

# ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «ВИРТУАЛЬНО-ЦИФРОВАЯ АЭС С ВВЭР»

ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА  
КРИЗИСНОГО ЦЕНТРА  
АО «КОНЦЕРН  
РОСЭНЕРГОАТОМ»



ВЕРИФИКАЦИЯ  
ПРОЕКТНЫХ  
РЕШЕНИЙ



РАСЧЕТНОЕ  
ОБОСНОВАНИЕ  
БЕЗОПАСНОСТИ



ПОВЫШЕНИЕ  
ОПЕРАЦИОННОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ





РОСЭНЕРГОАТОМ  
**ВНИИАЭС**

# **Программно-технический комплекс «Виртуально-цифровая АЭС с ВВЭР» - эффективный современный инструмент поддержки эксплуатирующей организации**

Докладчик: Соловьев Сергей Леонидович  
Научный руководитель АО «ВНИИАЭС»

---

Москва | 23 мая 2018 года

# Из истории проекта

- 1 Работы инициированы Приказом Госкорпорации «Росатом» № 781 от 09.11.2009 по результатам визита Президента РФ Медведева Д.А. в г. Саров
- 2 Начаты в 2011г.
- 3 Термин «Виртуально-цифровая АЭС с ВВЭР» введен в 2013г.
- 4 Окончание работ – 23.09.2019

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
«РОСАТОМ»

**ПРИКАЗ**

09 ноя 2009 Москва № 781

Об утверждении Координационного совета по управлению реализацией мероприятия «Создание концепции и технологии "виртуальная АЭС с ВВЭР"» проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий»

С целью эффективной реализации мероприятия «Создание концепции и технологии "виртуальная АЭС с ВВЭР"» проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» (далее – Проект), одобренного Комиссией при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию России (протокол от 31.08.2009 № 3, утвержденный Президентом Российской Федерации Д.А.Медведевым 30.09.2009 № Пр-2601),

#### ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Создать Координационный совет по управлению реализацией мероприятия «Создание концепции и технологии "виртуальная АЭС с ВВЭР"»

Проект в составе:

|                 |   |
|-----------------|---|
| Асмолов В.Г.    | первый заместитель генерального директора ОАО «Концерн Энергоатом», председатель совета (по согласованию);              |
| Большов Л.А.    | директор Института проблем безопасного развития атомной энергии РАН, заместитель председателя совета (по согласованию); |
| Семченко Ю.М.   | директор Института ядерных реакторов РАН «Курчатовский институт», заместитель председателя совета (по согласованию);    |
| Соловьев В.Л.   | первый заместитель директора ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», заместитель председателя совета;                                       |
| Арутюнян Р.В.   | заместитель директора Института проблем безопасного развития атомной энергии РАН (по согласованию);                     |
| Бездепкина В.В. | директор Департамента науки ОАО «СПбАЭП» (по согласованию);   |
| Москалев А.М.   | заместитель начальника отдела ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» (по согласованию);   |

4.11.2009  
10.11.09

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ по реализации мероприятия

«Создание концепции и технологии «Виртуальная АЭС с ВВЭР»  
проекта  
«Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий»

#### СОГЛАСОВАНО:

Первый заместитель  
генерального директора ОАО  
«Концерн Росэнергоатом»,  
председатель  
Координационного совета

Асмолов В. Г.  
« » 2009

#### УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель генерального  
директора  
Госкорпорации «Росатом»

Каменских И. М.  
« » 2009

Москва, 2009 г.

#### УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Генерального  
Директора по эксплуатации АЭС  
АО «Концерн Росэнергоатом»

А.В. Шуткин  
« » 07. 2017 г.

#### СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор  
АО «ВНИИАЭС»



Заместитель директора Филиала  
АО «Концерн Росэнергоатом» по  
реализации капитальных проектов

А.В. Баринков  
« » 2017 г.

Приложение 1  
к дополнительному соглашению № 10  
к договору № 2521/13 от 06.12.2013 г.

#### СОГЛАСОВАНО

Уд директор по технологическому развитию  
АО «Концерн Росэнергоатом»

Корниенко К. А.  
В.С. Безубиен

« » 2017 г.

Заместитель генерального директора  
АО «ВНИИАЭС» - директор по  
технологическому развитию

Н.Н. Давиденко  
« 13 » 05 2017 г.

Заместитель директора ВНИИАЭС-НТП,  
директор по директору  
отделения математического  
моделирования и тренажеростроения

В.А. Чернаков  
« » 2017 г.

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

(актуализированная версия)  
на выполнение НИОКР по теме:

«НИОКР. Доработка и эксплуатация программно-технического комплекса  
"Виртуально-цифровая АЭС с ВВЭР"»

# Цели и участники работ (ТЗ 2009г.)

## 2.1 Цели работы

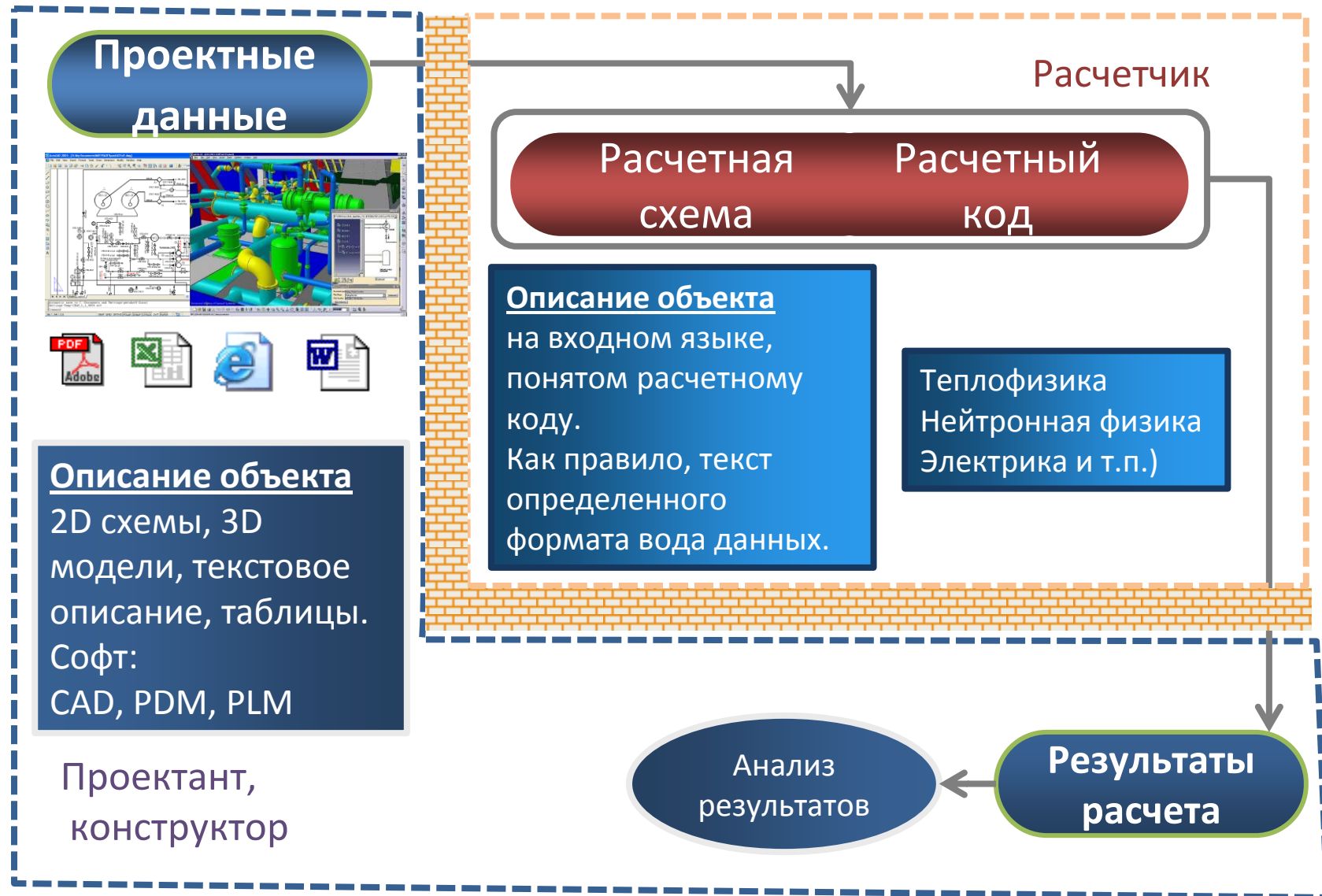
Целью работ является разработка современной системы расчётных кодов на базе суперкомпьютерных технологий, и создание программно-технического комплекса «Виртуальная АЭС с ВВЭР» с целью верификации проектных решений, информационной поддержки эксплуатирующей организации и сопровождения АЭС на всём жизненном цикле.

Под виртуальной АЭС понимается совокупность унифицированной системы расчетных кодов, интегрированных в общей системной среде и обеспечивающей согласованный расчет многообразных физических процессов в активной зоне и оборудовании АЭС, и система верифицированных исходных данных (наборов входных данных модели) для описания поведения оборудования АЭС в проектных и аварийных режимах работы.

### Участники работ:

- АО «ВНИИАЭС»,
- ИБРАЭ РАН,
- ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
- НИИ механики МГУ,
- МФТИ.

# Связь расчётных кодов и проектных данных

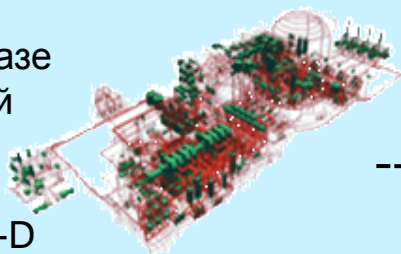


# Использование ВЦАЭС в качестве расчетной части цифрового двойника энергоблока при анализе проекта

## Цифровой двойник энергоблока

### Информационно-проектная часть цифрового двойника энергоблока

Конструкторская модель на базе SmartPlant, ПТК «Виртуальный энергоблок» для поддержки проектирования, модель сооружения энергоблока Multi-D

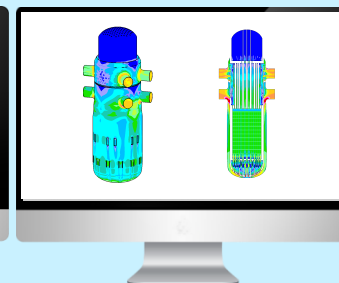
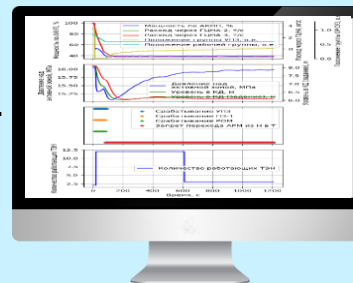
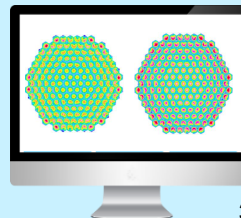


**A**

### Расчетная часть цифрового двойника энергоблока

**B**

Модели, созданные средствами ВЦАЭС, для комплексного тестирования проектов строительства/ модернизации энергоблоков и тренажеров и поддержки эксплуатации энергоблока



