



ПЕРЕДОВАЯ  
ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА НГТУ

# Исследования гидродинамики и теплообмена в активных зонах и основном оборудовании высокотемпературных ядерных реакторов с газовым теплоносителем

Институт: ИЯЭиТФ

младший научный сотрудник

**Рязанов Антон Владимирович**

[a\\_v\\_ryazanov@mail.ru](mailto:a_v_ryazanov@mail.ru)

8 952 452-29-28



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ  
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



**Передовые  
инженерные  
школы**



НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. П. Е. Алексеева





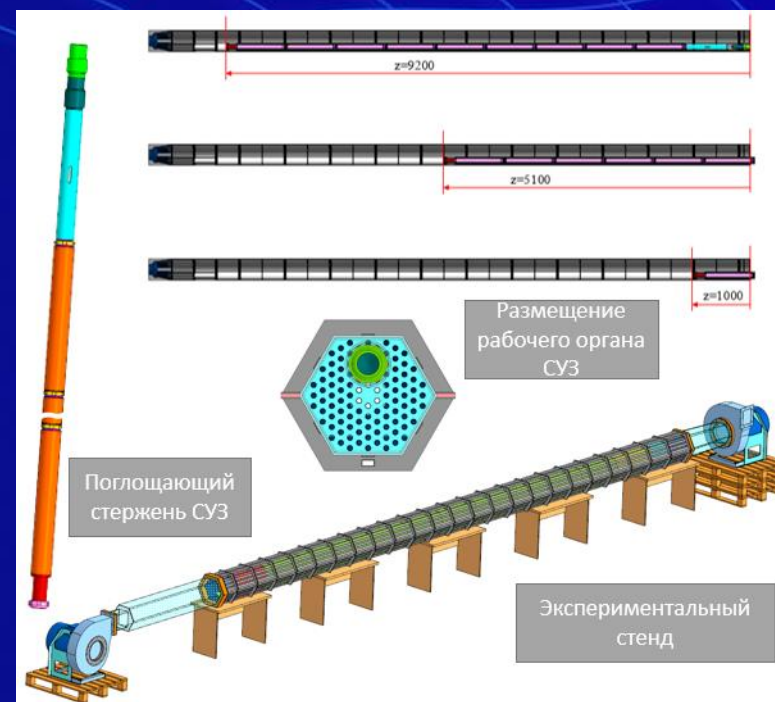
ПЕРЕДОВАЯ  
ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА НГТУ

## Исследования гидравлических характеристик поглощающего стержня СУЗ ВТГР

**Решаемая проблема:** Тепловыделяющая сборка реактора ВТГР выполняется в виде графитовых призматических призм, которые собираются в колонны высотой 10,6 м. В части ТВС предусмотрены каналы для размещения поглощающего стержня системы управления и защиты. В зависимости от режима работы реакторной установки положение рабочего органа изменяется, в результате чего меняется гидравлика 1 контура в целом. При извлечении поглощающего стержня увеличивается доля байпасной протечки теплоносителя, что ухудшает теплоотвод от активной зоны, и может привести к аварийному останову реактора. Поэтому необходимо провести экспериментальные исследования, которые позволят определить доли расходов гелиевого теплоносителя через активную зону реактора при различных режимах эксплуатации.

### Задачи:

1. разработать экспериментальную модель колонны тепловыделяющей сборки реактора ВТГР;
2. обосновать представительность модельных экспериментальных исследований;
3. изготовить и собрать экспериментальный стенд и исследовательскую модель (масштаб 1:1) колонны тепловыделяющей сборки;
4. провести серию экспериментов по определению долей расходов теплоносителя в основных участках движения через колонну тепловыделяющей сборки.





