



ПЕРЕДОВАЯ
ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА НГТУ

Численное моделирование и цифровое проектирование оборудования реактора типа ВТГР с использованием CFD-программ

Институт: ИЯЭиТФ

младший научный сотрудник

Добров Александр Алексеевич

dobrov@nntu.ru

+7(920)059-91-06



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



**Передовые
инженерные
школы**



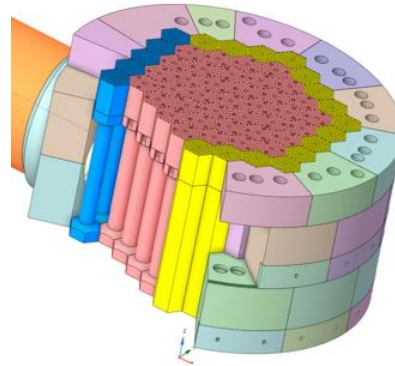
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Р. Е. Алексеева



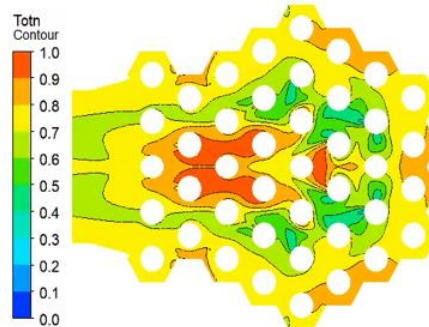
Ключевые тематики

- Моделирование газодинамики теплоносителя в условиях изменяющейся геометрии графитовой кладки активной зоны;
- Моделирование неізотермического перемешивания потоков теплоносителя на выходе из активной зоны;
- Разработка перемешивающих устройств для снижения температурной неравномерности потока теплоносителя;
- Моделирование условий работы измерительных преобразователей температуры в переходных режимах работы установок;

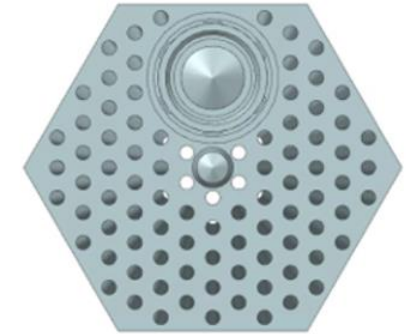
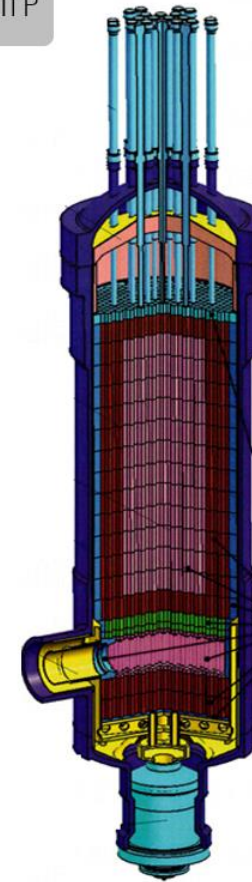
Элементы реакторной установки ВТГР