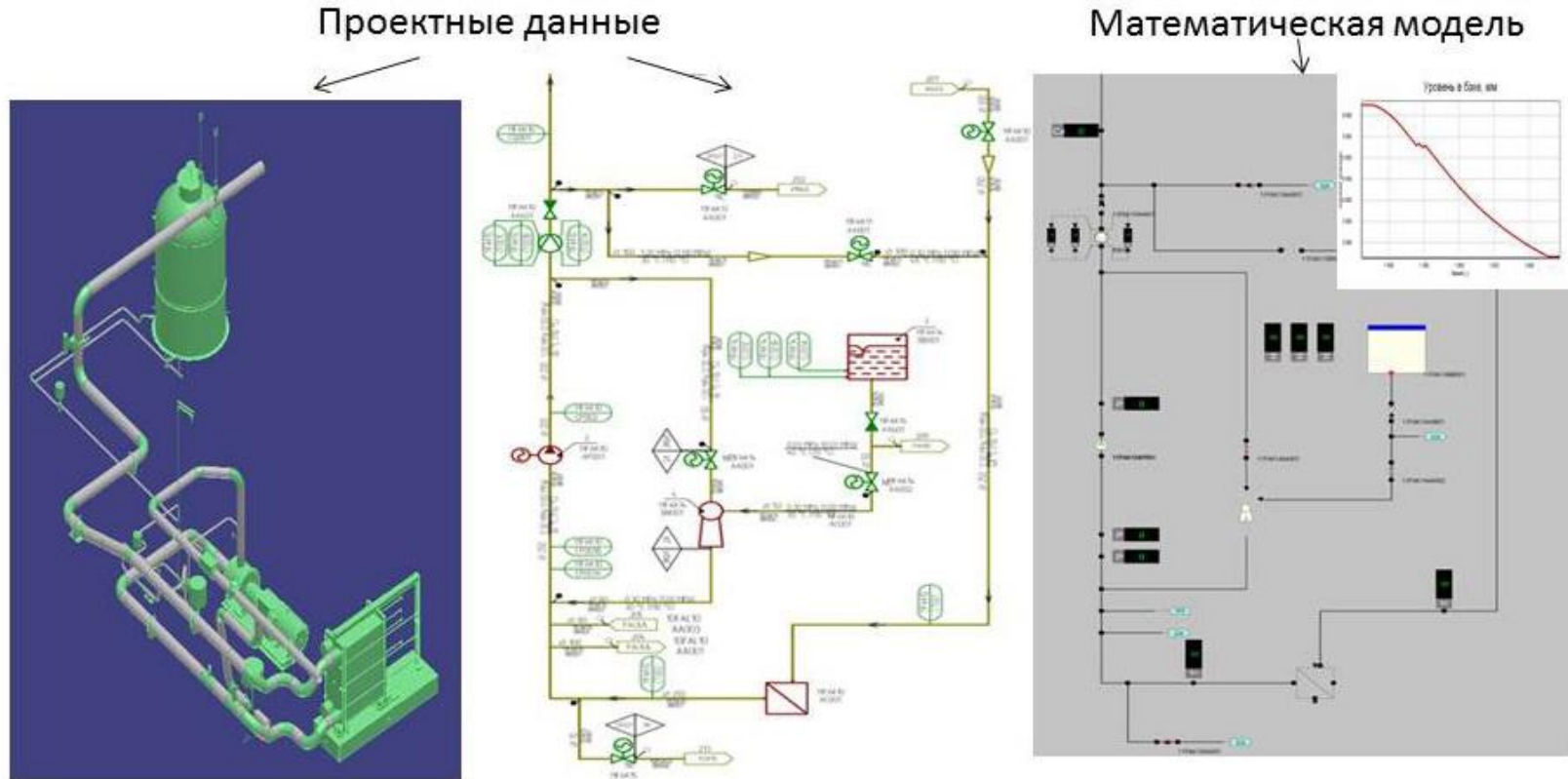
**C**

Строительство и ввод в эксплуатацию энергоблока



- A – Автоматизированная разработка расчетной части цифрового двойника энергоблока
- A + B – Анализ проектного решения с использованием расчетной части цифрового двойника
- C – В случае успешной проверки – применение проектного решения на блоке

# Пример решения по автоматизированному созданию расчетной схемы математической модели



3D схема

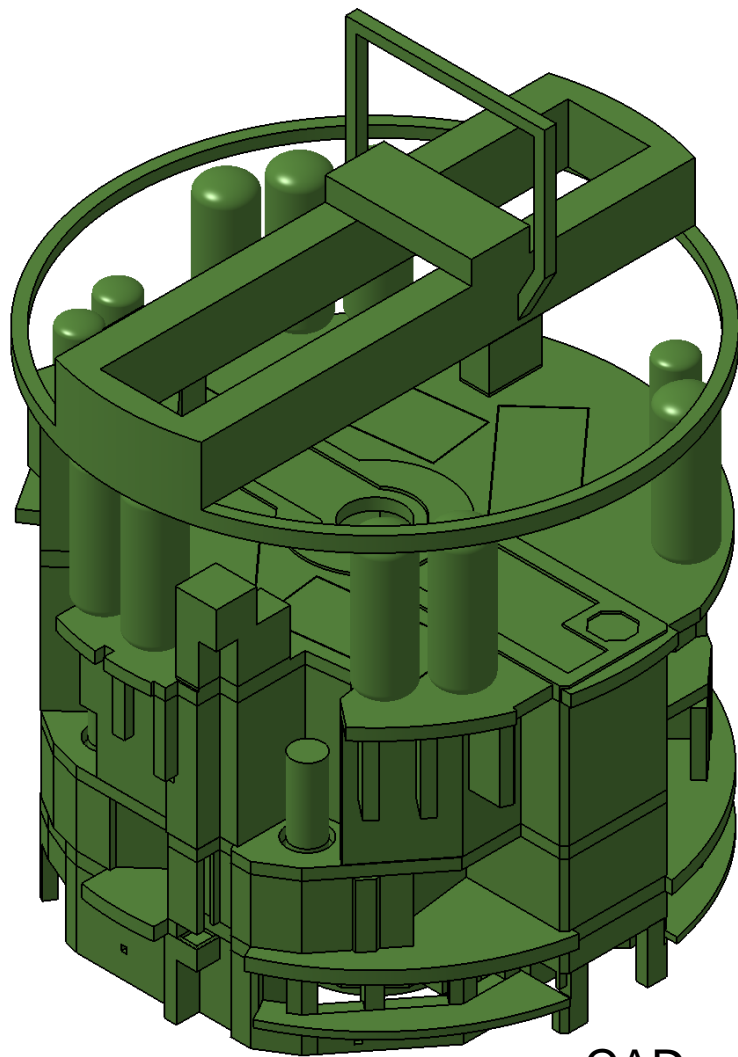
P&ID схема

Расчетная схема

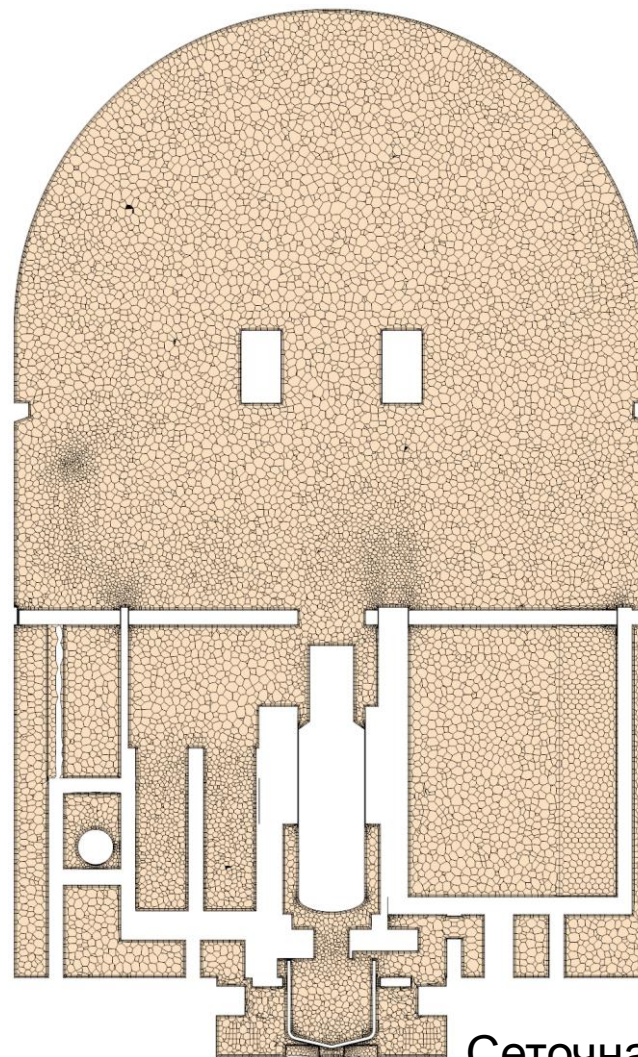


Системы бассейна выдержки

# Пример трансформации проектных данных в расчетную модель. 30 АЭС-2006



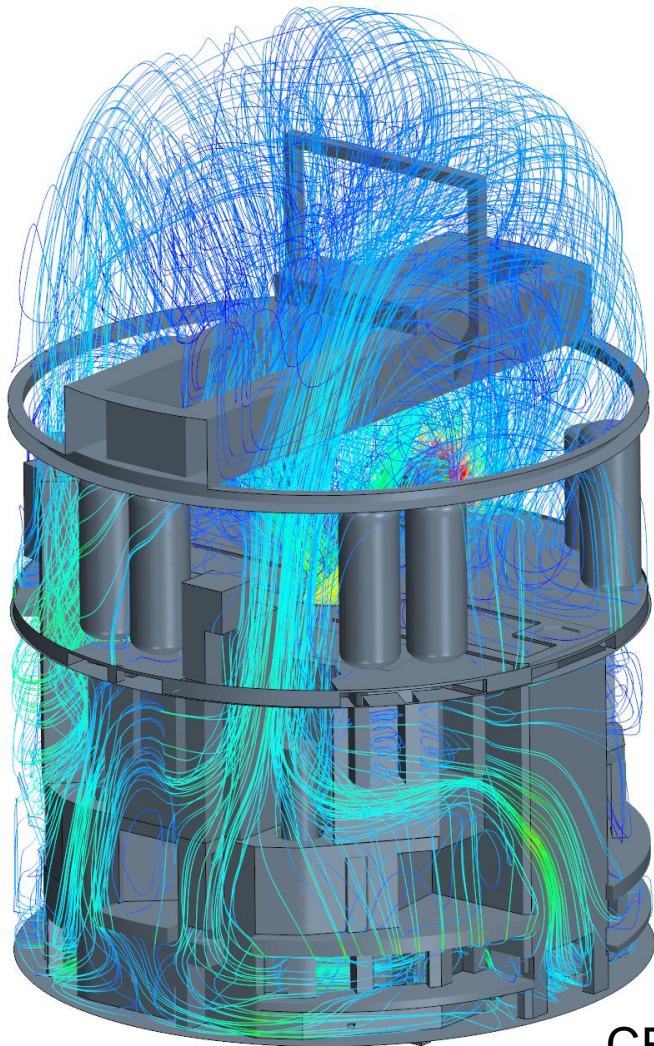
CAD модель



Сеточная модель



# Пример трансформации проектных данных в расчетную модель. ЗО АЭС-2006



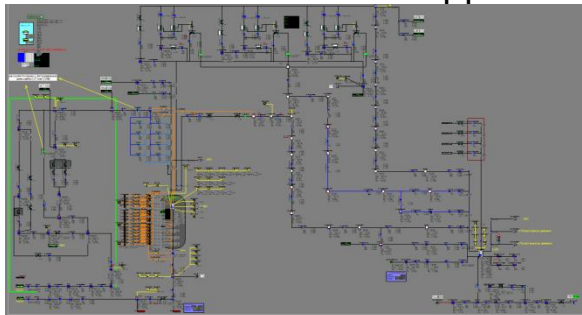
## Наполнение физическими моделями:

1. Естественная, смешанная и вынужденная конвекция подкупольной атмосферы
2. Стратификация водорода
3. Эмуляция рекомбинаторов водорода
4. Перенос и осаждение твердых частиц
5. Спринклерное охлаждение контайнмента

CFD модель (внутренняя вентиляция)

# Программно-технический комплекс «Виртуально-цифровая АЭС с ВВЭР»

## Создание математической модели



Теплогидравлика, нейтронная физика, электротехнический код, АСУ-ТП (более 300 моделируемых систем и 3,5 млн. переменных)  
+ исследовательская версия

## Компактная Супер-ЭВМ

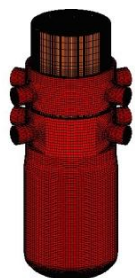


Результаты



Оператор, в случае работы в режиме тренажера

## Пульт управления моделью



## CFD-моделирование (более 1 млрд. объемов)

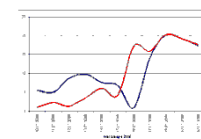
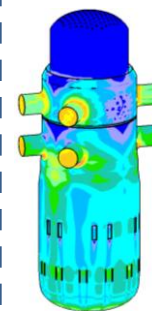
Монте-Карло нейтронная физика



Супер-ЭВМ (кластер)

Результаты

Отображение результатов



# Основные задачи ПТК ВЦАЭС

Проведение комплексной верификации проекта путем расчетного анализа пусковых, переходных, номинальных и аварийных режимов работы энергоблока с целью обоснования технических и технологических решений по основным и вспомогательным системам АЭС и системам управления, в том числе на этапе проектирования.