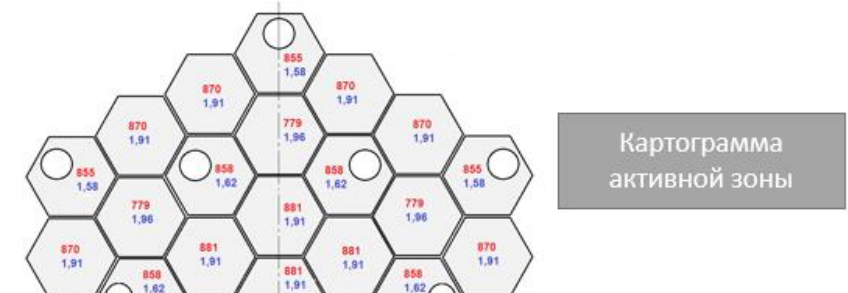
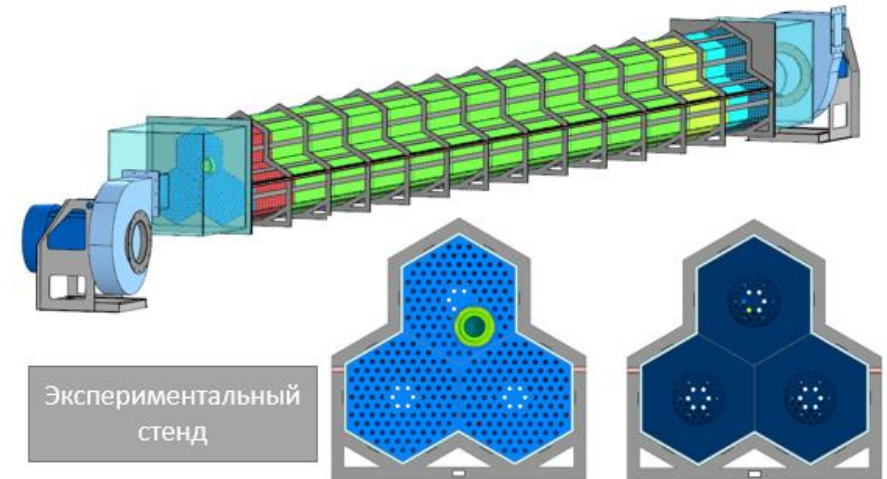
ПЕРЕДОВАЯ  
ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА НГТУ

## Исследования газодинамики теплоносителя в условиях изменяющейся геометрии графитовой кладки активной зоны

**Решаемая проблема:** Активная зона ВТГР набирается из колонн призматических графитовых блоков, устанавливаемых друг на друга, при этом между блоками отсутствует жесткая связь. В результате нагрева активной зоны до высоких температур возможна ее деформация с изменением зазоров между блоками. Протечки теплоносителя в этих зазорах практически не участвуют в отводе тепла от топлива, может привести к его перегреву и аварийному останову реактора. Необходимо определить долю расхода теплоносителя через зазоры графитовой кладки в условиях изменения геометрии внутри активной зоны реактора ВТГР.

### Задачи:

1. разработать экспериментальную модель нижнего собирающего коллектора реактора ВТГР;
2. обосновать представительность модельных экспериментальных исследований гелиевого теплоносителя воздушным потоком;
3. изготовить и собрать экспериментальный стенд, моделирующий фрагмент активной зоны реактора ВТГР в полную высоту топливного столба из 3 смежных ТВС (масштаб 1:1);
4. провести серию экспериментов по определению долей расходов через зазоры графитовой кладки. Полученные экспериментальные данные должны быть пригодны для валидации.





