распределенной сетью пользователей
- Программное обеспечение
 - Перспективные многомерные расчетные коды с набором необходимых моделей
 - Системы проектирования
- Виртуальная среда разработки, объединяющая усилия различных коллективов (ученые, создатели и пользователи кодов, конструкторы, проектанты, изготовители оборудования, строители, операторы и т.д.)

Требования к программному обеспечению

- Расчёт из первых принципов
- Мультифизичность
- Наглядность представления результатов расчётов
- Комплексность модели объекта
- Высокая точность
- Автоматическая связь с конструкторской моделью изделия

Проекты по разработке программного обеспечения нового поколения в атомной отрасли (РФ и США)

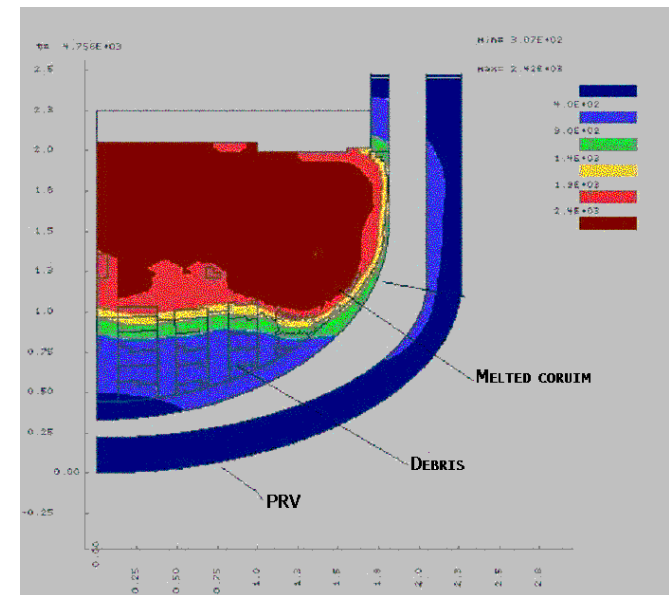
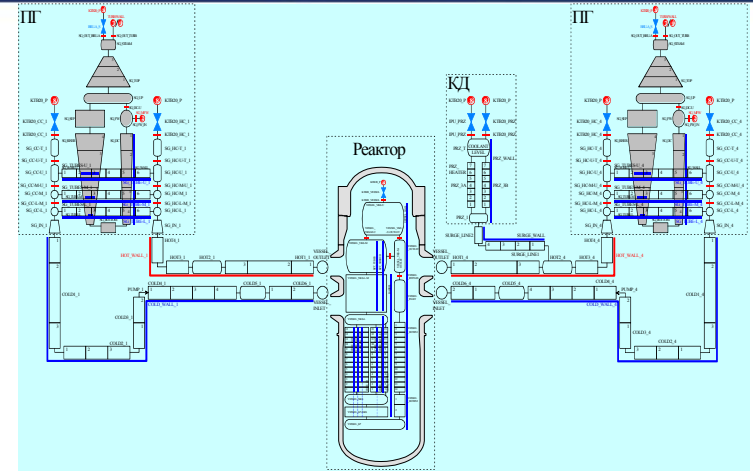
- Создание и использование кода СОКРАТ
- Подпроект «Виртуальная АЭС» в проекте ВВЭР ТОИ
- Частный проект «Коды» ФЦП "Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010 - 2015 годов и на перспективу до 2020 года"
- CASL (Consortium for Advanced Simulation of Light Water Reactors)
- NEAMS (Nuclear Energy Advanced Modeling and Simulation)
- CESAR (Center for Exascale Simulation of Advanced Reactors)