Нижний коллектор



Температурное поле в коллекторе



Графитовый блок активной зоны



Опорная колонна для установки термопреобразователя



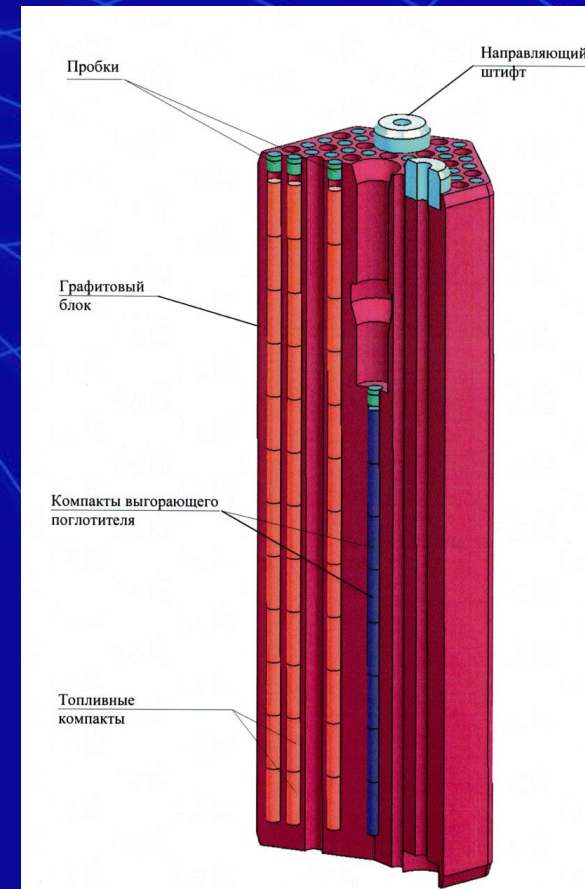
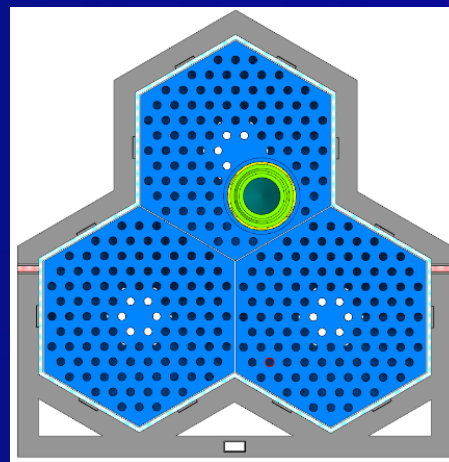
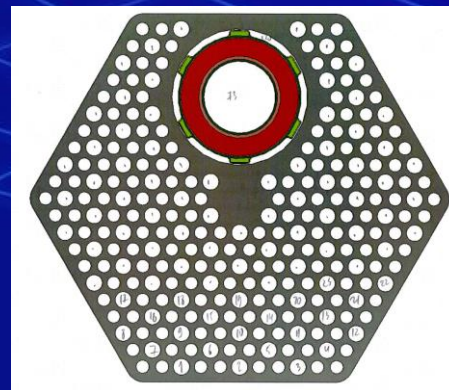
Моделирование газодинамики теплоносителя в условиях изменяющейся геометрии графитовой кладки активной зоны

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, что может привести к его перегреву и аварийному останову реактора.

Задачи:

1. разработать численную модель для исследования протечек теплоносителя между графитовыми блоками активной зоны;
2. провести серию численных расчетов условий охлаждения топливных элементов в условиях штатной и деформированной геометрии графитовых блоков;
3. определить долю от общего расхода теплоносителя через межблоковые протечки.



Фрагменты графитовой кладки активной зоны



ПЕРЕДОВАЯ
ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА НГТУ

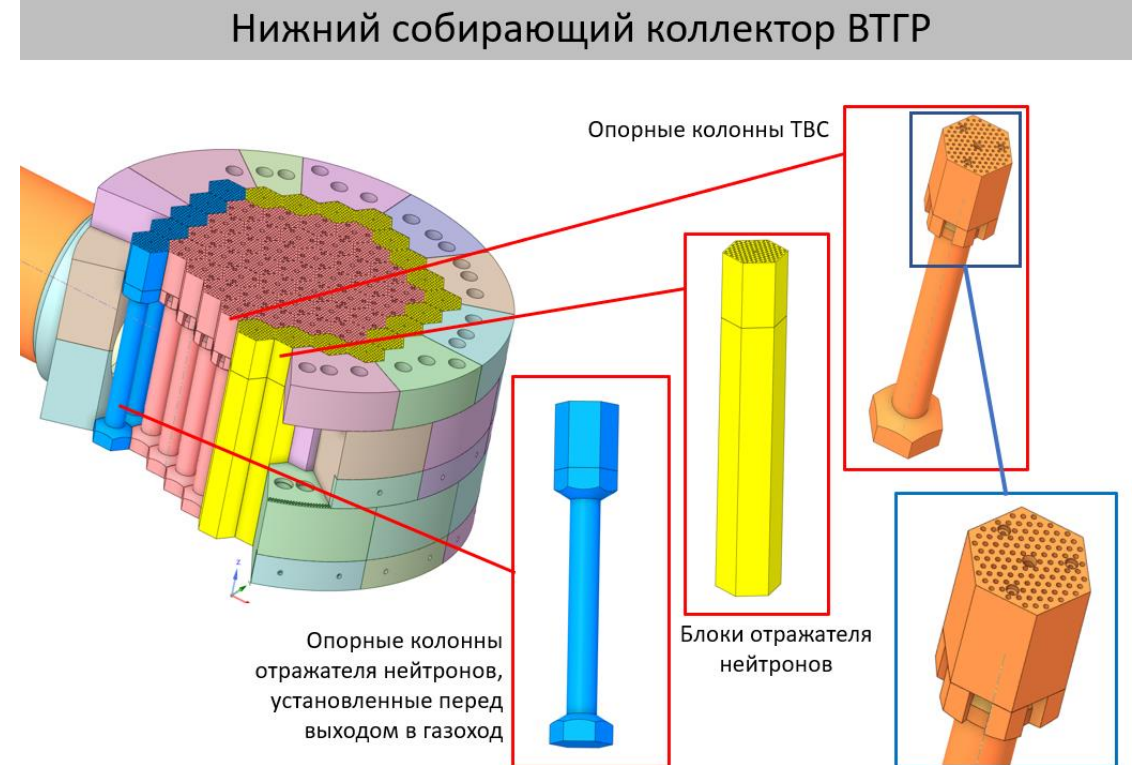
Моделирование неизотермического перемешивания потоков теплоносителя на выходе из активной зоны

