УДК 519.876.5

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ В РЕАКТОРЕ ИВГ.1М

Сураев А.С., Иркимбеков Р.А., Понкратов Ю.В.

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В работе показан подход к выполнению комплексных расчетных исследований, направленных на обоснование требуемых режимов испытания экспериментального устройства в ходе реакторного пуска. В основе этих исследований лежит метод компьютерного моделирования сложных нейтронно-физических и теплофизических процессов. Данный метод реализуется путем использования двух специализированных программ – *MCNP6* и *ANSYS Fluent.*

Ключевые слова: экспериментальное устройство, компьютерное моделирование, реактор ИВГ.1М, MCNP6, ANSYS Fluent.

Введение

На этапе подготовки экспериментальных устройств к реакторным испытаниям одной из первостепенных задач является проведение серии расчетных исследований, включающих в себя расчеты по обоснованию соответствия конструкции испытательного устройства целям эксперимента, выбору режимов испытаний, исследованию штатных и гипотетических аварийных режимов его работы. Результатом таких расчетов становятся нейтронно-физические, тепловые, прочностные и гидродинамические характеристики элементов конструкции устройства и рабочих тел.

Особенностью данного исследования является наличие специфических требований к тепловому состоянию втулки экспериментального устройства. А именно, обеспечение заданного температурного градиента между ее ребрами, который не должен превышать 4 К во время проведения реакторного испытания. Для решения такой задачи применены методы численного моделирования, реализованные в программе *ANSYS Fluent* [1]. В данной статье будет продемонстрирован весь цикл нейтронно-физических и тепловых расчетных исследований предложенного экспериментального устройства. Проведена и обоснована модернизация исходной конструкции устройства, обеспечивающая требуемое тепловое состояние. Основным отличием исходной конфигурации от модернизированной является переориентация патрубков подачи и отвода охлаждающего газа, нивелирующая аксиальный градиент температуры во втулке.

Цель исследования: обеспечить достижение требуемого теплового состояния экспериментального устройства во время его облучения в реакторе ИВГ1.М.

Задачи исследования логически разделены на две группы, относящиеся к нейтронно-физическим и тепловым:

1) нейтронно-физические расчеты исходной и модернизированной конфигурации устройства:

– определить объемное распределение удельной мощности в материалах экспериментального устройства при работе реактора ИВГ.1М на стационарном уровне мощности 6 МВт;

– рассчитать изменение запаса реактивности реактора ИВГ.1М во время его работы на стационарном уровне мощности 6 МВт;

2) моделирование теплового состояния исходной и модернизированной конфигурации устройства:

– получить температурное поле втулки при заданном энерговыделении, геометрических и материальных параметрах;

– определить расход теплоносителя, требуемый для поддержания температуры стенки ампулы не более 200±5 °С на уровне центра активной зоны;

– оценить возможность проведения эксперимента с более высокими температурами экспериментального устройства.

3) подбор материально-геометрических параметров устройства для обеспечения разницы значений температуры в пазах и ребрах втулки на уровне 4 К:

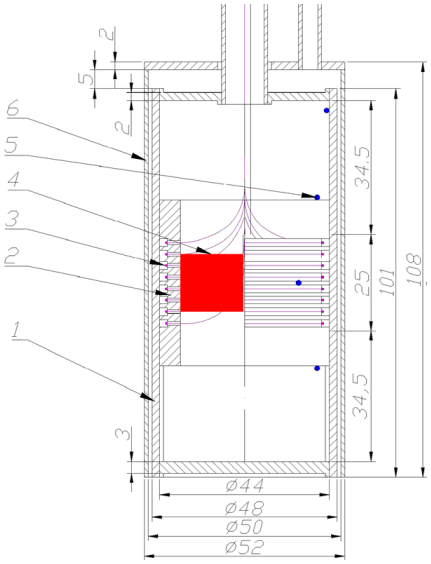
– выбрать оптимальный материал втулки (сталь, медь);

– провести расчеты для трех размеров втулок (43 мм, 47 мм и 50 мм);

Исходная конфигурация экспериментального устройства

Описание устройства

Экспериментальное устройство в его исходной конфигурации представлено на рисунке 1. Оно состоит из корпуса, втулки, чехла охлаждения и патрубков подачи и отвода охлаждающего газа (азот). В исходной конфигурации оба патрубка расположены на верхней крышке, причем патрубок подачи расположен в центре крышки, а патрубок отвода смещен в сторону боковой стенки. Данные патрубки обеспечивают охлаждение втулки и корпуса во время испытаний.



1 – корпус, 2 – втулка, 3 – ребра втулки, 4 – датчик,
5 – термопары, 6 – кожух охлаждения

Рисунок 1. Исходная конфигурация устройства

Втулка представляет собой цилиндрический оребренный радиатор с шестигранным отверстием в центре. Материал втулки и ее высота должны быть обоснованы расчетным путем. В качестве материала рассматривается сталь и медь. Высота втулки может варьироваться от 43 до 50 мм.

Расчет нейтронно-физических характеристик исходной конфигурации экспериментального устройства

Расчеты выполнялись с использованием расчетного кода *MCNP6* [2] и библиотек ядерных констант *ENDF/B-VII.0*. Для проведения расчетов была разработана объединенная модель (рисунок 2), созданная на базе модели ИВГ.1М [3, 4] и расчетной модели экспериментального устройства (рисунок 1).