Обеспечение вычислительными ресурсами



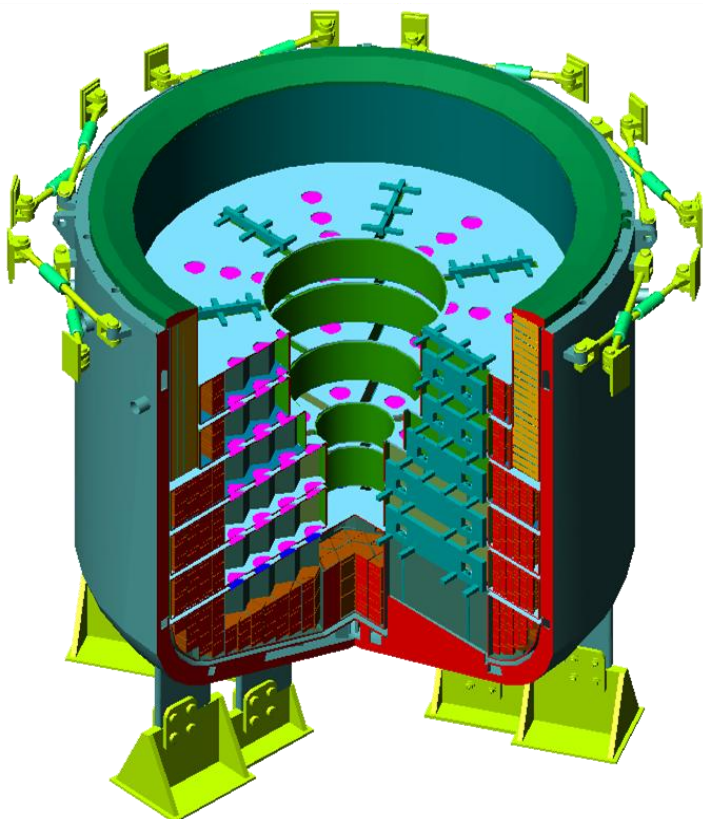
Сквозной код СОКРАТ

- Назначение: моделирование аварийных процессов от исходного события до выхода активности за пределы защитной оболочки
 - ИБРАЭ
 - РНЦ «Курчатовский институт»
 - ВНИИЭФ
 - СПБАЭП, АЭП, ННАЭП
 - ЭНИЦ, ФЭИ, ИТ СО РАН
 - ОКБ ГП, ОКБМ
 - НПО ЛУЧ, НИИАР, ВНИИНМ
 - НИТИ



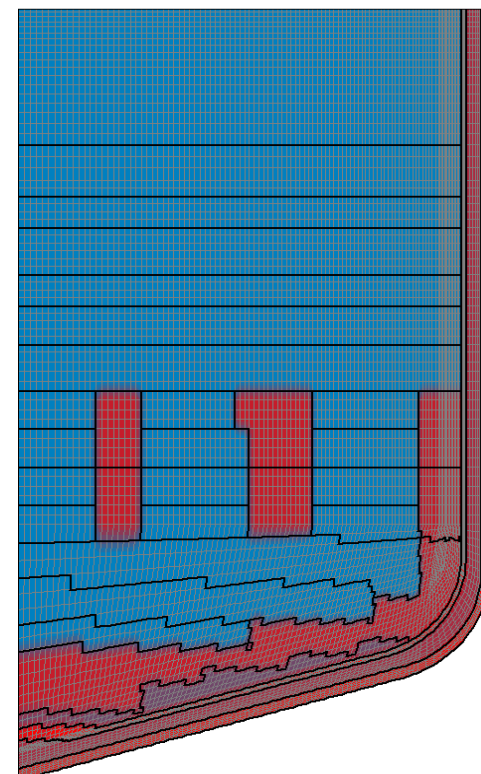
Устройство локализации расплава – «ловушка»

Назначение: прием, локализация и захлаживание расплава при авариях с разрушением активной зоны и корпуса реактора