ПЕРЕДОВАЯ  
ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА НГТУ

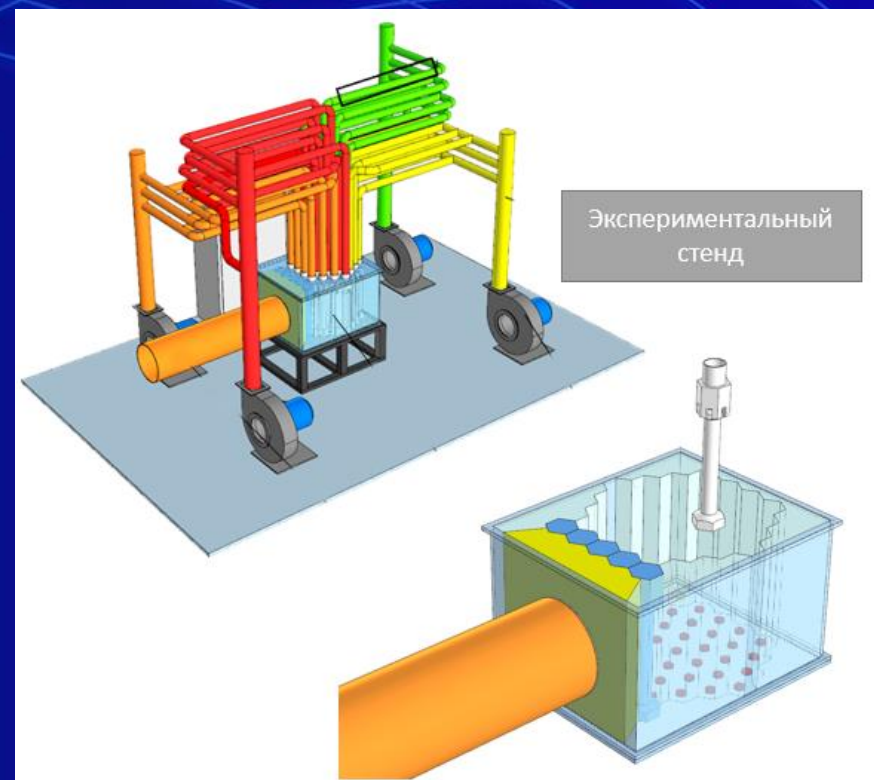
## Экспериментальные исследования перемешивания неизотермических потоков газа в нижнем собирающем коллекторе ВТГР

**Решаемая проблема:** Одна из приоритетных задач при обосновании теплотехнической надежности реактора связана с неравномерностью энерговыделения в активной зоне реактора, в результате чего в нижний собирающий коллектор поступают струи гелиевого теплоносителя с различной температурой – от 750 до 900 градусов Цельсия.

Проведение экспериментальных исследований позволит получить необходимую валидационную базу для проведения численного моделирования процесса.

### Задачи:

1. разработать экспериментальную модель нижнего собирающего коллектора реактора ВТГР;
2. обосновать представительность модельных экспериментальных исследований гелиевого теплоносителя воздушным потоком;
3. изготовить и собрать экспериментальный стенд, предусматривающий неравномерный нагрев активной зоны (потребляемая мощность – 300 кВт);
4. провести серию экспериментов по определению температурного поля на входе в газоход реактора ВТГР.





## Измерение поля температуры:

### Датчики температуры (термопары)

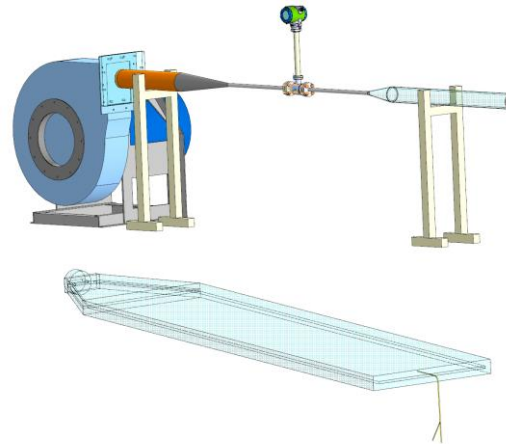
- диаметр чувствительной части – 0,5 мм;
- ~400 шт для исследования поля температуры в коллекторе смешения.



### Крейтовая система L-Card

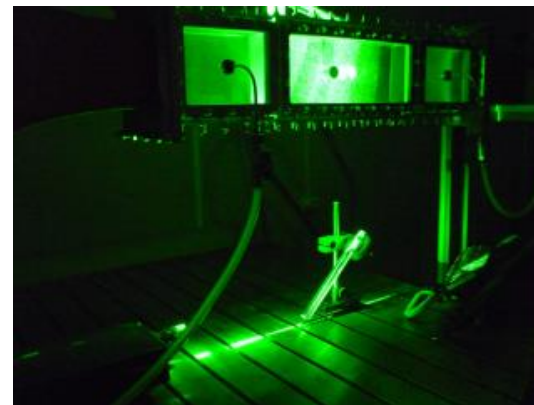
- одновременное измерение до 400 сигналов;
- опрос всех сигналов с частотой не менее 0,2 Гц;

## Измерение поля скорости:



### Отборные зонды (Трубки Пито)

- стандартные средства измерения не применимы в виду избыточных габаритов;
- имеется опыт производства собственных трубок малого сечения, но требуется калибровка датчиков под геометрию конкретного канала малого сечения;
- диаметр чувствительной части – 0,5 мм;
- ~400 шт для исследования поля температуры в коллекторе смешения.