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.

Необходимо разработать методику численного моделирования этих процессов и на базе расчетов разработать варианты перемешивающих устройств, обеспечивающих выравнивание температурного поля на выходе из активной зоны.

Задачи:

1. разработать численную модель нижнего собирающего коллектора;
2. провести валидацию численной модели на базе экспериментальных исследований;
3. определить степень неравномерности температуры в модели;
4. провести параметрические расчеты с оценкой влияния различных конструкций перемешивающих устройств на температурное поле теплоносителя.





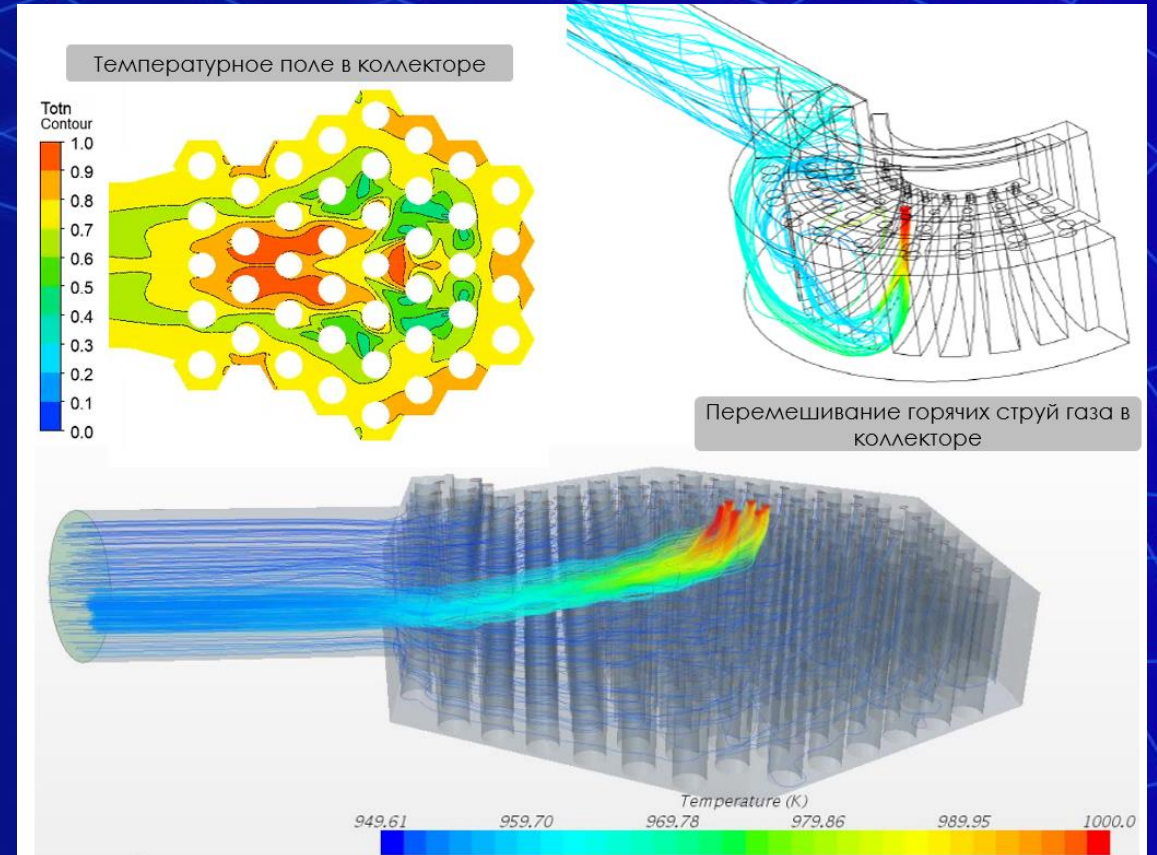
ПЕРЕДОВАЯ
ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА НГТУ