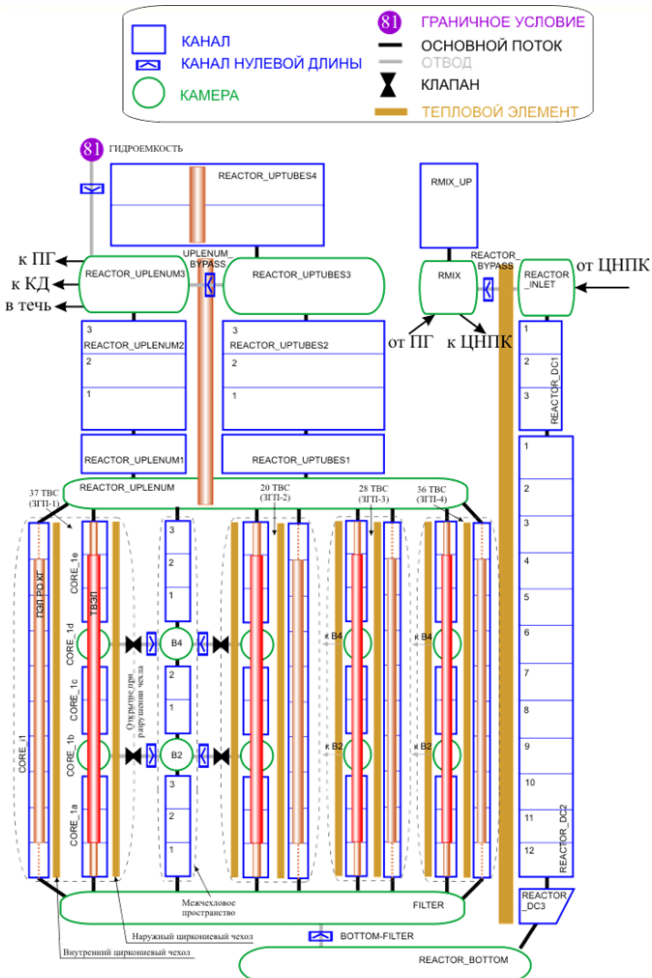
Общий вид УЛР

Основные функции:
удержание днища корпуса реактора при его отрыве или пластическом деформировании до момента выхода кориума из корпуса, прием и размещение кориума и материалов ВКУ, теплоотдача от кориума к охлаждающей воде и гарантированное захлаживание расплава до его затвердевания, обеспечение подкритичности кориума в УЛР в процессе его охлаждения, минимизация выхода радиоактивных веществ и водорода, защита контейнента и бетонной шахты от термического и механического воздействия кориума.



Расчетная схема для кода СОКРАТ

Расчетное обоснование безопасности плавучего энергоблока (совместно с ОАО "ОКБМ Африкантов")



Расчетная схема корпуса реактора для кода СОКРАТ

ДВУХКОНТУРНАЯ УСТАНОВКА С ВОДО-ВОДЯНЫМ РЕАКТОРОМ, КОТОРЫЙ СОЕДИНЕН СИСТЕМОЙ ПАТРУБКОВ «ТРУБА В ТРУБЕ» С ПАРОГЕНЕРАТОРАМИ ЗМЕЕВИКОВОГО ТИПА И ЦИРКУЛЯЦИОННЫМИ НАСОСАМИ ПЕРВОГО КОНТУРА

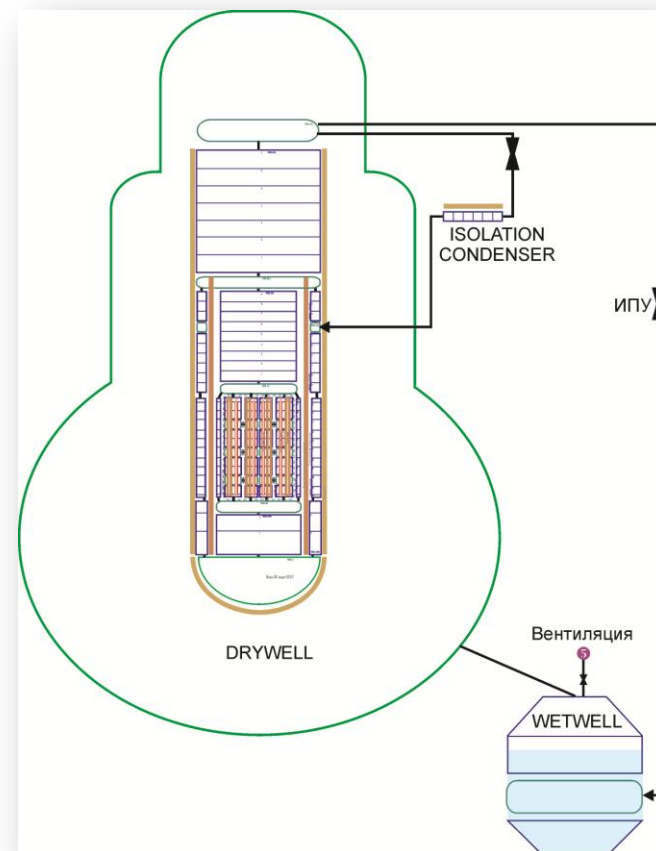


**ОТПУСК ПОТРЕБИТЕЛЯМ:
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ - 20...70 МВт;
ТЕПЛА - 50...140 Гкал/ч**

Расчетный анализ аварии в 1–3 блоках и 1–4 бассейнах выдержки ОЯТ (СОКРАТ)