На первом этапе были выполнены нейтронно-физические расчеты, результаты которых послужили входными данными для теплового моделирования. Нейтронно-физический расчет проводится при следующих граничных условиях:

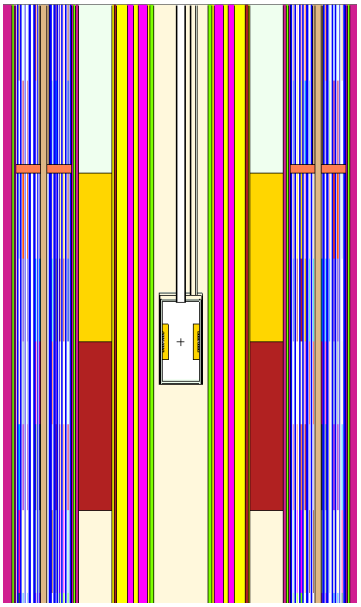
– активная зона реактора ИВГ.1М состоит из 28 водоохлаждаемых технологических каналов (ВОТК) с топливом высокого обогащения и 2 ВОТК с низкообогащенным топливом [3];

– температура реактора ИВГ.1М принята 21 °С (в процессе пуска может повышаться до 50 °С на входе в реактор);

– положение регулирующих барабанов принято 124° (в процессе работы реактора положение регулирующих барабанов может достигать 180°);

– стационарный уровень мощности реактора ИВГ.1М 6 МВт;

– стационарный уровень мощности реактора определяется энергией деления урана и энергией активации не топливных элементов активной зоны.



а) продольное сечение



б) поперечное сечение

Рисунок 2. Объединенная расчетная модель реактора ИВГ.1М и экспериментального устройства

Высотное (18 частей) и азимутальное (6 секторов) распределение энерговыделения по материалам экспериментального устройства, обусловленного поглощением γ-излучения и нейтронов, в процессе расчета определялось согласно схеме, представленной на рисунке 3.

По результатам нейтронно-физического расчета неравномерность высотного распределения энерговыделения во втулке составляет около 8%, а азимутальная неравномерность распределения энерговыделения, обусловленная несимметричностью активной зоны из-за наличия двух ВОТК с низкообогащенным топливом [3], составила меньше 0,3% и находится на уровне статистической погрешности расчета. В связи с этим азимутальная неравномерность распределения энерговыделения в расчетах не учитывалась.

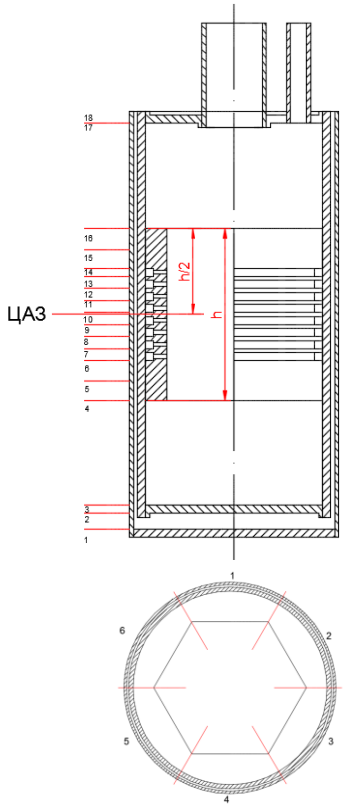


Рисунок 3. Схема разбивки экспериментального устройства для нахождения высотного и азимутального распределения энерговыделения в материалах

В таблице 1 представлены результаты расчета среднего распределения энерговыделения в материалах корпуса устройства и втулки при работе реактора на стационарном уровне мощности реактора ИВГ.1М, равной 6 МВт.

Таблица 1. Среднее энерговыделение в материалах корпуса и втулки

	Удельная мощность, Вт/м³	Мощность, Вт
Стальные элементы	$10{,}4 \cdot 10^6$	687
Стальная втулка	$10{,}4 \cdot 10^6$	301
Медная втулка	$12{,}2 \cdot 10^6$	353

Расчет теплового состояния исходной конфигурации экспериментального устройства

Основной задачей теплогидравлического расчета на данном этапе являлось определение теплового состояния устройства при установившемся режиме теплообмена между втулкой и теплоносителем на стационарном уровне мощности реактора. В результате данного расчета необходимо было подтвердить реализуемость требуемых условий испытаний с рассматриваемой конструкцией устройства.

Для выполнения поставленной задачи с использованием программного пакета *ANSYS* [5] была разработана трехмерная модель, позволяющая произвести расчет необходимых параметров с учетом распределения поля скоростей теплоносителя, соответствующего нужным значениям массового расхода азота в кожухе охлаждения устройства, и заданного распределения удельной мощности в материалах конструкции экспериментального устройства. Расчетная сетка модели показана на рисунке 4. Сетка расчетной модели экспериментального устройства включала в себя 961 077 призматических элементов.

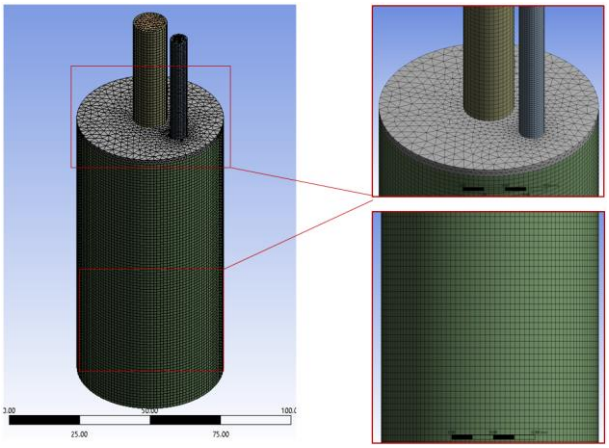


Рисунок 4. Сетка расчетной модели исходной конфигурации экспериментального устройства

Для теплогидравлического расчета среднее распределение удельной мощности в материалах корпуса экспериментального устройства и втулке принято согласно таблице 1.