### PIV (цифровая трассерная визуализация потока)

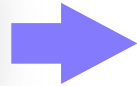
- двойной импульсный Nd:YAG лазер с энергией импульса от 50 до 380 мДж, объектив для формирования лазерного ножа;
- персональный компьютер с программным обеспечением ActualFlow;
- кросс-корреляционные цифровые камеры;
- синхронизирующий процессор;
- устройство для засева потока;
- чиллер.



## Опыт выполнения работ

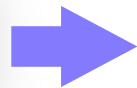
### Взаимодействие с реальным сектором экономики

АО «ОКБМ Африкантов»



Исследование локальной гидродинамики теплоносителя при движении через тепловыделяющие сборки водо-водяных ядерных реакторов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»



Создание валидационной базы по процессам смешения неизотермических потоков в модели напорной камеры водо-водяного реактора

### Собственные инициативные работы

Потенциальные заказчики:

- АО «ОКБМ Африкантов»
- АО «Атомэнергопроект»



Экспериментальное моделирование парциальных режимов эксплуатации ЯЭУ на воздушном потоке

### Результаты

На основе опытных данных, полученных на аэродинамическом стенде НГТУ, проведено обоснование конструкторских решений при разработке высоконапряженных активных зон водо-водяных ядерных реакторов различного базирования и назначения.

При помощи высокоточных экспериментальных данных, полученных на теплофизических стендах НГТУ, сотрудниками ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» была проведена валидация комплекса программ «ЛОГОС» по классу задач турбулентного внутриреакторного перемешивания петлевых потоков.

### Результаты

Разработана методика моделирования процессов внутриреакторного перемешивания потоков водяного теплоносителя при помощи воздушной рабочей среды (методы инъекции контрастного трассера и теплового следа)



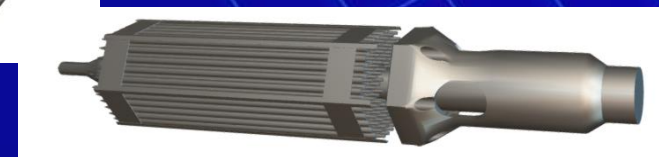
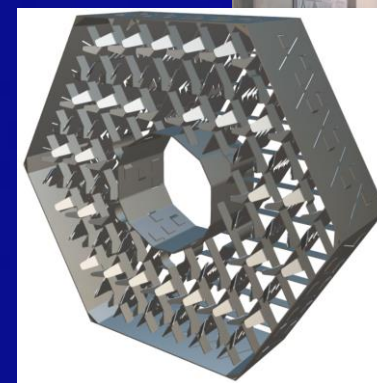
**Наименование работы:** Исследование локальной гидродинамики теплоносителя при движении в тепловыделяющих сборках водо-водяных ядерных реакторов. **Цель** — основываясь на результатах экспериментальных исследований провести обоснование конструкторских решений при разработке высоконапряженных активных зон водо-водяных ядерных реакторов различного базирования и назначения.

### Задачи:

1. исследовать гидродинамику потока теплоносителя в тепловыделяющей сборке ТВСА реактора ВВЭР, а также межкассетное взаимодействие при установке различных перемешивающих решеток;
2. изучить картину течения теплоносителя при движении через тепловыделяющие сборки реакторов типа РИТМ с различными типами выходных участков (головки ТВС);
3. исследовать гидродинамику потока теплоносителя в тепловыделяющей сборке ТВС-КВАДРАТ реактора типа PWR при установке различных конструкций перемешивающих решеток.

### Результаты:

1. различные варианты ТВСА поставлены и загружены в реакторы ВВЭР-1000 АЭС Темелин (Чехия);
2. разработана конструкция перемешивающей решетки для реакторов типа РИТМ, эффективность которой подтверждена различными отраслевыми комиссиями, главный конструктор активных зон реакторов типа РИТМ высоко оценил эффективность разработки и рассматривает возможность дальнейшего внедрения конструкции в проект;
3. произведена частичная загрузка ТВС-КВАДРАТ в реактор PWR АЭС Рингхальс (Швеция)







## Опыт выполнения работ

**Наименование работы:** Создание валидационной базы по процессам смешения неизотермических потоков в модели напорной камеры водо-водяного реактора.