Разработка перемешивающих устройств для снижения температурной неравномерности потока теплоносителя

Решаемая проблема: Неравномерность температуры теплоносителя на выходе из активной зоны должна быть снижена либо перед входом потока в газоход, либо в самом газоходе. Поэтому необходима разработка устройств, обеспечивающих интенсивное перемешивание разнотемпературных струй теплоносителя при минимальных затратах мощности на его прокачку.

Задачи:

Разработать конструкцию и численно исследовать эффективность различных вариантов перемешивающих устройств с размещением их как в собирающем коллекторе ВТГР, так и в горячем газоходе.





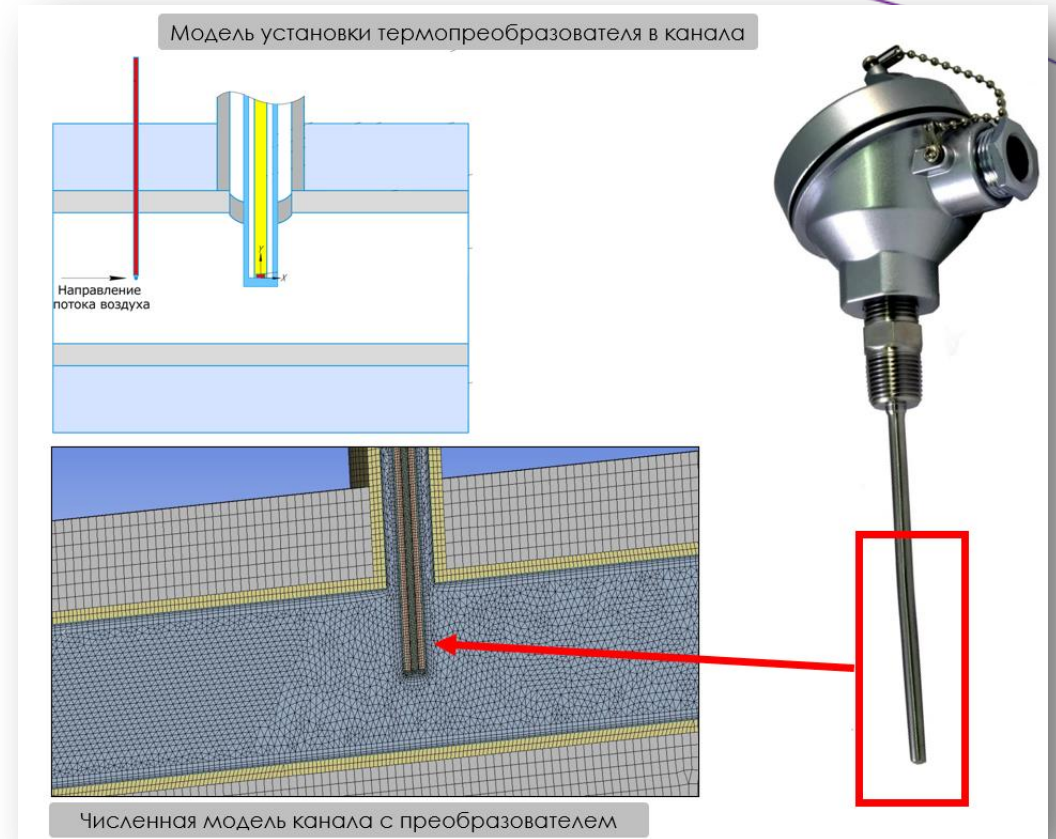
ПЕРЕДОВАЯ
ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА НГТУ

Моделирование условий работы измерительных преобразователей в переходных режимах работы установок

Решаемая проблема: В переходных процессах, связанных с изменением мощности реактора или изменением расхода теплоносителя показания термопреобразователей будут запаздывать по отношению к темпу изменения температуры самого теплоносителя из-за свойства тепловой инерции. Этот эффект необходимо исследовать и учесть при создании алгоритмов автоматизированного управления установкой и алгоритмов работы систем безопасности.

