

Программный комплекс САПФИР позволяет моделировать различные сценарии работы насосного оборудования (регулирование задвижкой (дресселирование), регулирование с помощью байпаса, регулирование изменением частоты вращения насоса, а также реализация различных схем подключения), снимать расходно-напорную характеристику насосов и оптимизировать параметры подключения насосов. Важно также отметить, что САПФИР является отечественной разработкой. При этом программа обладает широким набором функций, инструментов и удобным графическим пользовательским интерфейсом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галашов Н.Н. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанций: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2023. – 247 с.: ил.
2. Школа моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://get-sim.ru/>, свободный – (10.11.2024)
3. Программный комплекс САПФИР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://get-lab.ru/>, свободный – (10.11.2024)

РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ИРТ-Т

Д.В. Пасько

Томский политехнический университет, ИЯТШ, ОЯТЦ, группа ОАМЗ1

Научный руководитель: А.Г. Наймушин, к.ф.-м.н., доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ

Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т – это реактор бассейнового типа с использованием в качестве замедлителя, теплоносителя и верхней защиты деминерализованной воды [1].

В бассейне реактора на глубине 6 м расположена активная зона ИРТ-Т, набранная из двадцати тепловыделяющих сборок (ТВС) типа ИРТ-3М. Конфигурация (компоновка) активной зоны выбирается так, чтобы обеспечивалась достаточная длительность кампании и может изменяться в соответствии с конкретной задачей на кампанию. Основная рабочая загрузка состоит из 11-ти восьмитрубных и 9-ти шеститрубных ТВС.

Металлический бериллий используется в качестве отражателя нейтронов, что позволяет обеспечить широкий (в пространстве) максимум плотности потока тепловых нейтронов и высокий уровень нейтронного потока в экспериментальных каналах.

Обоснование безопасности реакторной установки основывается на моделировании и исследований нейтронно-физических и гидравлических процессов с помощью прецизионных программных средств. Важно отметить, что модель должна обладать высокой точностью выходных данных, чтобы на её основе проводилась оценка условий эксплуатации оборудования и технологических систем реакторной установки.

Процессы гидродинамики описываются фундаментальной системой уравнений Навье-Стокса:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \\ \rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \nabla \tau + \rho \mathbf{g} + \mathbf{Q}_m \\ \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + C_p \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} T) = \nabla \cdot \mathbf{q} + Q_\mu + Q_\epsilon \end{cases} \quad (1)$$

Численное решение уравнений затрудняется из-за нелинейности уравнений движения. Как правило, для решения системы применяются различные методы или алгоритмы. Наибольшее распространение получил полунявный метод SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations), который позволяет получать результаты с достаточной степенью соответствия экспериментальным данным.

Метод SIMPLE стал основой для многих современных численных методов и программного обеспечения. Одной из таких программ для проведения высокоточных расчетов с реализацией данного метода является Логос Аэро-Гидро, который предназначен для решения трехмерных задач гидродинамики и теплообмена [2]. Для проведения численного моделирования гидравлических характеристик в среде Логос изначально разработаны необходимые геометрические модели.

Активная зона реактора ИРТ-Т, включающая в себя: восьмитрубные и шеститрубные ТВС, опорную решетку, бериллиевые блоки, бункер и корпус построены на основе конструкторской документации (рис. 1).

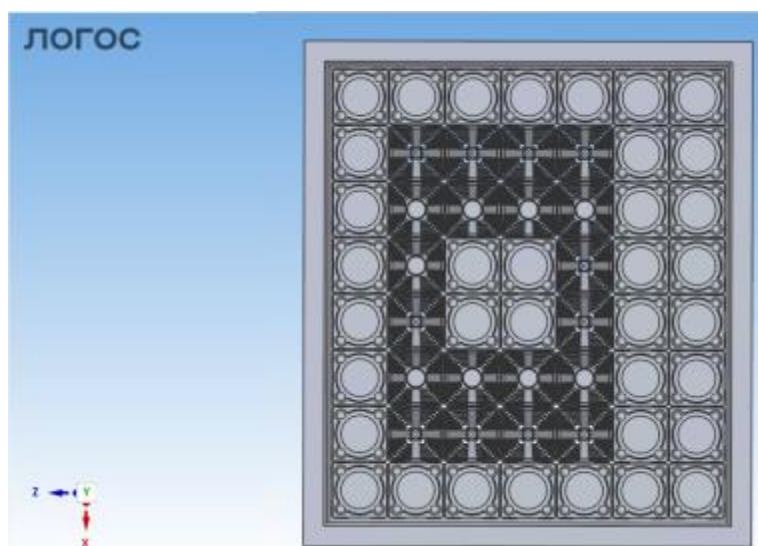


Рис. 1. Активная зона реактора ИРТ-Т в программе Логос Аэро-Гидро

Корректность разработанных моделей элементов активной зоны требует подтверждения. Для этого предлагается провести сравнение результатов моделирования, полученных в ПП Логос, с эксплуатационными параметрами первого контура реактора ИРТ-Т.