Исходные данные для проведения теплогидравлических расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Исходные данные для теплогидравлических расчетов

Параметр	Значение
Теплоноситель	азот
Температура теплоносителя на входе, К	300,0
Расход теплоносителя, кг/с	0,1
Давление теплоносителя на входе, МПа	1,0

Расход теплоносителя определен в результате предварительных расчетов с использованием значений энерговыделения в конструкционных элементах устройства и в кожухе охлаждения, таким образом, что температура стенки устройства не превышает 150 °С на уровне центра активной зоны реактора ИВГ.1М. Это на 50 К меньше значения определенного в задачах исследования. Данный расход также обеспечивает турбулентное течение теплоносителя в тракте охлаждения (Re > 10000). Учет турбулентности потока проведен с использованием стандартной k - ε модели. На внешней стенке модели заданы условия конвективного теплообмена с температурой окружающей среды 300 К и коэффициентом теплоотдачи 5 Вт/(м^2·К).

Свойства материалов, использованные при проведении расчетов, заимствованы из справочных источников [6, 7].

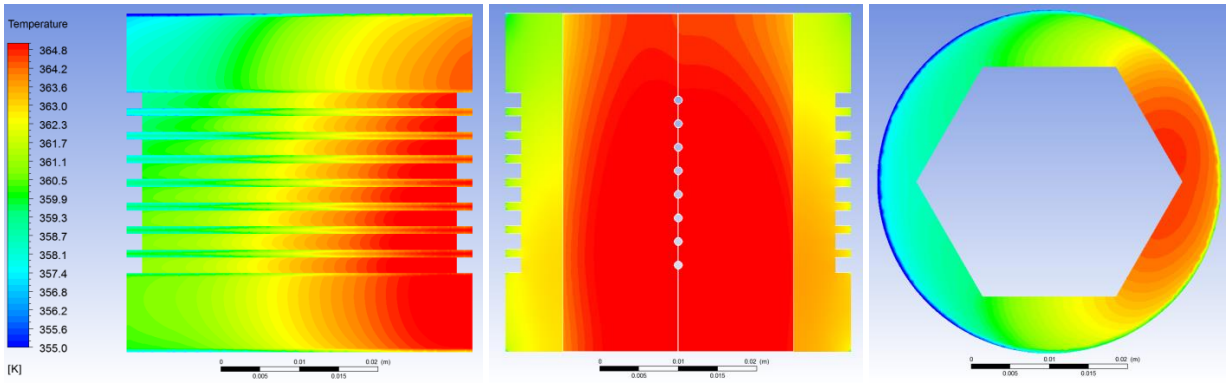


Рисунок 5. Распределение температуры во втулке исходной конфигурации экспериментального устройства

Распределение температуры во втулке показано на рисунке 5. По результатам предварительных теплогидравлических расчетов конструкция устройства исходной конфигурации не позволяет обеспечить равномерное распределение температуры на ребрах и в пазах втулки. Полученная неравномерность распределения температуры составила ~12 К, что превышает допустимые значения. При этом температура стенки устройства составила менее 370 К.

Анализ результатов нейтронно-физических и теплофизических расчетов исходной конфигурации экспериментального устройства

На основании проведенных расчетов можно сделать следующие выводы и дать некоторые рекомендации:

– неравномерность высотного распределения энерговыделения во втулке составила около 8 %, а азимутальная неравномерность распределения энерговыделения, обусловленная неравномерностью распределения обогащения топлива в активной зоне реактора [3], составила меньше 0,3%. С целью снижения высотной неравномерности распределения энерговыделения рекомендуется установить втулку в область с наименьшей неравномерностью распределения потока γ-квантов;

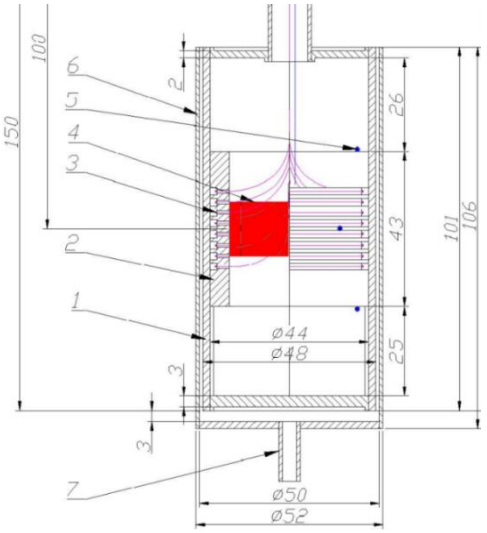
– в конструкции устройства с боковым подводом теплоносителя неравномерность распределения температуры в пазах втулки (рисунок 5) составляет 12 К, что превышает допустимые значения. Рекомендуется с целью выравнивания азимутальной неравномерности распределения температуры в пазах втулки использовать конструкцию экспериментального устройства с нижним центральным подводом теплоносителя (рисунок 6).

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Описание экспериментального устройства

На основании полученных результатов расчета исходной конфигурации экспериментального устройства было принято решение о внесении изменений в конструкцию устройства. А именно выполнен перенос выходного патрубка охлаждающего газа с целью выравнивания аксиального распределения потока теплоносителя, а также проведено высотное смещение устройства относительно центра активной зоны реактора на «−50 мм».

Внешний вид модернизированной конструкции представлен на рисунке 6.