Без учета подачи воды для охлаждения

	Расчетное время взрыва (водорода для 1, 2, 4)		Фактическое время взрыва (водорода для 1, 2, 4)	
Блок 1	12.03	15:16	12.03	15:36
Блок 2	Превышение давления в 30		15.03	06:14
	15.03	05:45		
Блок 3	14.03	08:00	14.03	11:01



Расчетная модель РУ ВВР/3 для кода СОКРАТ

Программное обеспечение нового поколения подпроект «Виртуальная АЭС с ВВЭР ТОИ»

Теплогидравлика

- Сетевая (1D)
- Ячейковая
- CFD (RANS), LES, DNS

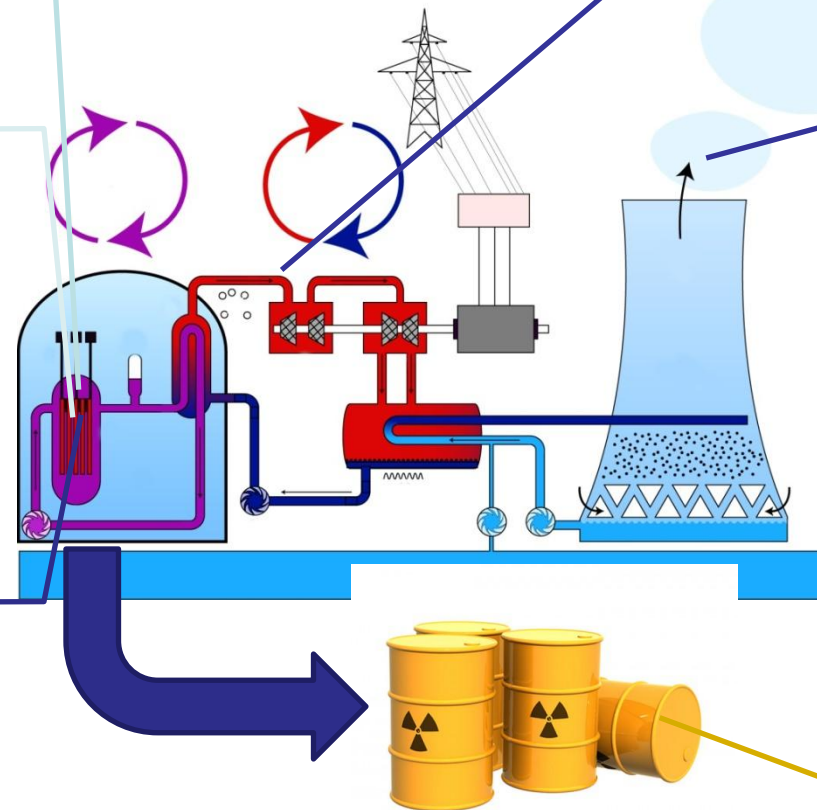
Нейтронная физика

- Экспресс-анализ (упрощенные алгоритмы)
- Инженерные расчеты (диффузионное и транспортное приближения)
- Прецизионные расчеты (Монте-Карло, транспортное приближение, метод характеристик)

Поведение топлива и оболочки твэла

- Температурное поле в твэле
- Микроструктурные изменения в топливе
- Напряжённо-деформированное состояние