1

Моделирование сложных комплексных сценариев развития аварийных ситуаций с целью определения мероприятий для их предотвращения, локализации, управления и смягчения последствий.

2

3

Контроль достоверности проекта на ЖЦ (МАГАТЭ, SSR-2/1, 2016).

4

Обоснование оптимизации проекта и модернизации ЭБ.

5

База «знаний» в едином центре (верифицированные исходные данные, коды и т.д.).

6

Расчётное обоснование проекта пуско-наладочных работ.

7

Применение в обосновании инструкции по эксплуатации ЭБ.

8

Поддержка разработки РУЗА.

9

Верификация работоспособности отдельных систем и элементов с использованием прецизионных расчетных кодов.

# Виртуально-цифровая АЭС с ВВЭР – концентратор компетенций и технологий. Примеры.

- 1 Нейтронно-физические процессы рассчитываются аттестованным в Ростехнадзоре кодом **TDMCC** – разработка ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ» (Саров).
- 2 Процессы при тяжелых авариях анализируются с помощью новых ПС, созданных в развитие аттестованного в Ростехнадзоре кода **СОКРАТ** – (ИБРАЭ РАН).
- 3 Расчеты проводятся на супер-ЭВМ, поставленной ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ».
- 4 Полномасштабная комплексная модель энергоблока для тестирования проектов и тренажеров создается полностью средствами платформы ПТК ВЦАЭС.  
Модели основных систем российских цифровых АСУ ТП (ПТК ТПТС, ПТК Areva, СВБУ) создаются методом автоматической генерации по текущим версиям прикладного ПО штатных систем АСУ ТП энергоблока.
- 5 Для отображения результатов используются виртуальные пульта оператора, разработанные в системе АО «Концерн Росэнергоатом».
- 6 Комплексная программа НИОКР и мероприятий по обеспечению водородной взрывобезопасности и управлению ТА на АЭС с ВВЭР. Участники работ:  
АО «ВНИИАЭС», ИБРАЭ РАН, «РФЯЦ ВНИИТФ», АЭПы, НИЦ КИ, НТЦ ЯРБ и др.

# В перспективе верификация и оптимизация проекта с использованием технико-экономической модели ВНИИАЭС

Пример экспертизы БН-1200. НТС №1 и №8 Росатома, 18.07.2017

**Сроки сооружения (с учетом технологии возведения объектов критического пути)**

| Фундаментная часть, цоколь, опорная плита   |                        | Конструкции гермозоны          |                        |
|---|------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Объем бетона, м3                            | 7 491,00               | Объем бетона, м3               | 24 883,70              |
| Площадь застройки, м2                       | 2 568,00               | Площадь застройки, м2          | 2 568,00               |
| Численность рабочих в смену                 | 96                     | Численность рабочих в смену    | 96                     |
| Средняя масса блоков, т                     | 0,00                   | Средняя масса блоков, т        | 15,00                  |
| Кэффициент технологичности                  | 1,00                   | Кэффициент технологичности     | 0,47                   |
| Кэффициент сложности                        | стержневое армирование | Кэффициент сложности           | стержневое армирование |
| Срок строительства, мес.                    | от 9 до 10             | Срок строительства, мес.       | от 17 до 20            |
| <b>ИТОГО</b>                                |                        | <b>ИТОГО</b>                   |                        |
| Оставшееся время работы до физ. пуска, мес. | от 27 до 32            | Общий срок строительства, мес. | от 53 до 62            |

53 - 62 мес.

**Капитальные затраты (двухблочная АЭС с БН-1200М)**

Название расчёта: БН-1200 модернизированный

Метод расчёта: параметрический

Площадка: Площадка "Южно-уральская"

валюта: рубль РФ      год цен: 2016

Удельные показатели / валюта / ед.изм.

|  |        |
|--|--------|
| Удельные капитал. затраты на кВт эл. нетто | 110,00 |
| Теплофикационная составляющая, на Гкал     | 0,00   |
| Определяющая составляющая, на м3           | 0,00   |

структура капзатрат, валюта / кВт

|   |           |
|---|-----------|
| СМР   | 35 021,00 |
| оборудование и поставка                     | 56 553,00 |
| прочие затраты                              | 17 660,00 |
| непредвиденные расходы                      | 383,00    |
| <b>Кап. затраты, всего: 257,6 млрд. руб</b> |           |

110 тыс. руб./кВт

257,6 млрд. руб.

# Эффект от внедрения ПТК ВЦАЭС

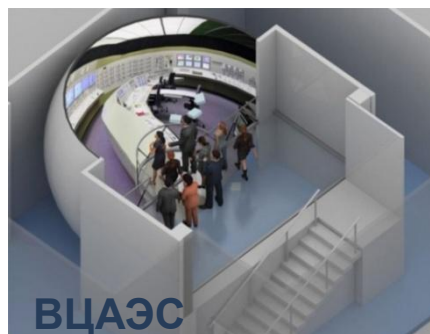
- 1 Повышение качества проекта. Сокращение несоответствий в проектах оборудования, технологических систем, электротехнических систем и системах контроля и управления на стадии проектирования.  
Возможность верификации и валидации блочного пульта управления энергоблоком и систем контроля и управления на ранней стадии разработки проекта и внесение необходимых изменений до завершения проекта. Поддержка лицензирования АЭС в надзорных органах на стадии ввода энергоблока в эксплуатацию (выполнение поверочных расчетов).
- 3 Сокращение сроков ввода в эксплуатацию энергоблоков за счет внедрения эффективного расчетного инструментария (компьютерных программ и баз данных), позволяющего ускорить процесс наладки отдельных систем и комплексных испытаний.
- 4 Предоставление для эксплуатирующих организаций лицензий на ПО ПТК ВЦАЭС в качестве приложений к проекту АЭС для обучения персонала и поддержки эксплуатации на различных этапах жизненного цикла.

# Актуальность применения ВЦАЭС

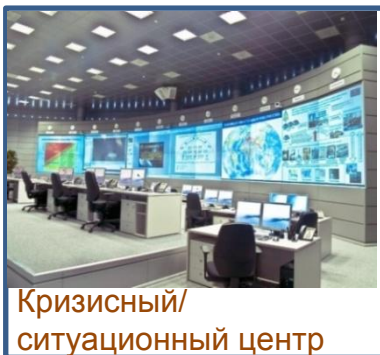
Обеспечение организаций необходимыми техническими и программными средствами для проведения расчетного моделирования, включая прецизионное, требующее значительных вычислительных ресурсов (супер-ЭВМ)



- информационная поддержка и сопровождение АЭС на протяжении всего жизненного цикла.
- повышение безопасности эксплуатации.



Отечественный конкурентоспособный коммерческий программный продукт, который является необходимым самостоятельно функционирующим приложением к проекту



- замена зарубежных коммерческих программ, применяемых в настоящее время для обоснования проектов.
- верификации проектных решений



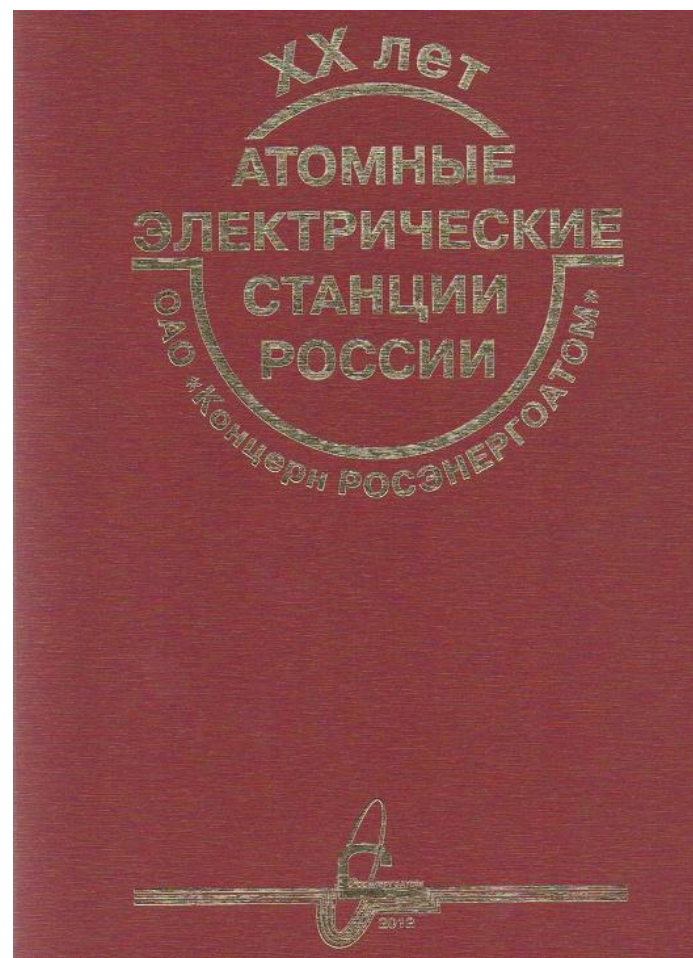
# Детальное описание ВЦАЭС приведено в юбилейном сборнике АО «Концерн Росэнергоатом»

---

**«Виртуальная АЭС» – эффективный инструмент поддержки проектирования и эксплуатации современных энергоблоков**

---

д.т.н. Асмолов В.Г.  
ОАО «Концерн Росэнергоатом»  
к.т.н., к.э.н. Аркадов Г.В., д.ф.-м.н. Крошили А.Е.,  
Паршиков И.А., д.т.н. Соловьев С.Л., к.т.н. Шишов А.В.  
ОАО «ВНИИАЭС»  
чл.-корр. РАН Большов Л.А., к.ф.-м.н. Мосунова Н.А.,  
д.ф.-м.н. Стрижов В.Ф.  
ИБРАЭ РАН  
к.т.н. Жукавин А.П.  
ОАО «ДЖЭТ»





# ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «ВИРТУАЛЬНО-ЦИФРОВАЯ АЭС С ВВЭР»

ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА  
КРИЗИСНОГО ЦЕНТРА  
АО «КОНЦЕРН  
РОСЭНЕРГОАТОМ»



ВЕРИФИКАЦИЯ  
ПРОЕКТНЫХ  
РЕШЕНИЙ



РАСЧЕТНОЕ  
ОБОСНОВАНИЕ  
БЕЗОПАСНОСТИ

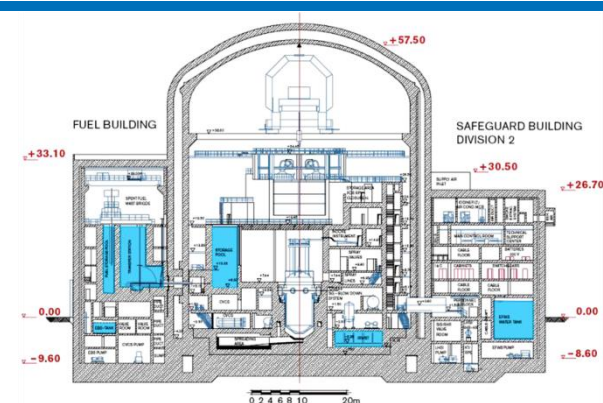


ПОВЫШЕНИЕ  
ОПЕРАЦИОННОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ



# ВЦАЭС - современный инструмент поддержки жизненного цикла атомных энергоблоков

Опыт разработки программных комплексов, применение современных информационных технологий и суперкомпьютеров позволяют существенно повысить качество проектирования и обоснования безопасности АЭС.