Задачи:

1. разработать численные модели промышленных термоэлектрических преобразователей с различными вариантами установки в каналах и смоделировать их показания в переходных термодинамических процессах;
2. провести валидацию численных моделей на базе экспериментальных исследований.





ПЕРЕДОВАЯ
ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА НГТУ

Материально-техническое оснащение

Вычислительные ресурсы:



Вычислительный кластер Cray CX1

- 14 процессоров Intel Xeon (6 ядер каждый);
- 384 Гб оперативной памяти;
- Windows Server;
- 10 Тб памяти на жестких дисках;
- Удаленный доступ с одновременной работой до 5 пользователей;
- Решение CFD-задач с размерностью сетки до 200 млн элементов.



Рабочая станция Forsite DSWS Pro

- 2 процессора AMD EPYC (64 ядра каждый);
- 512 Гб оперативной памяти;
- Windows10 Pro;
- 4 Тб памяти на жестких дисках;
- Удаленный доступ (1 пользователь);
- Решение CFD-задач с размерностью сетки до 170 млн элементов.

Программное обеспечение:





Взаимодействие с реальным сектором экономики

АО «ОКБМ Африкантов»



Численное моделирование смешения неизотермических потоков в модели напорной камеры водо-водяного реактора

ФГУП «РЯЦ-ВНИИЭФ»



Разработка инструкций пользователя программного комплекса ЛОГОС

Собственные инициативные работы

Потенциальные заказчики:

- ООО «АНОД-ТЕПЛООБМЕННЫЙ ЦЕНТР»
- АО ПКО «Теплообменник»
- АО «ОКБМ Африкантов»



Моделирование тепло-гидравлических характеристик теплообменника со змеевиками малого радиусагиба на основе модели пористого тела

Результаты

1. Разработана методика моделирования процесса неизотермического перемешивания;
2. Определены оптимальные параметры численной модели напорной камеры реактора; Проведена валидация расчетов на базе эксперимента.

Разработаны инструкции по решению задач в программе ЛОГОС по тематикам: «Моделирование сил, действующих на элементы подводных аппаратов», «Моделирование характеристик оборудования с использованием сеток типа «Химера», «Горение парогазовой водородосодержащей смеси».

Результаты

1. Разработана методика создания цифрового двойника теплообменника на основе модели пористого тела;
2. Определены оптимальные режимы работы теплообменника в составе исследовательской установки.