Эксплуатационные параметры первого контура фиксируются независимыми каналами модуля безопасности (МБ) Мираж. Основные гидравлические параметры, фиксируемые МБ Мираж и их значения в режиме нормальной эксплуатации:

- расход теплоносителя первого контура составляет 700 м³/ч;
- перепад давления на активной зоне составляет 35 кПа;
- давление в первом контуре составляет 0,13–0,14 МПа.

В качестве начальных условий моделирования выбраны:

- расход теплоносителя первого контура охлаждения активной зоны реактора ИРТ-Т;
- полное давление на входе в активную зону, равное 161325 и определяемое как сумма атмосферного и гидростатического давлений:

$$P_{\text{вх}} = P_{\text{атм}} + P_{\text{воды}} \quad (2)$$

В этом случае, корректность модели активной зоны определяется по параметру перепада давления, который характеризует гидравлическое сопротивление.

Моделирование показало, что расчетное значение перепада давления на активной зоне 35,12 кПа, отклонение от эксплуатационного значения составило 0,12 кПа. Это свидетельствует о корректности разработанной геометрии, что позволяет проводить дальнейшие исследования гидравлических характеристик активной зоны.

Ввиду того, что ТВС и бериллиевые блоки имеют разные проходные сечения для теплоносителя, необходимо учитывать распределение теплоносителя в гетерогенной структуре активной зоны.

Расчетное распределение расхода теплоносителя по топливным ячейкам активной зоны реактора ИРТ-Т представлено в табл. 1.

Таблица 1. Расход теплоносителя, м³/ч

Через межтвэльные зазоры ТВС					Через ½ зазора между ТВС				
Ячейка	6	5	4	3	6	5	4	3	Ячейка
7	27,35	29,05	26,47	30,25	2,68	2,63	2,69	2,69	7
6	26,78	28,04	27,02	29,56	2,63	2,59	2,62	2,72	6
5	26,01	Be	Be	28,79	2,50	Be	Be	2,63	5
4	26,45	Be	Be	28,91	2,52	Be	Be	2,65	4
3	25,02	26,73	25,35	28,13	2,66	2,64	2,62	2,69	3
2	27,20	28,53	26,54	30,67	2,72	2,68	2,70	2,66	2

Таким образом, разработана трехмерная модель активной зоны реактора ИРТ-Т. Проведено численное моделирование гидродинамических процессов с целью верификации разработанной модели в Логос Аэро-Гидро. Моделирование показало, что гидравлическое сопротивление на активной зоне соответствует эксплуатационному значению.

В результате дальнейшего моделирования получены следующие характеристики:

- средний расход теплоносителя через ТВС составил 30,28 м³/ч;
- средний расход теплоносителя через межтвэльные зазоры – 2,64 м³/ч;
- средний расход теплоносителя через зазоры бериллиевых блоков – 2,38 м³/ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глухов Г.Г., Диденко А.Н. Ядерный реактор ИРТ-Т НИИЯФ ТПИ в научных и прикладных исследованиях // Атомная энергия. – 1988. – Т. 64. – № 5. – С. 366–370.
2. ЛОГОС Аэро-Гидро. Решатель задач аэро-, гидро-, газодинамики и акустики. – URL: <https://logos-support.ru/logos/aero-hydro/> (дата обращения: 05.11.2024).

ОСАЖДЕНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ В ЖИДКОСТИ МИКРОЧАСТИЦ В ПОЛЕ СИЛ КОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ

Д.В. Лисовская, А.С. Зайцев

Томский политехнический университет, ИШФВП

Научный руководитель: Р.И. Егоров, д.ф.-м.н., проф. ИШФВП ТПУ

Взвеси различных микрочастиц являются очень часто встречающимся фактором, оказывающим влияние на протекание различных процессов в промышленности и в быту. Осаждение таких микрочастиц под действием силы тяжести приводит к образованию осадка на дне емкостей с неподвижным слоем жидкости. При протекании взвесей по каналам микроканальных теплообменников может наблюдаться осаждение микрочастиц на боковые стенки