1 – корпус, 2 – втулка, 3 – ребра втулки, 4 – датчик, 5 – термопара, 6 – кожух охлаждения, 7 – труба подачи азота

Рисунок 6. Схема модернизированного экспериментального устройства

Тепловой расчет модернизированного экспериментального устройства со стальной и медной втулкой

Для подтверждения возможности проведения исследований с конструкцией экспериментального устройства с нижним центральным подводом теплоносителя был проведен теплогидравлический расчет со средним распределением энерговыделения в материалах корпуса экспериментального устройства и втулки согласно таблице 1 с втулками, выполненными из стали и меди.

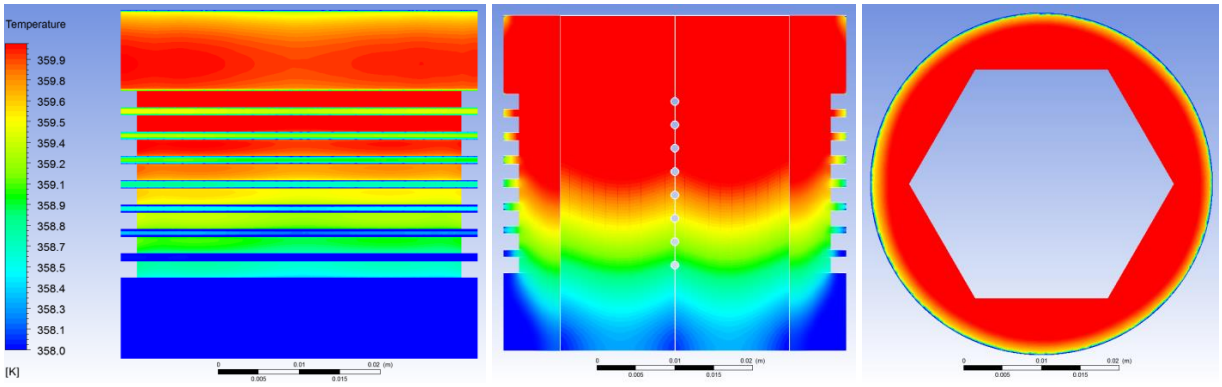


Рисунок 7. Распределение температуры в медной втулке

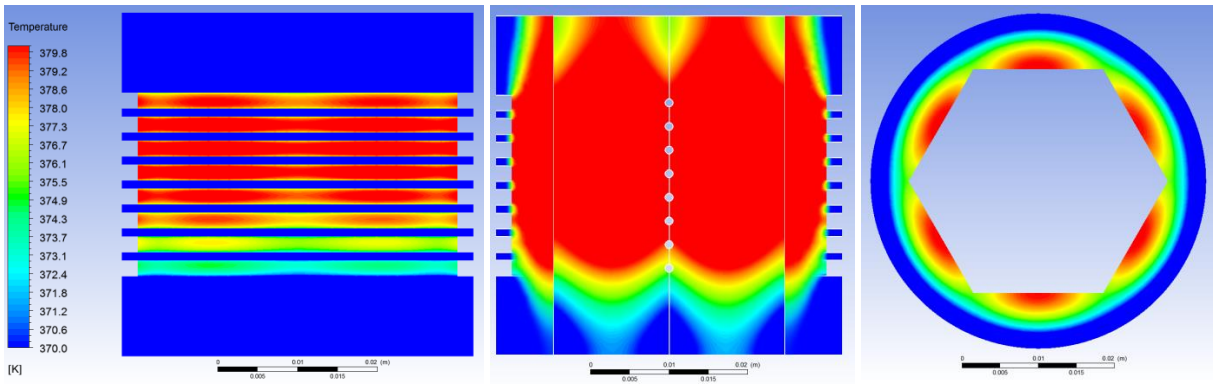


Рисунок 8. Распределение температуры в стальной втулке

Распределение температуры в медной втулке с использованием модернизированной конфигурации экспериментального устройства показано на рисунке 7, стальной – на рисунке 8.

По результатам тепловых расчетов получено, что при использовании стальной втулки в конфигурации модернизированного устройства разница между максимальной и минимальной температурой, фиксируемой в пазах втулки, составит около 9 К, при этом радиальная неравномерность в пазах превышает 10 К (рисунок 8). Данная неравномерность не удовлетворяет поставленным требованиям, так как более чем в два раза превосходит эту величину для медной втулки.

Таким образом, дальнейшие расчеты по определению теплогидравлических параметров принято проводить для модернизированной конфигурации устройства с использованием втулки, выполненной из меди марки М1.

Расчет нейтронно-физических характеристик модернизированного экспериментального устройства

С целью снижения высотной неравномерности распределения энерговыделения во втулке было решено установить устройство таким образом, чтобы центр втулки находился на 50 мм ниже центра активной зоны.

Согласно поставленных задач, необходимо провести расчеты для трех размеров втулок (43 мм, 47 мм и 50 мм), при этом количество и высота пазов в ней остается без изменения. На рисунке 9 представлена модернизированная схема внутриреакторного экспериментального устройства с применением втулок различной высоты. Внешний вид нейтронно-физической модели модернизированного устройства соответствует показанному на рисунке 2.

Как и прежде расчеты выполнялись с использованием расчетного кода *MCNP6* с библиотекой *ENDF/B-VII.0*. Для проведения расчетов была разработана объединенная модель, созданная на базе модели ИВГ.1М [3, 4] и расчетной модели экспериментального устройства. Модель была разбита на сектора по радиусу и высоте для вычисления высотного и азимутального распределения энерговыделения аналогично показанному на рисунке 3.