Можно выделить три основных направления применения суперкомпьютерных технологий для развития программных комплексов атомной энергетики:

1. Проверка проектных решений на математических моделях АЭС, созданных на основе тренажерных технологий и отличающихся полнотой моделирования систем энергоблока.
2. Обоснование безопасности с использованием сопряженных программных комплексов.
3. Разработка прецизионной взаимосвязанной системы кодов нового поколения, позволяющей на существенно более качественном уровне (практически без использования эмпирических соотношений) рассчитывать процессы, протекающие в компонентах энергоблока, в первую очередь в активной зоне и системах безопасности.

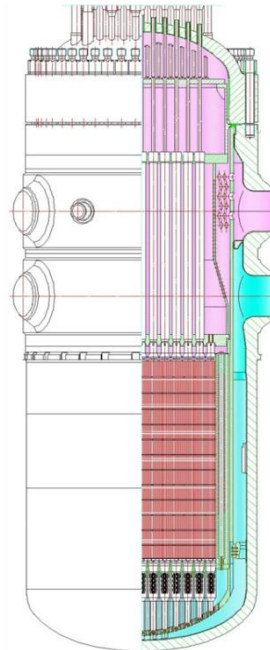
# Возможности исследовательской версии ВЦАЭС

Современные вычислительные мощности АО «ВНИИАЭС» позволяют создавать теплогидравлические модели в технологии CFD с размером расчетных областей более одного миллиарда контрольных объемов.

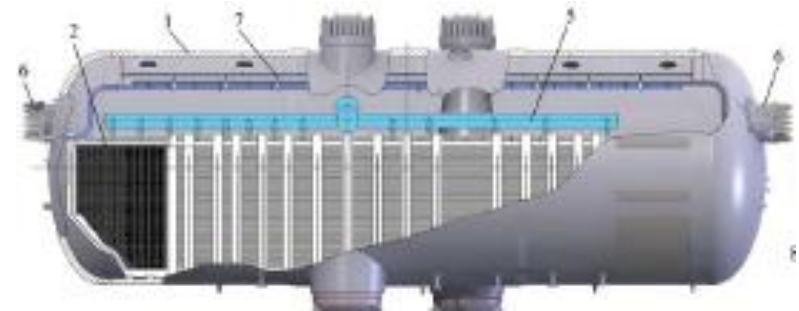
Появляется возможность анализировать трехмерную теплогидравлику проточных частей полномасштабных элементов конструкции или контура циркуляции реакторной установки в стационарных, переходных и аварийных режимах работы энергоблока АЭС. Код STAR-SSM+ верифицирован, заканчивается процедура аттестации.



Тепловыделяющая  
сборка



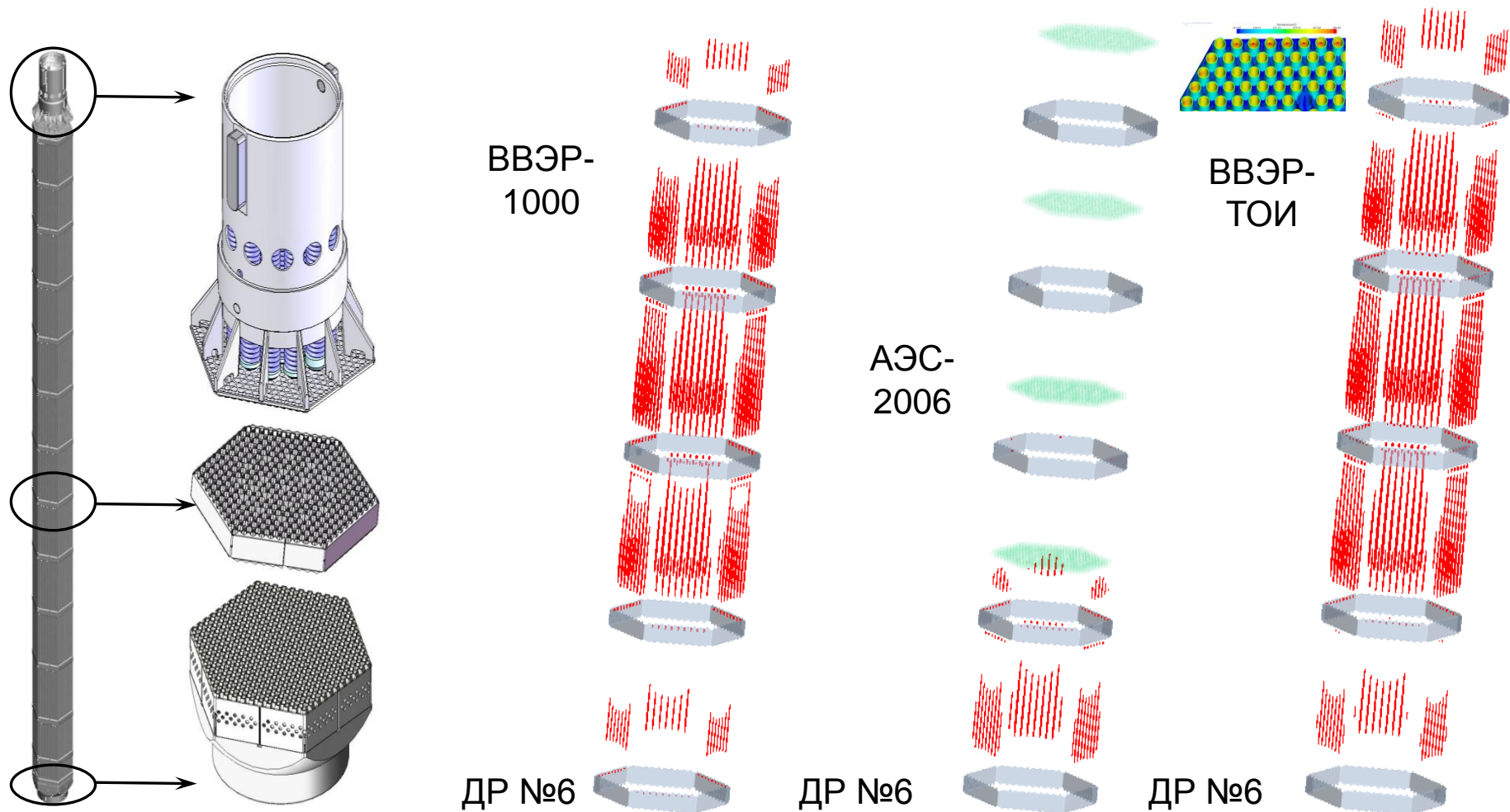
Ядерный  
реактор



Парогенератор

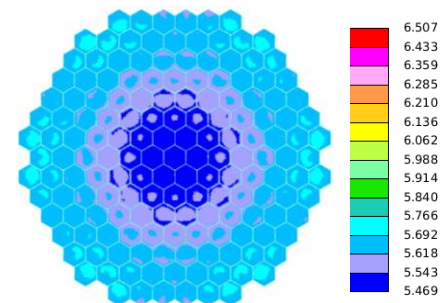
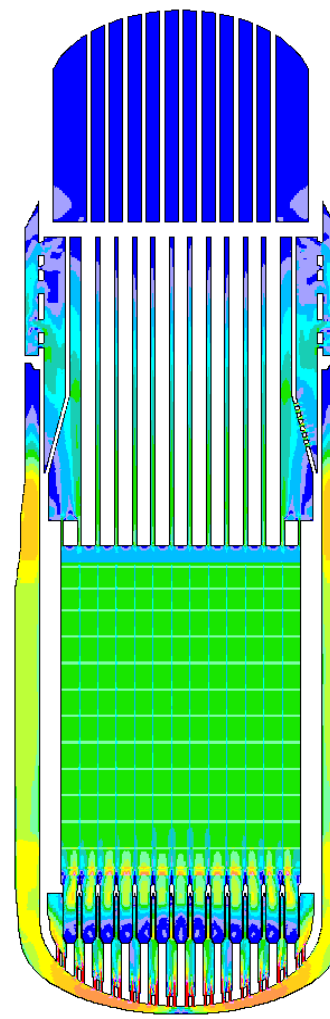
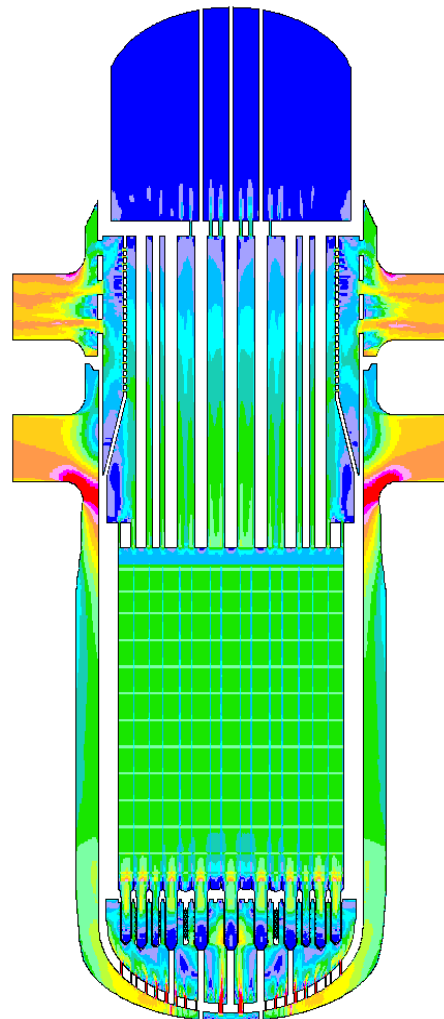
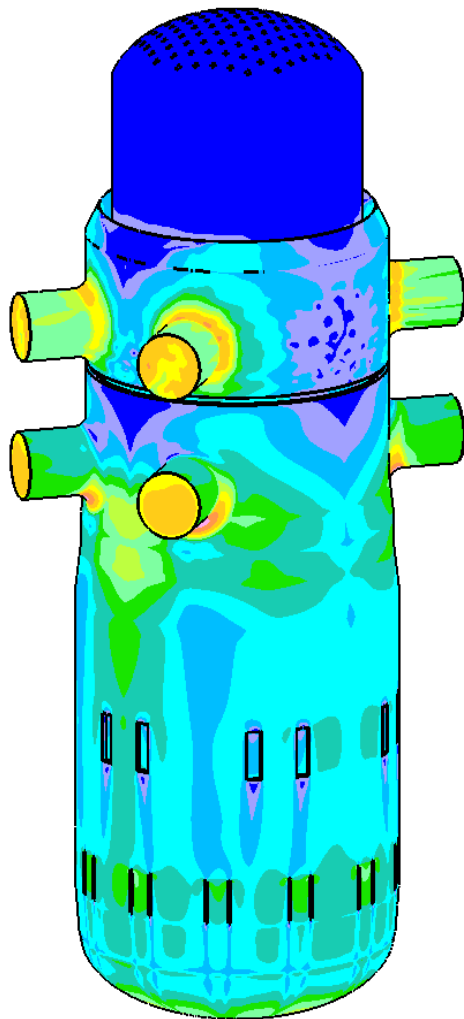
# ТВС: зоны наружной поверхности оболочки твэлов с температурой свыше 350 градусов в номинальном режиме эксплуатации (выделены красным)