ТИТАН

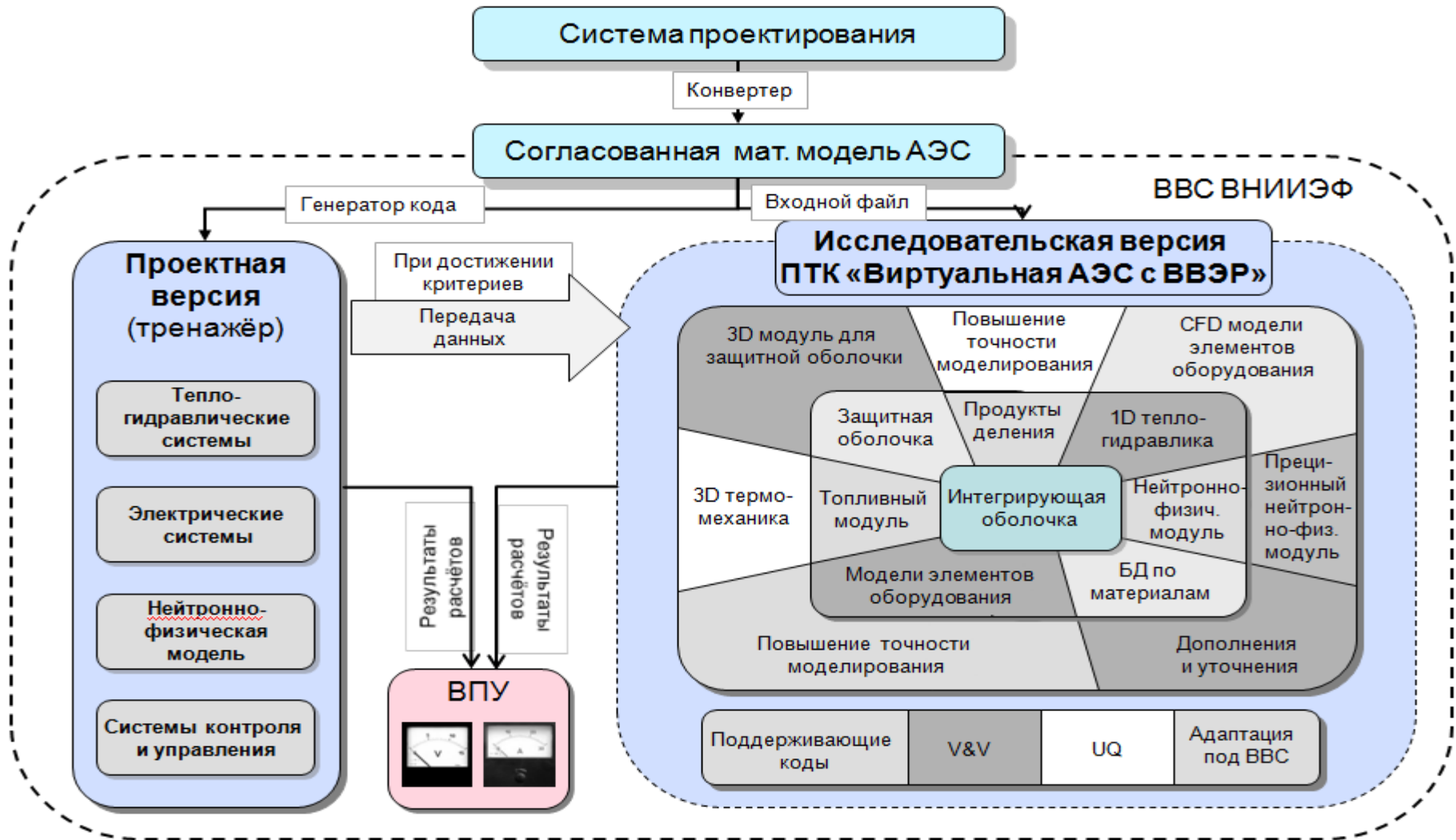


Миграция ПД и радиоактивных продуктов активации в контурах

Перенос ПД и химически вредных веществ в окружающей среде и их **воздействие на персонал и население**