В процессе нейтронно-физического расчета определено влияние устройства на реактивность реактора, которая составила 0,37±0,05 $\beta_{эфф}$ без учета влияния датчиков и коммуникаций испытательного устройства. Средний поток тепловых нейтронов в пазах медной втулки $7{,}58 \cdot 10^{13}$ н/см^3·с. Средний поток γ-частиц $2{,}77 \cdot 10^{14}$ γ/см^3·с.

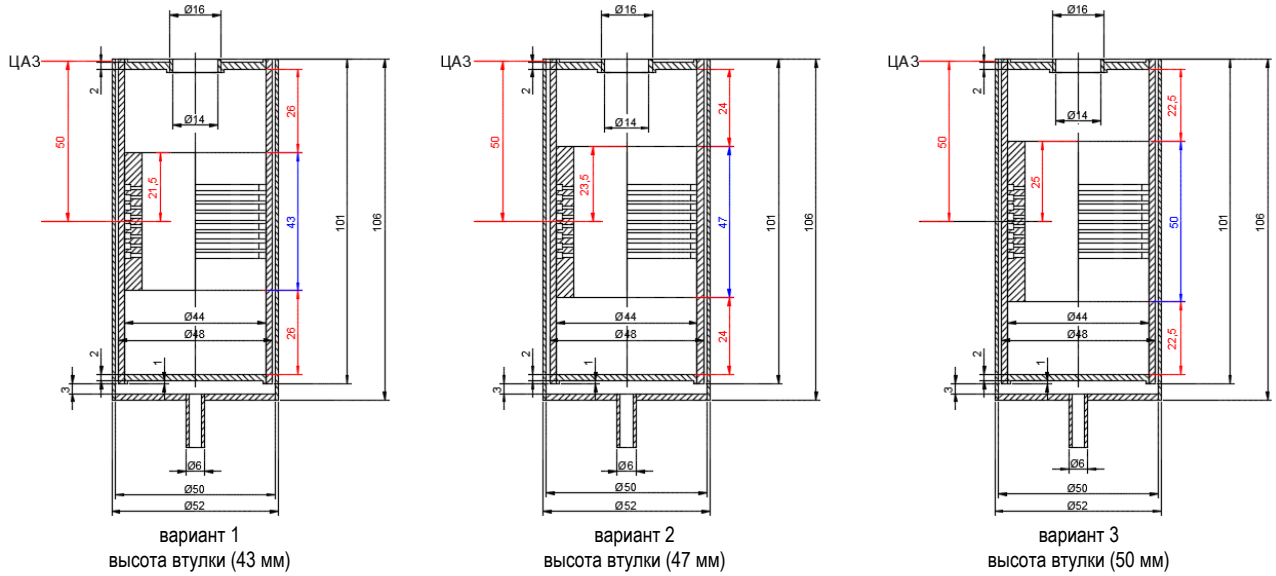


Рисунок 9. Варианты модернизированного экспериментального устройства с различной высотой втулки

Таблица 3. Распределение энерговыделения для трех вариантов экспериментального устройства с разной высотой медной втулки

Слой по высоте, (рисунок 3)	Удельная мощность, 10^6 Вт/м^3		
	вариант 1	вариант 2	вариант 3
5	12,77	12,77	12,79
6	12,80	12,83	12,83
7	12,71	12,72	12,67
8	12,69	12,73	12,73
9	12,75	12,75	12,73
10	12,78	12,66	12,68
11	12,71	12,65	12,64
12	12,64	12,60	12,66
13	12,63	12,61	12,62
14	12,64	12,59	12,65
15	12,60	12,57	12,59
16	12,46	12,42	12,41

В таблице 3 представлены результаты распределения энерговыделения для трех вариантов экспериментального устройства с разной высотой медной втулки. Погрешность расчета удельной мощности энерговыделения материалов экспериментального устройства составило менее $0{,}04 \cdot 10^6$ Вт/м^3.

Расчет теплофизических характеристик модернизированного экспериментального устройства

Основными задачами данного теплогидравлического расчета экспериментального устройства являлись:

– определение теплового состояния экспериментального устройства с применением втулки, выполненной из меди М1, при установившемся режиме теплообмена между втулкой и теплоносителем на стационарном уровне мощности реактора;

– определение теплового состояния экспериментального устройства при возможном снижении расхода теплоносителя через кожух охлаждения;

– определение времени достижения температуры разрушения образцов при аварийном останове расхода теплоносителя.

Для выполнения поставленных задач с использованием программного пакета *ANSYS* [5] разработаны трехмерные расчетные модели, позволяющие произвести расчет необходимых параметров с учетом распределения поля скоростей теплоносителя в устройстве, соответствующего нужным значениям массового расхода азота в кожухе охлаждения устройства и заданным распределениям энерговыделения в материалах конструкции экспериментального устройства. Расчетная сетка модели показана на рисунке 10. Расчетная сетка модернизированной конструкции включала в себя 6 084 754 призматических элементов с минимальным линейным размером элементов 0,5 мм.

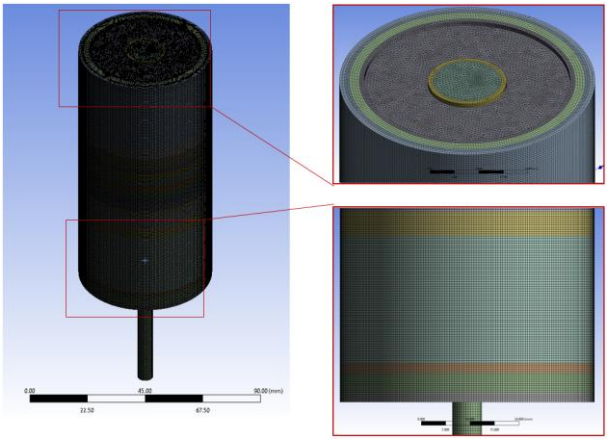


Рисунок 10. Сетка расчетной модели конструкции модернизированного устройства

Расчетное обоснование высоты медной втулки

Для теплогидравлического расчета принималось высотное распределение энерговыделения во втулке, приведенное в таблице 3.