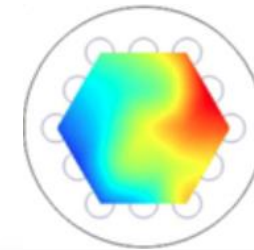
**Цель** – создание базы высокоточных экспериментальных данных, пригодных для валидации CFD-программ и адаптацию LES-модели турбулентности применительно к исследованию процессов неизотермического смешения в модели камеры реактора с водяным теплоносителем.

### Задачи:

1. разработать прецизионную измерительную систему;
2. определить необходимое и достаточное количество измерительных точек внутри модели опускной камеры водо-водяного реактора;
3. провести серию экспериментальных исследований перемешивания петлевых потоков с использованием водяного потока.

### Результаты:

1. совместно с Институтом теплофизики им. С.С. Кутателадзе (СО РАН) разработана уникальная кондуктометрическая измерительная система, которая позволяет с высокой частотой опрашивать каждую измерительную точку (10 кГц на 158 измерительных точек);
2. проведена серия опытов, результаты которых были применены при валидации программного комплекса «ЛОГОС» и адаптацию LES-модели турбулентности применительно к исследованию процессов неизотермического смешения в модели камеры реактора с водяным теплоносителем.





**Наименование работы:** экспериментальное моделирование парциальных режимов эксплуатации ЯЭУ на воздушном потоке.

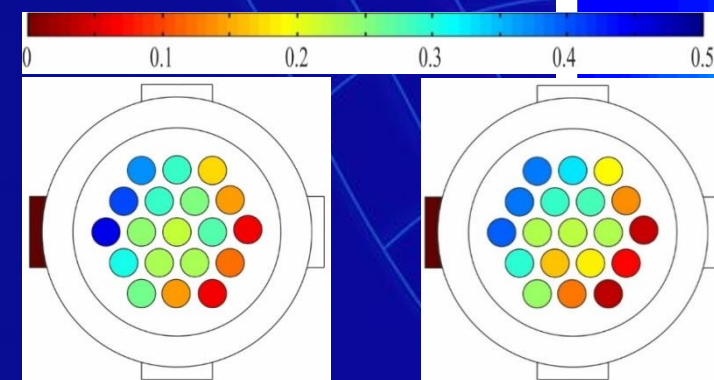
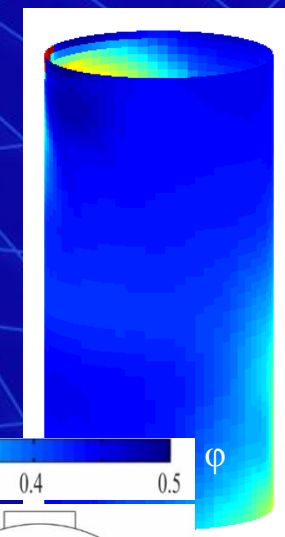
**Цель** — разработать методику моделирования процессов внутриреакторного перемешивания потоков водяного теплоносителя при помощи воздушной рабочей среды.

### Задачи:

1. разработать методику моделирования процесса неизоэтермического перемешивания петлевых потоков методом инъекции контрастного трассера в воздушный поток;
2. разработать методику моделирования процесса неизоэтермического перемешивания петлевых потоков методом теплового следа;
3. провести сравнение качественного и количественного совпадения результатов экспериментальных исследований при моделировании процессов внутриреакторного перемешивания водяным потоком и воздушной средой.

### Результаты:

Качественное и количественное совпадение результатов исследований перемешивания потоков водяного теплоносителя подтвердили возможность моделирования водяного теплоносителя воздушной средой с целью получения средних полей физических величин.





ПЕРЕДОВАЯ  
ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА НГТУ

# Исследования гидродинамики и теплообмена в активных зонах и основном оборудовании высокотемпературных ядерных реакторов с газовым теплоносителем

Спасибо за внимание!

младший научный сотрудник

**Рязанов Антон Владимирович**

[a\\_v\\_ryazanov@mail.ru](mailto:a_v_ryazanov@mail.ru)

8 952 452-29-28



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ  
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



**Передовые  
инженерные  
школы**



НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. П. Е. Алексеева