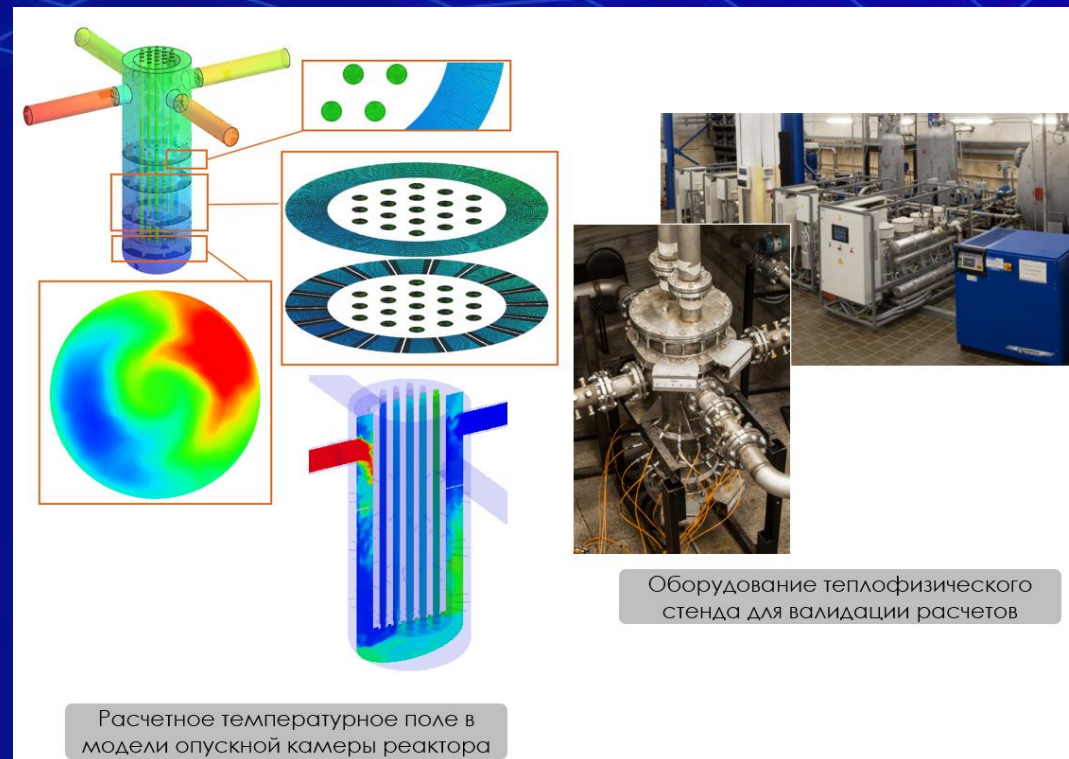
Наименование работы: Численное моделирование смешения неизотермических потоков в модели напорной камеры водо-водяного реактора. **Цель** — провести валидацию CFD-программы и адаптацию LES-модели турбулентности применительно к исследованию процессов неизотермического смешения в модели камеры реактора с водяным теплоносителем.

Задачи:

1. исследовать влияние размера расчетной сетки;
2. варьировать калибровочные коэффициенты модели;
3. провести моделирование в нестационарной постановке.

Результаты:

1. проведена валидация численной модели на основе сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными;
2. разработана методика численного моделирования процессов неизотермического смешения потоков теплоносителя в опускающих и напорных камерах водо-водяных реакторов.





Наименование работы: Разработка инструкций пользователя программного комплекса ЛОГОС.

Цель – разработать инструкции по выполнению типовых примеров в программном комплексе ЛОГОС.

Задачи:

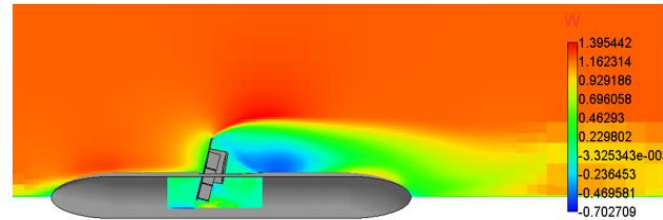
1. моделирование сил, действующих на элементы подводных аппаратов;
2. моделирование характеристик оборудования с использованием сеток типа «Химера»;
3. «горение парогазовой водородосодержащей смеси».

Результаты:

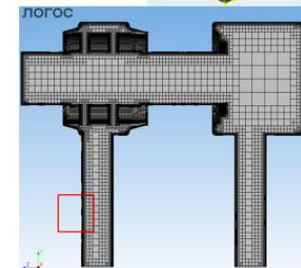
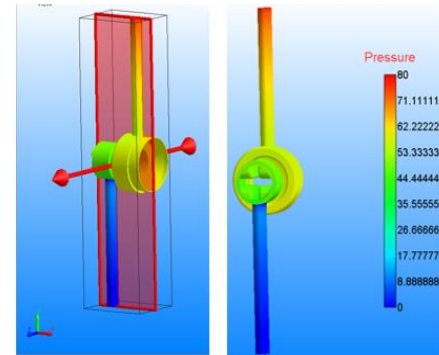
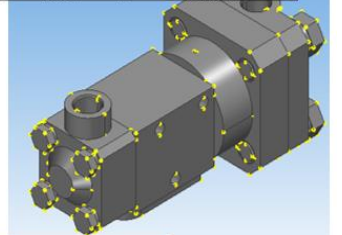
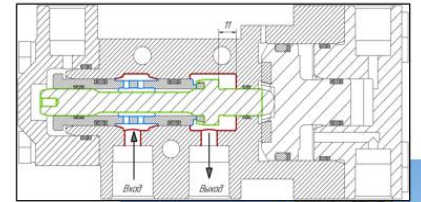
Разработаны пошаговые инструкции, позволяющие начинающему пользователю освоить принцип работы в программном комплексе ЛОГОС.