Исходные данные для проведения теплогидравлических расчетов аналогичны тем, которые были приняты для исходной конфигурации устройства. На внешней стенке модели заданы условия конвективного теплообмена с температурой окружающей среды 300 К и коэффициентом теплоотдачи 5 Вт/(м^2·К).

Свойства материалов, использованные при проведении расчетов, представлены в справочной литературе [6, 7]. Распределение температуры в медной втулке с различными размерами по высоте представлено на рисунках 11–13.

В таблице 4 приведены рассчитанные тепловые параметры медной втулки при различной ее высоте. Минимальная разница значений температуры в пазах радиатора составляет 2,6 К для втулки высотой 43 мм.

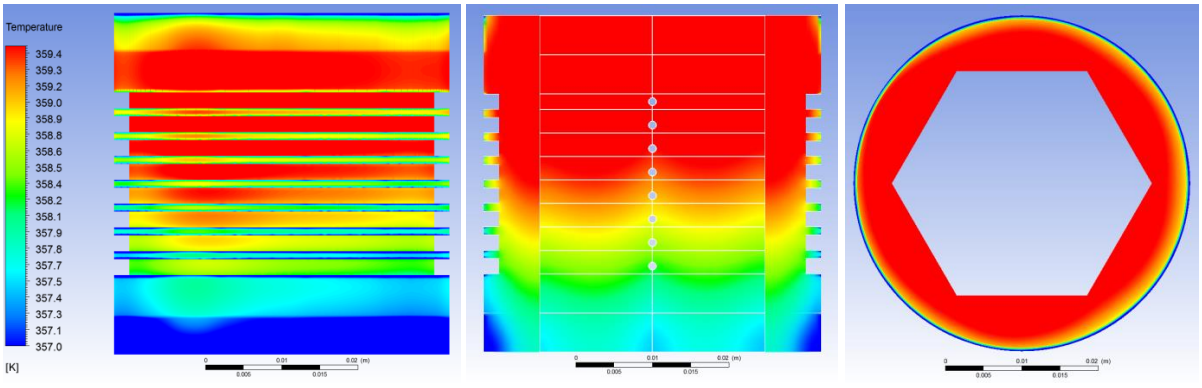


Рисунок 11. Распределение температуры в медной втулке высотой 43 мм с расходом теплоносителя 100 г/с

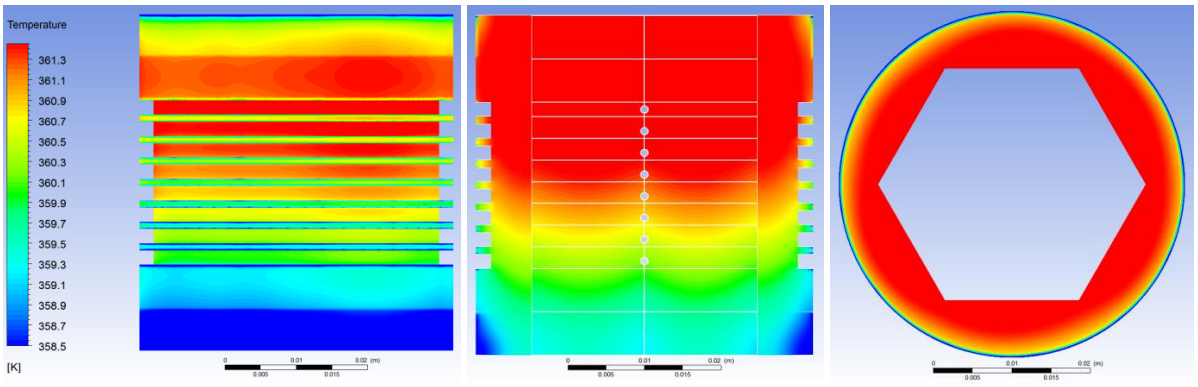


Рисунок 12. Распределение температуры в медной втулке высотой 47 мм с расходом теплоносителя 100 г/с

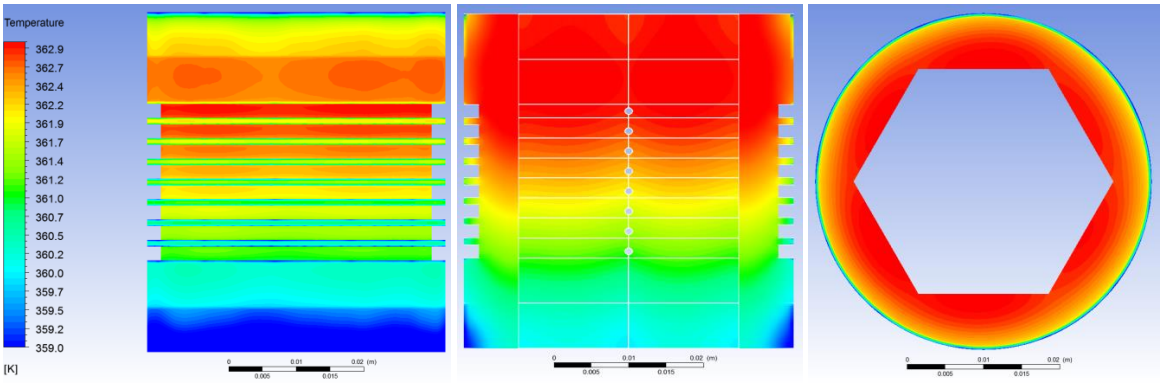


Рисунок 13. Распределение температуры в медной втулке высотой 50 мм с расходом теплоносителя 100 г/с