Распределение энерговыделения по высоте топливного столба на начало загрузки

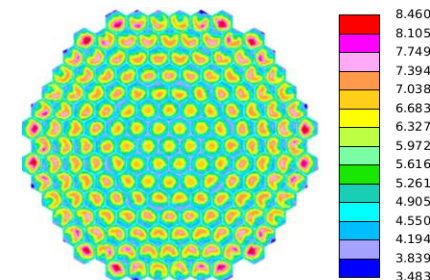


# Полномасштабная CFD-модель реактора проекта АЭС-2006, созданная средствами ВЦАЭС

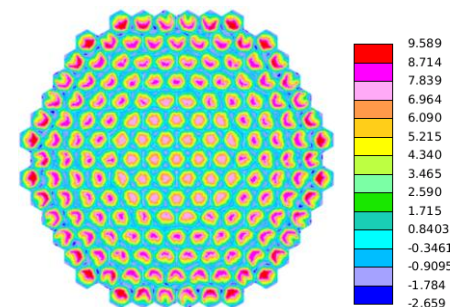
Скорость потока теплоносителя на МКУ, м/с



Середина между ДРН№3 и №4

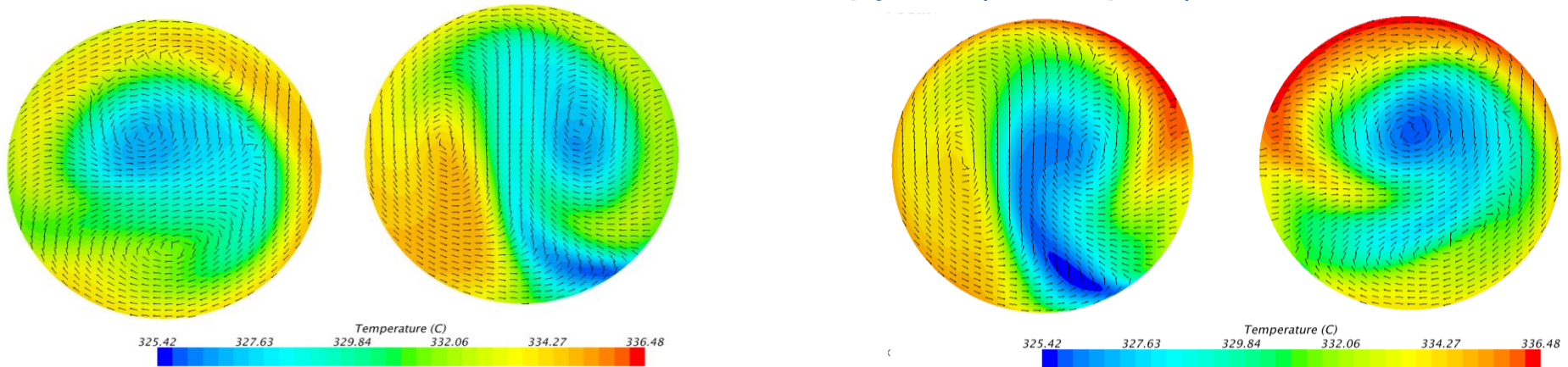


Середина между ДРН№1 и №2

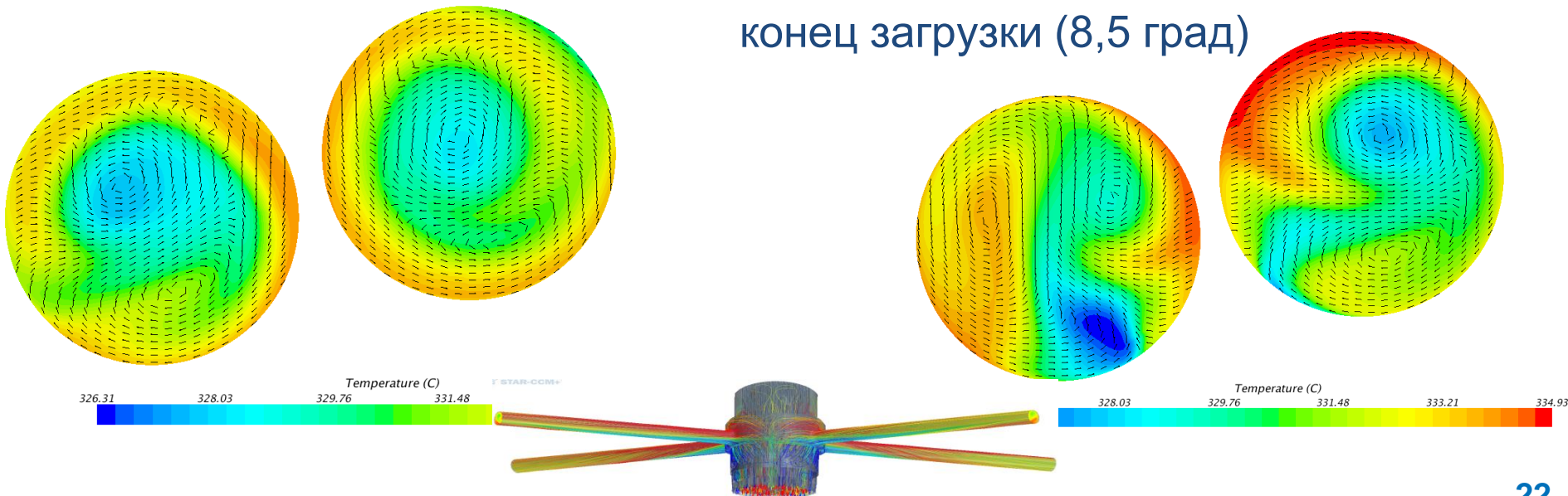


# Температура теплоносителя в горячих нитках ГЦТ в местах установки датчиков температурного контроля реактора проекта АЭС-2006

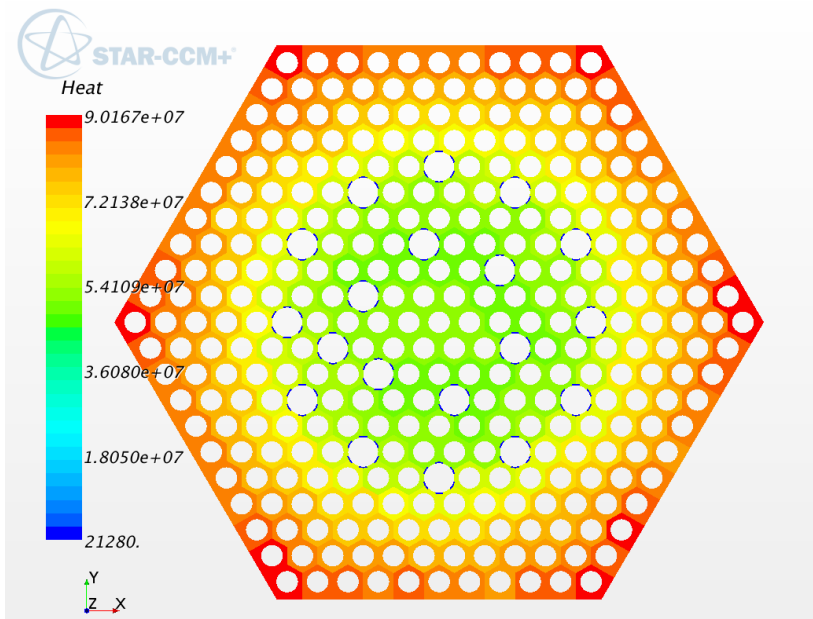
начало загрузки (11,0 град)



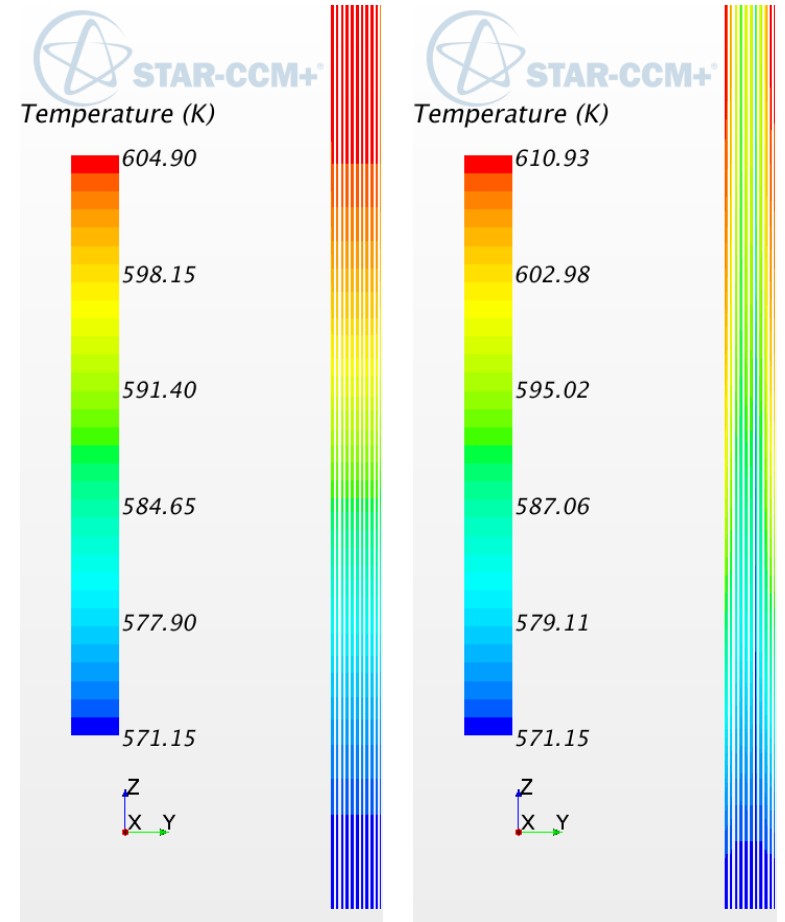
конец загрузки (8,5 град)



# Сопряженная нейтронно-физическая (метод Монте-Карло) и теплогидравлическая (CFD-метод) модель ТВС проекта АЭС-2006



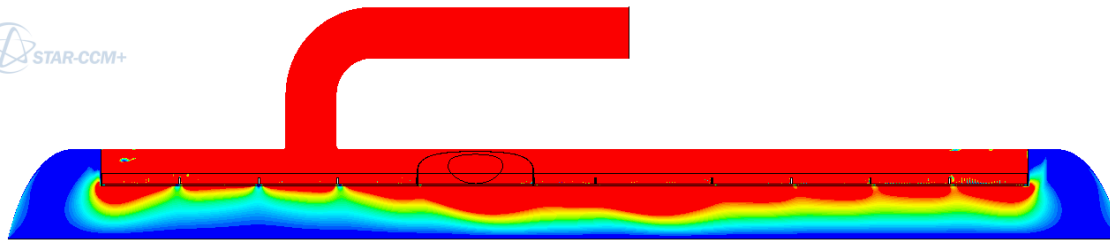
Распределение тепловыделения в поперечном сечении ТВС