Инструкции содержат:

- краткие сведения из теории по физике рассматриваемой задачи;
- сведения из справочной документации ЛОГОС по используемым в расчете математическим моделям;
- пошаговые инструкции со скриншотами;
- методики обработки результатов.



Определение сил, действующих на выступающие части подводного аппарата



Параметрический расчет характеристик пневмораспределителя



Наименование работы: Моделирование теплогидравлических характеристик теплообменника со змеевиками малого радиусагиба на основе модели пористого тела. **Цель** — создать цифровой двойник теплообменного аппарата, позволяющий оперативно моделировать режимы его работы в зависимости от параметров рабочих сред.

Задачи:

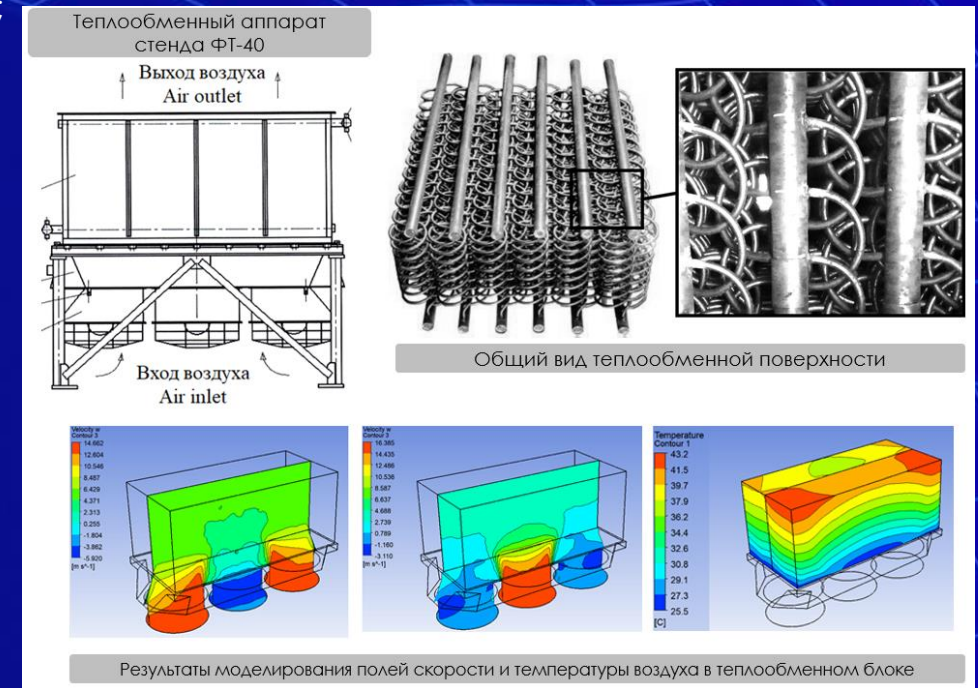
1. определение замыкающих коэффициентов для модели пористой среды;
2. моделирование различных режимов работы теплообменного аппарата;
3. определение эффективности различных режимов.

Результаты:

Разработан виртуальный аналог теплообменного аппарата, позволяющий за короткое время (несколько минут) определять параметры его работы и выбирать режим эксплуатации:

- возможность изменять параметры рабочих сред;
- учет влияния изменения температуры окружающей среды;
- определение необходимого числа вентиляторов охлаждения и их оборотов в зависимости от внешних условий.

Модель используется при эксплуатации исследовательского стенда НГТУ для разработки, модернизации и симуляции алгоритмов работы АСУ ТП.





ПЕРЕДОВАЯ
ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА НГТУ

Численное моделирование и цифровое проектирование оборудования реактора типа ВТГР с использованием CFD-программ

Спасибо за внимание!

младший научный сотрудник

Добров Александр Алексеевич

dobrov@nntu.ru

+7(920)059-91-06



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



**Передовые
инженерные
школы**



НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. П. Е. Алексеева