Таблица 4. Тепловые параметры медной втулки в зависимости от высоты

Тепловые параметры	Высота, мм		
	43	47	50
Разница температуры в пазах радиатора, К	2,6	2,8	3,1
Максимальная температура радиатора, К	361,3	362,0	363,2
Максимальная температура устройства, К	360,3	361,0	362,3
Температура азота на выходе, К	309,2	309,6	309,8

По результатам расчетов теплогидравлических параметров экспериментального устройства с использованием втулки, выполненной из меди М1 видно, что для всех трех вариантов конфигурации устройства разница температуры в пазах втулки не превысит 4 К (рисунки 11–13). Следовательно, высота верхнего и нижнего слоя втулки, расположенной над и под пазами, не оказывает воздействия на высотный градиент температуры.

Расчетное обоснование режима охлаждения втулки

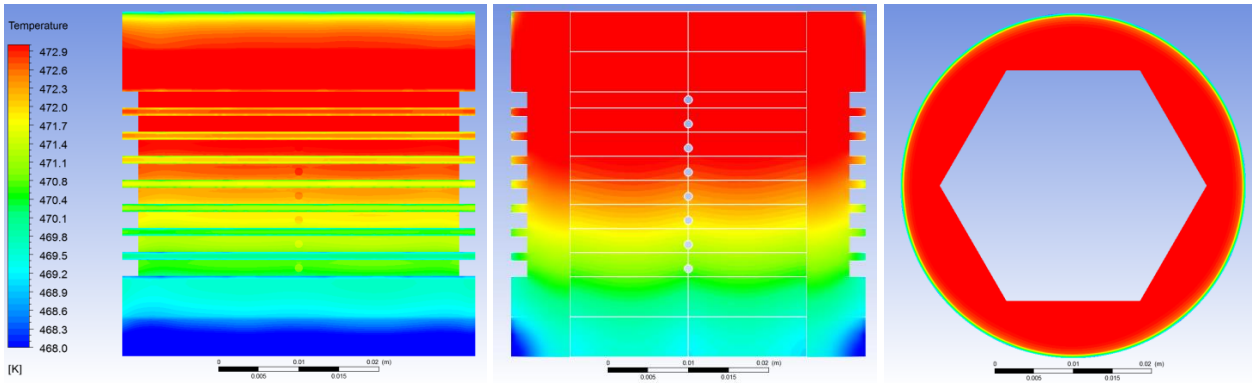
Одной из задач проведения теплогидравлических расчетов является моделирование возможности проведения эксперимента с более высокими температурами экспериментального устройства. Данная цель может быть достигнута при снижении расхода теплоносителя через кожух охлаждения устройства.

Для проведения расчетов по определению теплового состояния устройства была использована трехмерная сеточная модель экспериментального устройства (рисунок 10) с высотой медной втулки 43 мм. Расчет проведен для значений расходов 20 г/с, 5 г/с и 3 г/с. Распределение температуры в медной втулке при различных расходах теплоносителя представлены на рисунках 14–16.

В таблице 5 представлены тепловые параметры медной втулки высотой 43 мм при различных значениях расхода теплоносителя через устройство.

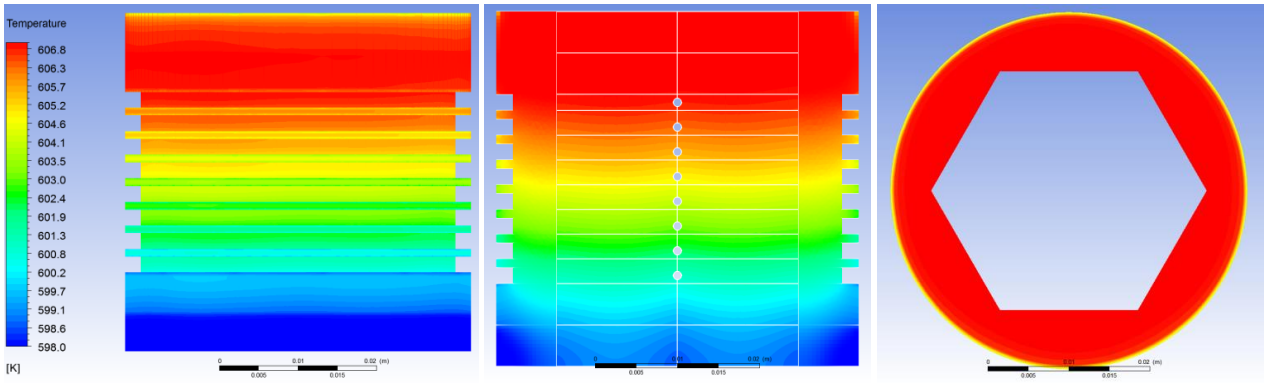
Таблица 5. Тепловые параметры медной втулки высотой 43 мм в зависимости от расхода теплоносителя

Тепловые параметры	Расход теплоносителя, г/с			
	100	20	5	3
Разница температуры в пазах радиатора, К	2,6	3,9	7,0	9,0
Максимальная температура радиатора, К	361,3	473,8	607,5	695,3
Максимальная температура устройства, К	360,3	473,0	606,8	701,3
Температура азота на выходе, К	309,2	346	481,6	597,3



фронтальный вид вертикальное сечение по центру втулки вид сверху

Рисунок 14. Распределение температуры в медной втулке высотой 43 мм с расходом теплоносителя 20 г/с