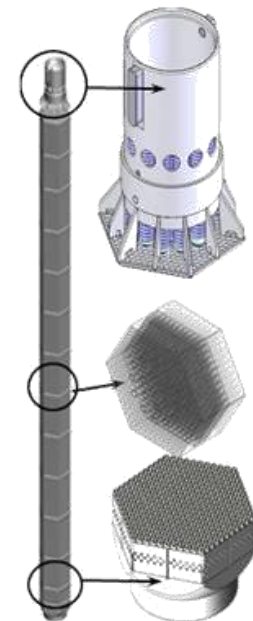
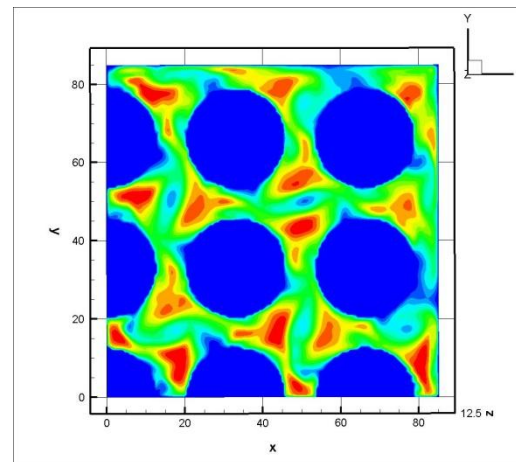
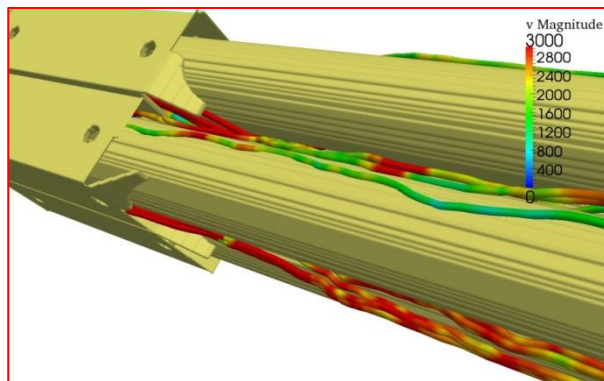
Анализ и обоснования безопасности пунктов захоронения и консервации РАО на базе современных моделей переноса радионуклидов в геологических средах и инженерных барьерах безопасности

Виртуальная АЭС с РУ ВВЭР ТОИ



Полномасштабное моделирование ТВС (3D теплогидродинамика)

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



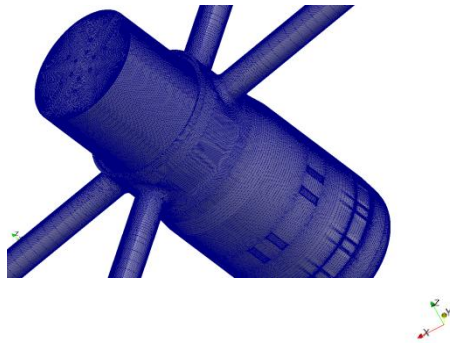
CONV-3D (DNS моделирование)

Полномасштабное моделирование РУ (3D теплогидродинамика)

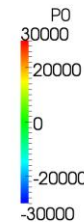
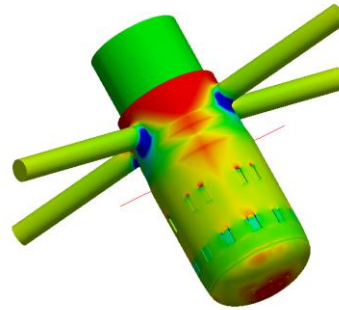
Цель: Определение коэффициентов гидравлического сопротивления элементов конструкции РУ с целью её оптимизации