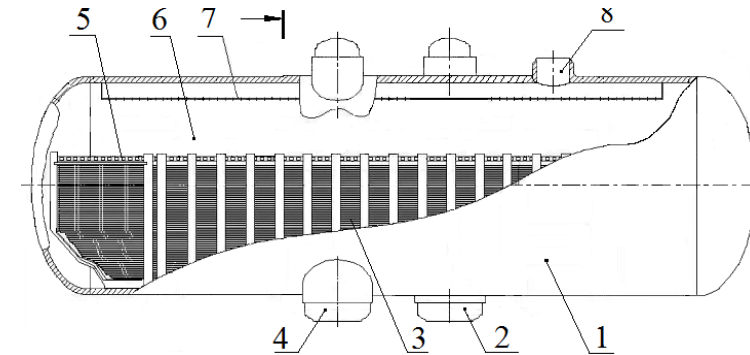
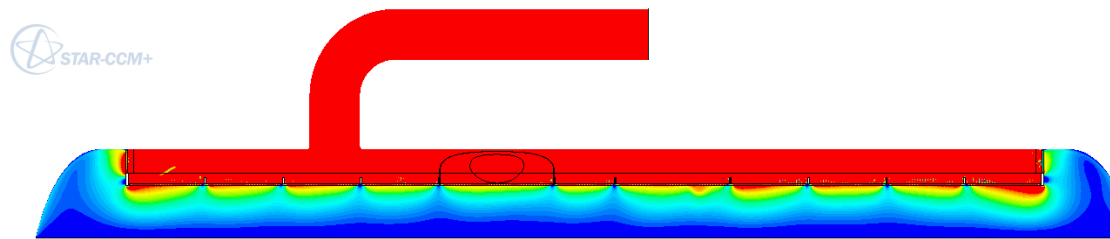
Распределение температуры теплоносителя несопряженный (слева) и сопряженный (справа) расчеты

# Оптимизация конструкции системы отвода пара из корпуса ПГВ-1000МКО проекта ВВЭР-ТОИ

## Характеристики базового варианта конструкции

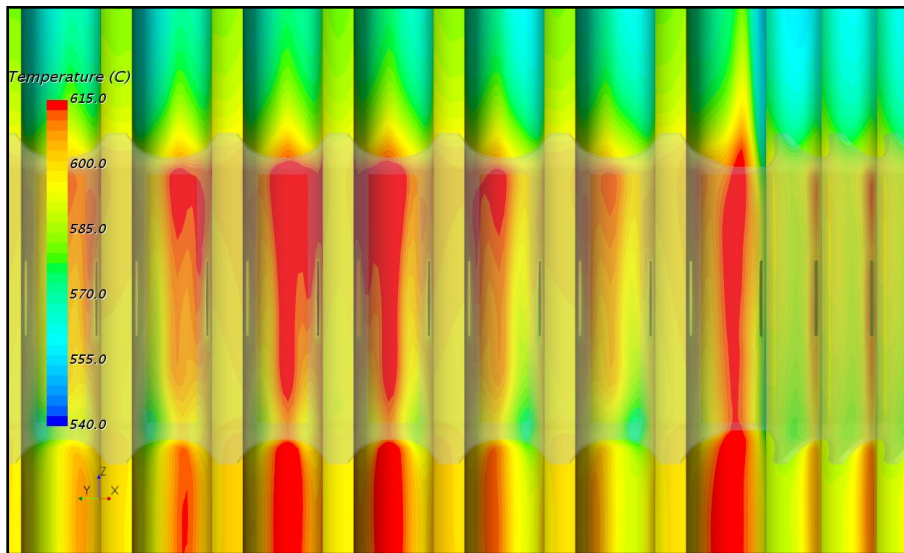


## Характеристики оптимизированного варианта конструкции



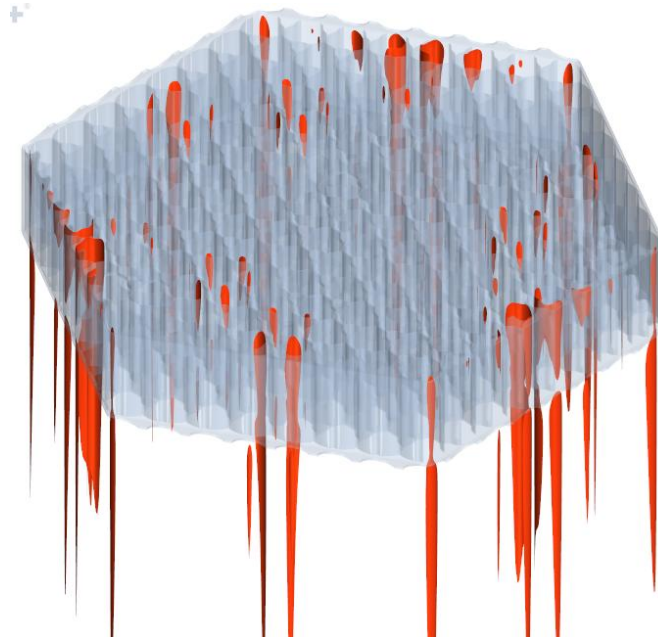


# Температура наружной поверхности оболочки твэлов и скорость потока теплоносителя в ТВС БРЕСТ-ОД-300



Максимальная разница по температуре по периметру оболочки твэлов достигает 80 С

Области обода ДР, где скорость потока теплоносителя превышает 3 м/с



Области с максимальной температурой оболочки твэлов ДРН№7 (изоповерхности)

# Верификация CFD моделей ВЦАЭС. Проект МАГАТЭ «Применение кодов CFD-класса при проектировании новых АЭС»

**Nuclear Power Technology Development  
First Research Coordination Meeting on Application of CFD  
Codes for the Design of Advanced WCRs  
17 - 19 July 2013, IAEA Headquarters, Vienna, Austria**



# Скоординированный исследовательский проект МАГАТЭ «Применение кодов вычислительной гидродинамики (CFD) в проектировании АЭС»

## Страны участники:

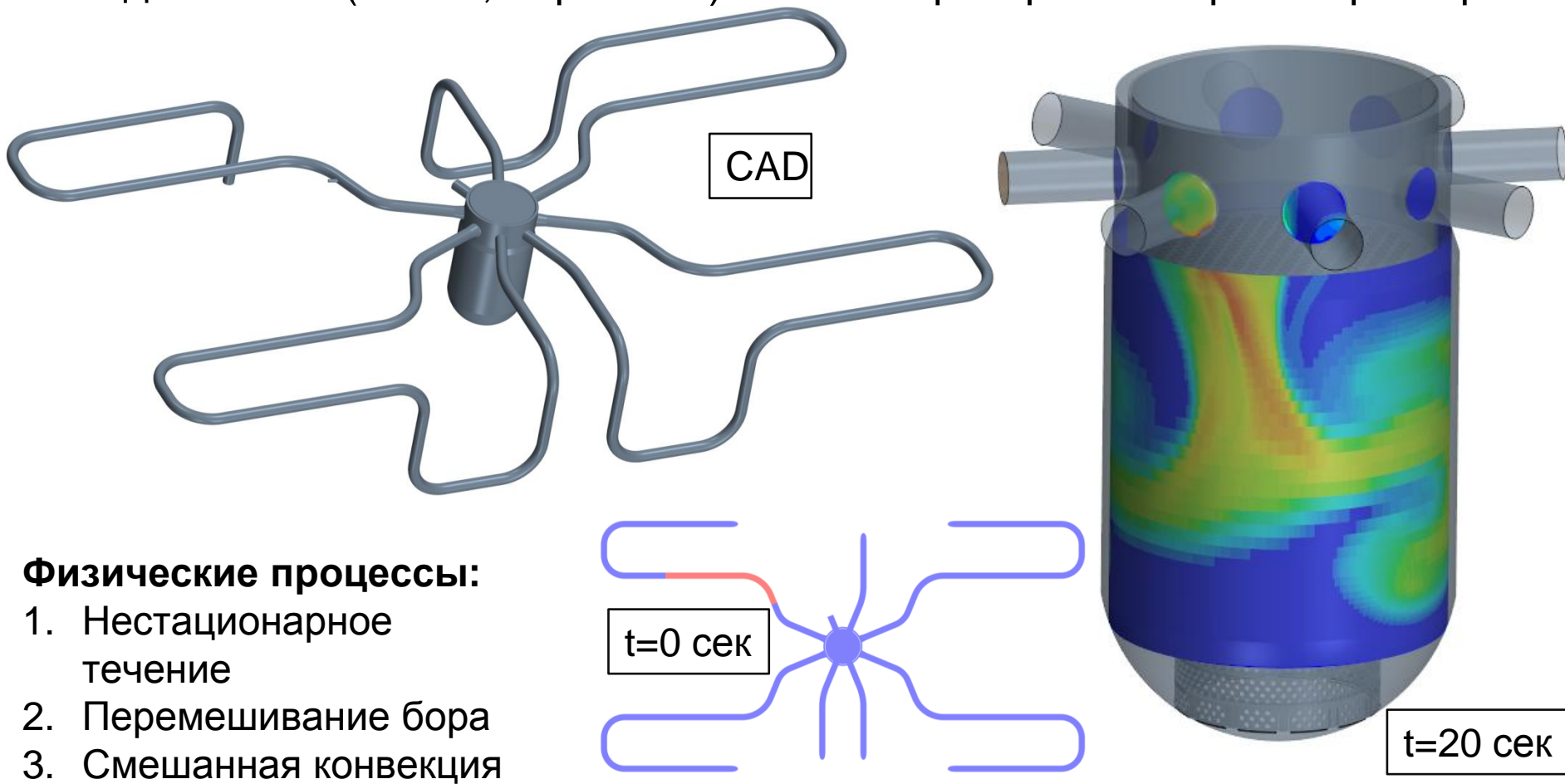
1. Канада
2. Китай
3. Франция
4. Германия
5. Индия
6. Италия
7. Южная Корея
8. Россия
9. Швейцария
10. США
11. Алжир

## Организации участники:

- |                                   |                            |
|-----------------------------------|----------------------------|
| 1. CNL                            | /Canada                    |
| 2. Jiao Tong University, Shanghai | /China                     |
| 3. CEA                            | /France                    |
| 4. AREVA                          | /France                    |
| 5. EDF                            | /France                    |
| 6. HZDR                           | /Germany                   |
| 7. BARC                           | /India                     |
| 8. University of Pisa             | /Italy                     |
| 9. KAERI                          | /Republic of Korea         |
| 10. GIDROPRESS                    | /Russian Federation        |
| <b>11. VNIIAES</b>                | <b>/Russian Federation</b> |
| 12. Goldsmith Transactions        | / Switzerland              |
| 13. MIT                           | /USA                       |
| 14. Texas A&M University          | /USA                       |
| 15. CNRB                          | /Algeria                   |
| 16. Westinghouse                  | /USA                       |

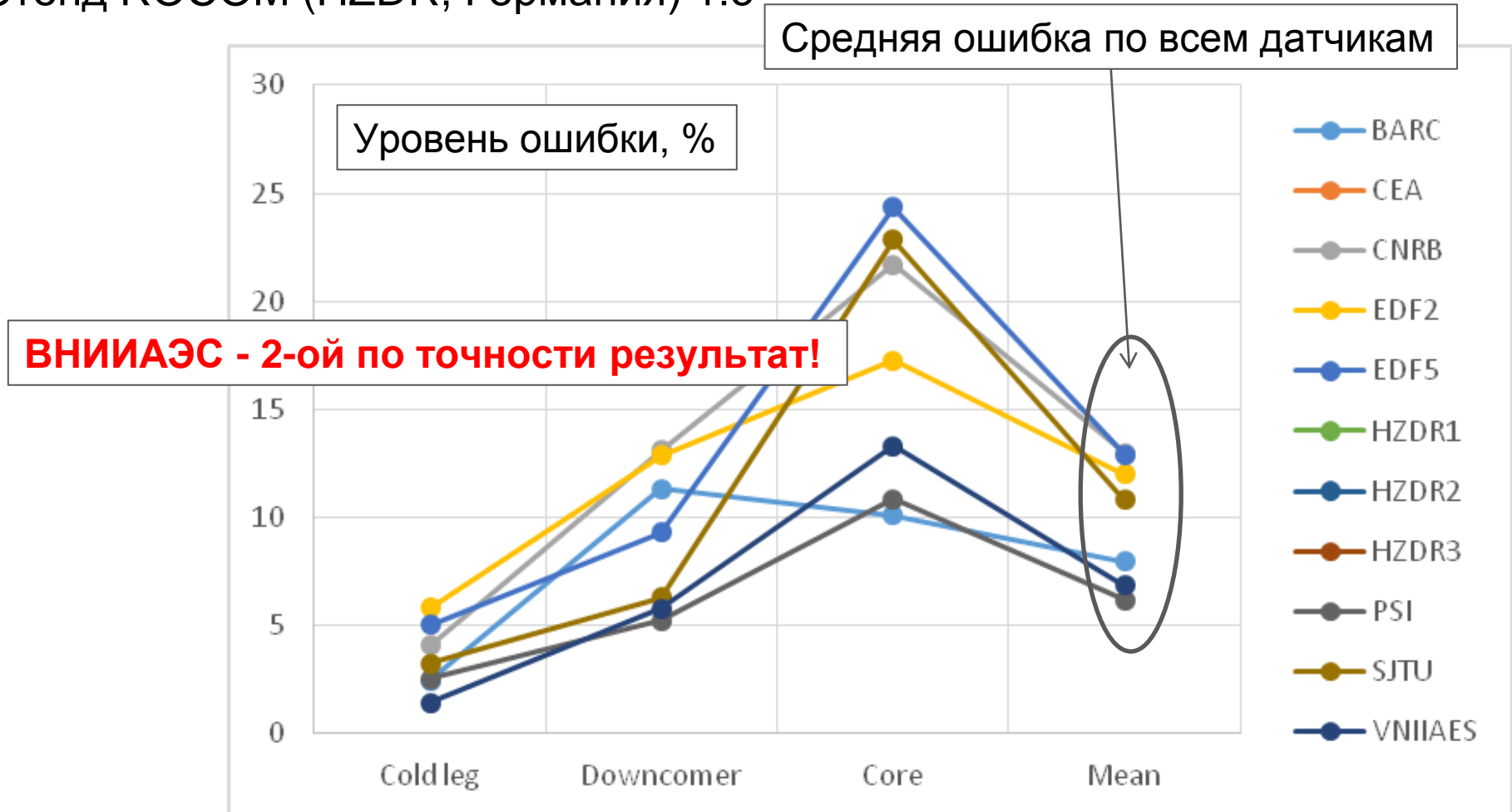
# Скоординированный исследовательский проект МАГАТЭ «Применение кодов вычислительной гидродинамики (CFD) в проектировании АЭС»

Стенд ROCOM (HZDR, Германия) 1:5. Распространение раствора бора.



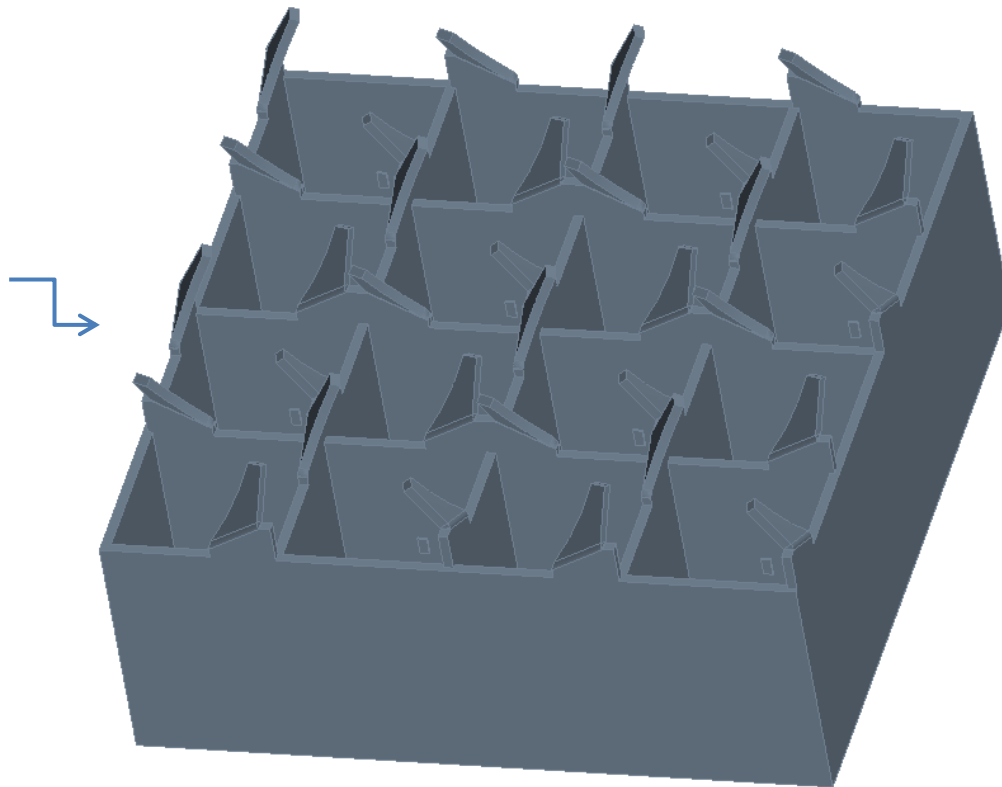
# Скоординированный исследовательский проект МАГАТЭ «Применение кодов вычислительной гидродинамики (CFD) в проектировании АЭС»

Стенд ROCOM (HZDR, Германия) 1:5

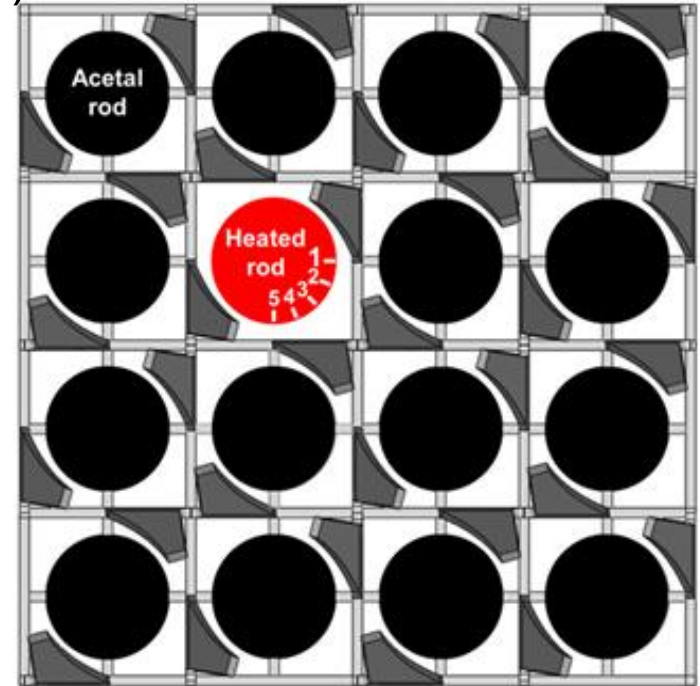


# Скоординированный исследовательский проект МАГАТЭ «Применение кодов вычислительной гидродинамики (CFD) в проектировании АЭС»

Стенде “OFEL” (KAERI, Ю.Корея)



Перемешивающая решетка

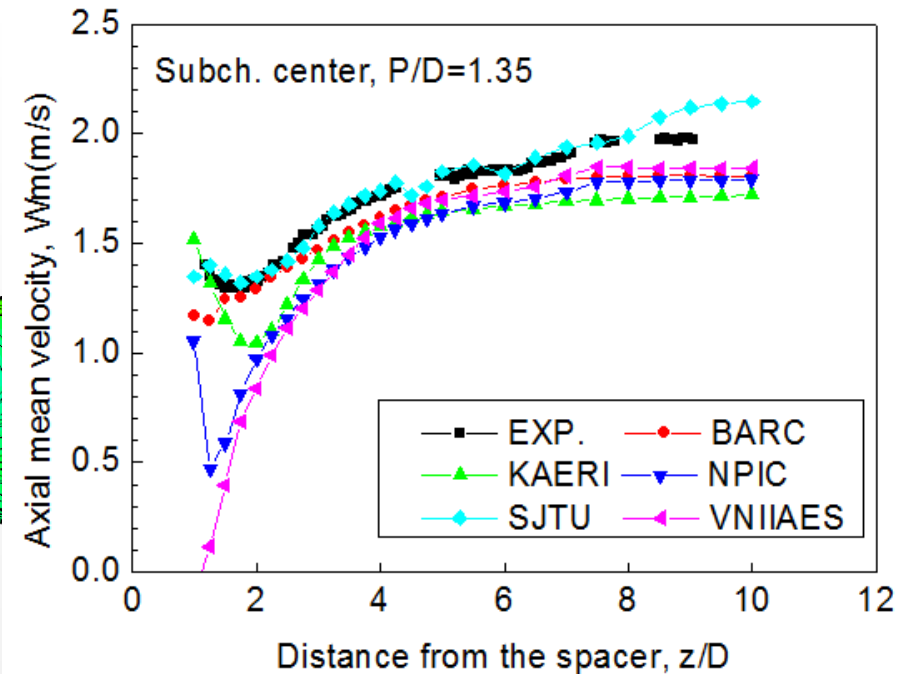
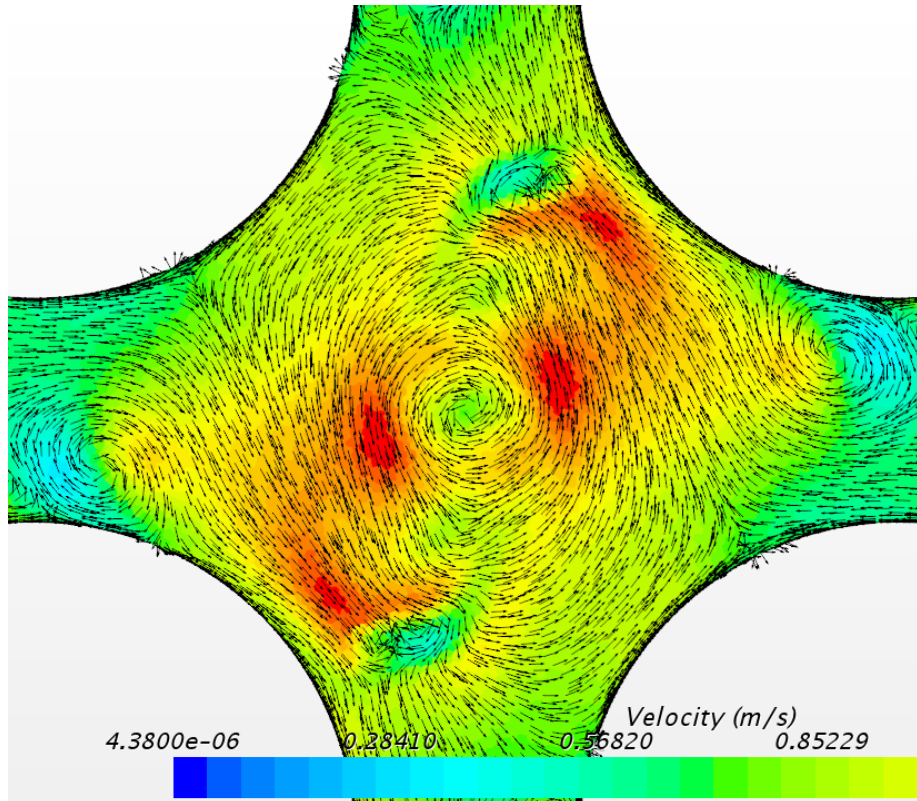