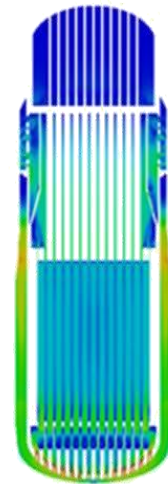
**CAD
модель**



**Сеточная
модель**

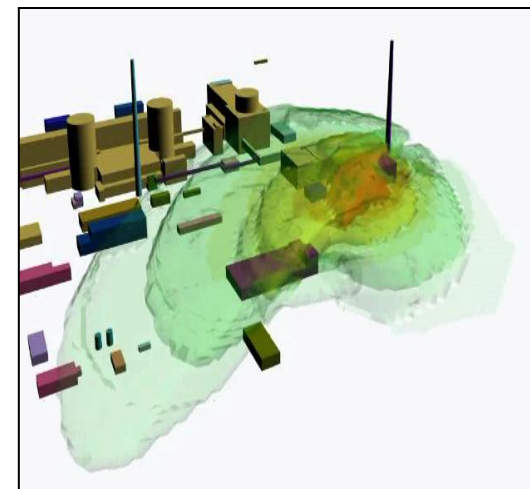
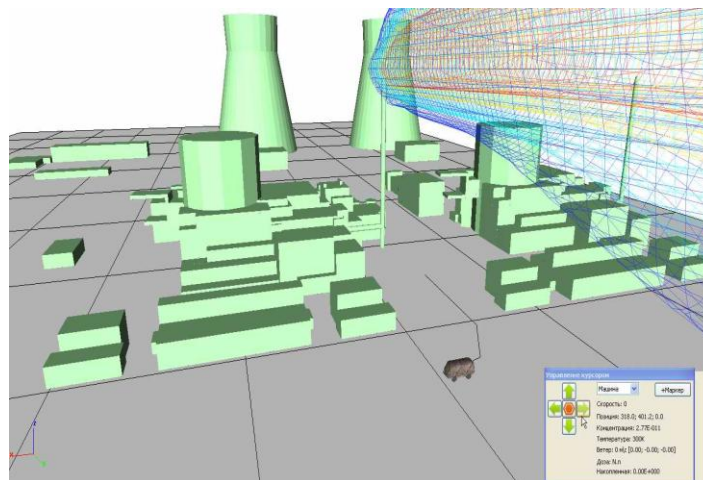
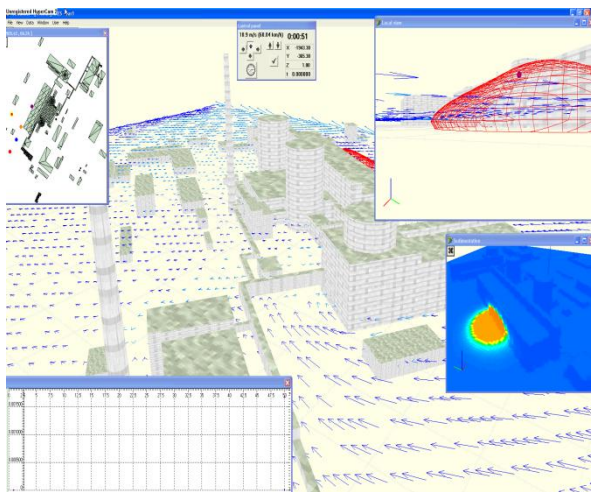


CFD модель



Обоснование радиационной безопасности

Цель: оптимизация уровня доз на границе санитарно защитной зоны АЭС



- Современные методы трехмерного моделирования в условиях влияния на распространение радиоактивной примеси зданий и сооружений
- Моделирование процессов переноса на основе кода CONV-3D (квази-DNS)
- Выполнение расчётов на высокопроизводительных вычислительных системах
- Использование современных средств отображения информации

Основные партнеры:

DOE laboratories at Oak Ridge,
Idaho National Laboratory,
Los Alamos National Laboratory,
Sandia National Laboratories.

Научные партнеры:

Massachusetts Institute of Technology,
North Carolina State University,
University of Michigan.

Промышленные партнеры:

Westinghouse Electric Company,
Tennessee Valley Authority (TVA),
Electric Power Research Institute (EPRI)



Система кодов VERA и суперкомпьютеры в проекте CASL

Virtual Environment for Reactor Application (VERA):

- Высокоточные модели действующих реакторов
- Современное программное обеспечение
- Валидация с использованием экспериментальных данных от партнеров
- Поставка программного обеспечения промышленным партнерам

Суперкомпьютеры:

- Cray XT5 Jaguar, >2 петафлопс
- К концу 2012 года – 20 петафлопс (OLCF-3)
- К 2018 г. – эксафлопс



Виртуальный офис проекта CASL

Инфраструктура для организации физического и виртуального взаимодействия сотрудников CASL

- Оборудованные для работы помещения
- Конференц-зал с оборудованием для видеоконференцсвязи
- Средства 3D-визуализации для углубленного анализа трехмерных геометрических моделей
- Помещение для проведения «мозгового штурма»

Центр компетенции по разработке программного обеспечения и имитационному моделированию

- Центр компетенции – организует и поддерживает виртуальную среду для разработки перспективного программного обеспечения, лучшие методики, опыт и инструментарий для имитационного моделирования (в рамках некоторой предметной области)
- ЦК проводит имитационное моделирование в интересах различных организаций (обычно, в рамках крупных проектов)
- ЦК обладает необходимыми ресурсами (критический набор специалистов, коммуникационная техника, лицензии)
- Преимущества ЦК – сокращение сроков разработки новой техники, оптимизация конструкции, надежное обеспечение безопасности

Заключение

- Виртуальная среда для разработки программного обеспечения и имитационного моделирования – современная технология и инструмент создания технически сложных объектов
 - Программное обеспечение нового поколения
 - Использование высокопроизводительных вычислительных систем
 - Новая форма организации взаимодействия участников (центры компетенций)
- Представленная методология работы - основа ускоренного технологического развития