$P/D=1.35$

Измерение скорости и температуры за перемешивающей решеткой

# Скоординированный исследовательский проект МАГАТЭ «Применение кодов вычислительной гидродинамики (CFD) в проектировании АЭС»

Стенде “OFEL” (KAERI, Ю.Корея)



CFD (VNIIAES)

# ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «ВИРТУАЛЬНО-ЦИФРОВАЯ АЭС С ВВЭР»

ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА  
КРИЗИСНОГО ЦЕНТРА  
АО «КОНЦЕРН  
РОСЭНЕРГОАТОМ»



ВЕРИФИКАЦИЯ  
ПРОЕКТНЫХ  
РЕШЕНИЙ



РАСЧЕТНОЕ  
ОБОСНОВАНИЕ  
БЕЗОПАСНОСТИ



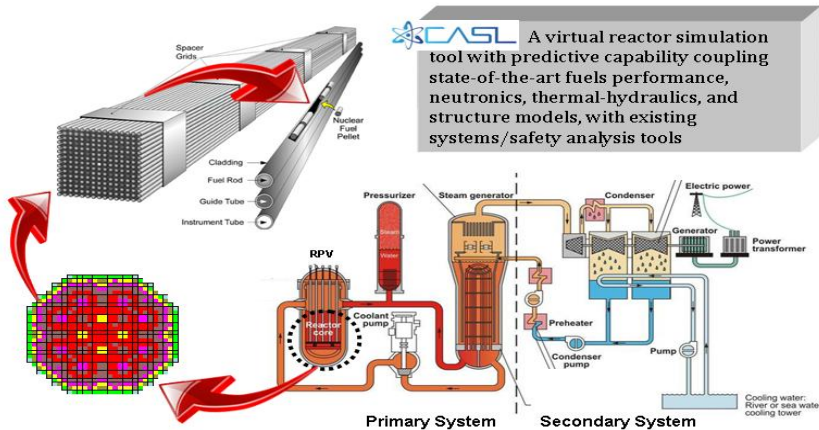
ПОВЫШЕНИЕ  
ОПЕРАЦИОННОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ





# ВЦ АЭС – определяющий современный фактор конкурентоспособности и обязательное приложение к проекту

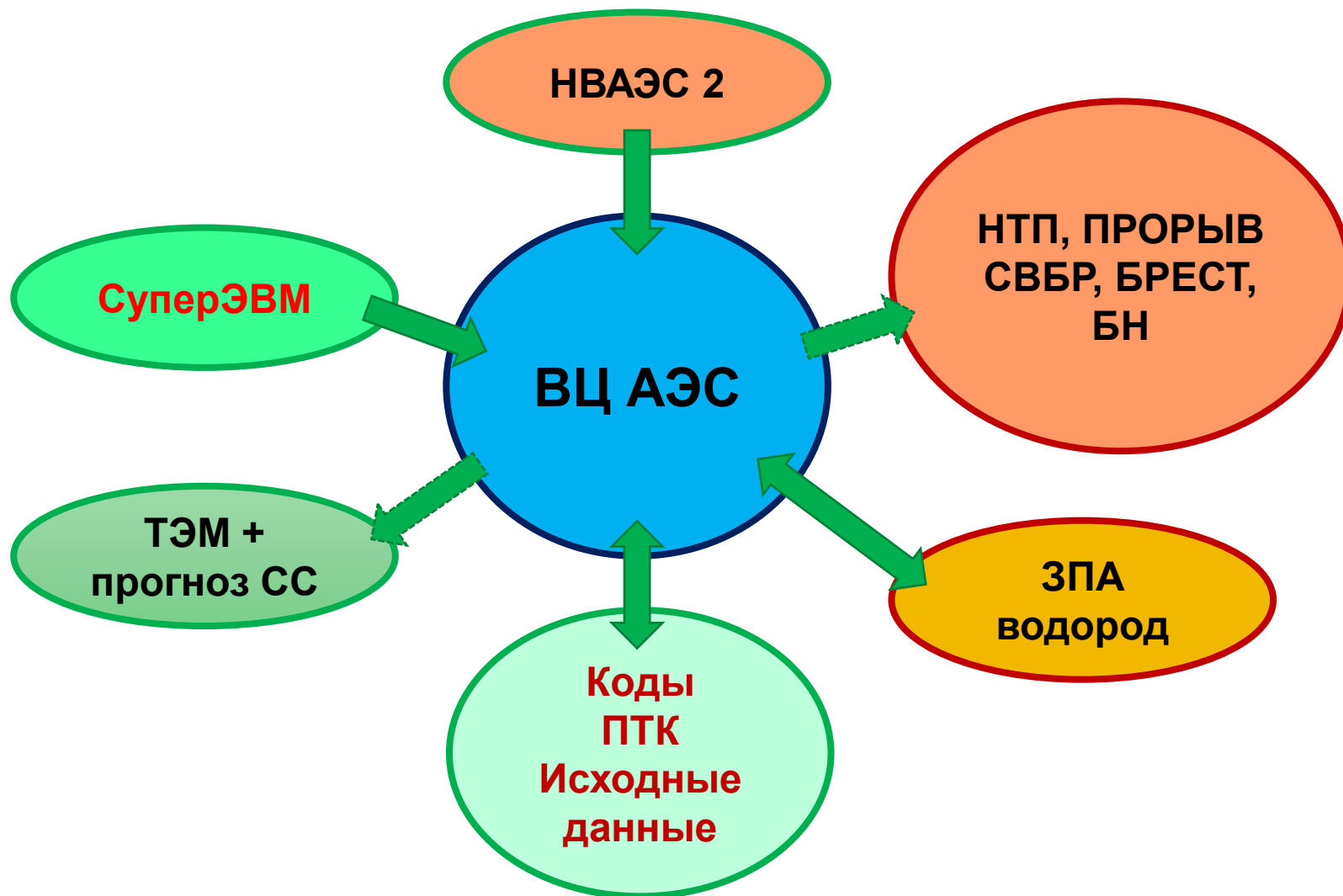
- США разработка виртуального реактора консорциумом CASL



- Франция (EdF) разработка виртуального реактора в рамках проекта «АЭС будущего» + независимое подразделение в EdF для верификации проектов



# Окружение ВЦАЭС. Перспективы развития



# Перспективы применения ВЦАЭС

## Кризисный центр КРЭА:

Анализ аварийных ситуаций на блоках, подготовка и проведение противоаварийных учений

ВЦАЭС

## Центр технический компетенций (технологический интегратор) по анализу проектов блоков на базе ВНИИАЭС:



Комплексный анализ проектов, строительства/модернизации и технических решений по блокам на протяжении всего жизненного цикла

## Центр технический компетенций (технологический интегратор) по ТСО на базе ВНИИАЭС\*:

Разработка/модернизация ТСО для УТЦ АЭС в РФ и за рубежом

\* создается в соответствии с приказом КРЭА №9/286-П от 07.03.2018

---

# ПРИЛОЖЕНИЯ

# Сравнение ПТК «ВЭБ АЭС» и ПТК «ВЦАЭС».

## Основные задачи

### ПТК «ВЭБ АЭС»:

- Верификация проектных решений целью обоснования технических и технологических решений по основным и вспомогательным системам АЭС и системам управления, в том числе на этапе проектирования.
- Расчётное обоснование проекта пуско-наладочных работ.
- Моделирование сложных комплексных сценариев развития аварийных ситуаций с целью определения мероприятий для их предотвращения или локализации.
- Применение в обосновании инструкции по эксплуатации энергоблока.
- Проверка функций оператора на виртуальном БПУ

### ПТК «ВЦАЭС»:

- Комплексная верификация проекта.
- Задачи, аналогичные ПТК «ВЭБ АЭС»,  
кроме того:
- Широкий спектр процессов от нормальной эксплуатации до тяжелых аварий, вплоть до расчета дозовых нагрузок на персонал и население.
- Верификация работоспособности отдельных систем и элементов с использованием прецизионных расчетных кодов.
- Верификация и аттестация кодов
- Поддержка разработки РУЗА.
- Контроль достоверности проекта на всем ЖЦ (МАГАТЭ, SSR-2/1, 2016).
- Проверка ПООБ, ООБ, УОБ и т.д.

# Цифровизация. В рамках ВЦАЭС и окружения развиваются три основные сквозные технологии из девяти (Программа «цифровая экономика РФ»)

1. Технологии виртуальной и дополненной реальности

2. Большие данные

3. Нейротехнологии и искусственный интеллект

4. Кроме того, развиваются «прорывные» технологии объединения трехмерных теплогидравлических кодов CFD-класса с системными тепогидравлическими кодами и нейтроннофизическими кодами класса Монте-Карло. Их применение позволит сократить отработку конструкторских решений и снизить запасы консерватизма

|     |  |                            |                            |   |
|-----|--|----------------------------|----------------------------|---|
| 9.3 | Обоснование концепции единой унифицированной системы управления ЗПА и тяжёлыми авариями на АЭС с ВВЭР, разработанной в п.5.6 на базе 3-хмерного CFD-моделирования, <b>нейро-сетевой идентификации ЗПА</b> и прогнозирования развития аварии. с применением аттестованных кодов | АО «ВНИИАЭС»<br>АО «НИАЭП» | Май 2019 –<br>Декабрь 2019 | Научно-технический отчет «Концепция единой унифицированной системы управления запроектными и тяжёлыми авариями на АЭС с ВВЭР» |
|-----|--|----------------------------|----------------------------|---|

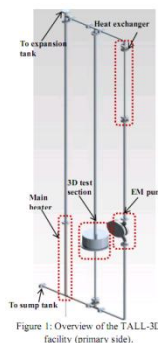


Figure 1: Overview of the TALL-3D facility (primary side).

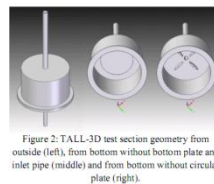


Figure 2: TALL-3D test section geometry from outside (left), from bottom without bottom plate and inlet pipe (middle) and from bottom without circular plate (right).

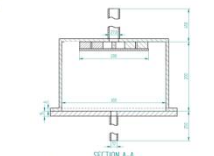


Figure 3: Dimensions of 3D test section on a two-dimensional vertical cross-section.

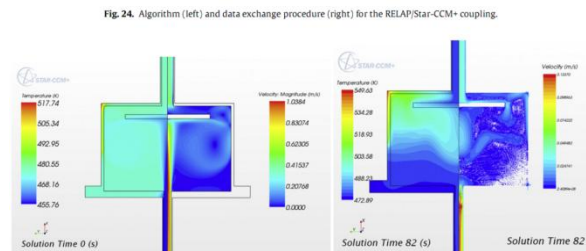


Fig. 24. Algorithm (left) and data exchange procedure (right) for the RELAP/Star-CCM+ coupling.

Fig. 25. Temperature and velocity fields in the 3D section at  $t=0s$  (forced convection) and  $t=82s$  (maximum downward flow).