фронтальный вид вертикальное сечение по центру втулки вид сверху

Рисунок 15. Распределение температуры в медной втулке высотой 43 мм с расходом теплоносителя 5 г/с

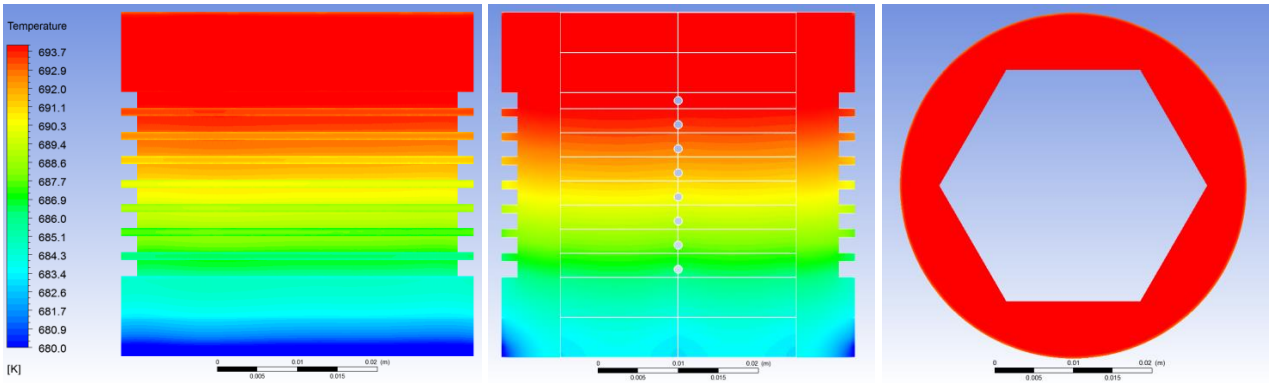


Рисунок 16. Распределение температуры в медной втулке высотой 43 мм с расходом теплоносителя 3 г/с

Анализ результатов нейтронно-физических и теплофизических расчетов модернизированной конфигурации экспериментального устройства

По результатам расчетов модернизированной конструкции внутриреакторного экспериментального устройства для испытания радиационной стойкости материалов в реакторе ИВГ.1М можно сделать следующие выводы и рекомендации:

– подтверждена возможность проведения исследований с конструкцией экспериментального устройства с нижним центральным подводом теплоносителя при использовании втулки, выполненной из меди М1, при этом использование стальной втулки 12Х18Н10Т в данном виде исследований не рекомендуется, так как разница между максимальной и минимальной температурой, фиксируемой в пазах втулки, составит около 9 К, при этом радиальная неравномерность в пазах превышает 10 К;

– определены теплогидравлические параметры для трех вариантов медной втулки, различной высоты (43, 47 и 50 мм) при одинаковом расходе азота 100 г/с в тракте охлаждения устройства. Во всех трех вариантах конфигурации медного радиатора в устройстве разница температуры в пазах втулки не превысит 4 К, что полностью соответствуют поставленным требованиям. Влияние высоты радиатора на результаты минимальное, а значит любой из рассмотренных вариантов может быть использован для реакторных экспериментов;

– определено тепловое состояния экспериментального устройства при различном расходе теплоносителя в тракте охлаждения экспериментального устройства (расход азот 100, 20, 5 и 3 г/с). При реализации данных режимов охлаждения можно регулировать температуру медной втулки в диапазоне от 360 К до 700 К;

– требования, предъявляемые к выполнению реакторного эксперимента с экспериментальным устройством, достигаются в варианте конструкции устройства с нижним центральным расположением патрубка подачи азота в кожух охлаждения при расходе 100 г/с и использовании медной втулки любой из рассмотренных конфигураций (43 мм, 47 мм или 50 мм).

При проведении теплогидравлических расчетов во внимание брались общие геометрические и материальные параметры устройства, без учета технологических допусков. Нарушение соосности или округлости внешней стенки втулки и стальной стенки экспериментального устройства до 0,1 мм приведет к изменению проходного сечения по окружности экспериментального устройства, но на распределение температуры это не окажет видимого воздействия.

Положение оптических волокон в экспериментальном устройстве не бралось во внимание. Тонкие волокна должны быстро нагреваться до температуры окружающего материала, вне зависимости от энерговыделения. При размещении материалов в вакууме в условиях облучения γ-частицами и нейтронами они будут разогреваться до полного разрушения. Таким образом, оптические волокна, идущие к медному радиатору, должны иметь контакт с охлаждаемыми поверхностями на всем протяжении в активной зоне.

Выводы

В рамках данной работы проведена серия нейтронно-физических и тепловых расчетов двух конфигураций экспериментального устройства. При этом достигнуты результаты, отвечающие поставленным требованиям. Представлены расчетные модели для программ *MCNP6* и *ANSYS Fluent.* Определено высотное и азимутальное энерговыделение в материалах экспериментального устройства для двух вариантов конфигурации устройства. Продемонстрированы возможности численного моделирования для решения тепловых задач, связанных с выбором и обоснованием оптимальной конструкции устройства. Показано что требования, предъявляемые к выполнению реакторного испытания с экспериментальным устройством, достигаются в варианте модернизированной конфигурации с нижним центральным расположением патрубка подачи азота в чехол охлаждения при расходе 100 г/с и использовании медной втулки. При этом высота втулки может быть выбрана любой из диапазона 43–50 мм. Выполнена оценка возмож-

ности увеличения температуры устройства путем снижения расхода охлаждающего газа до 3 г/с. Расчеты показали, что это возможно, но уменьшение расхода будет сопровождаться увеличением градиента температуры.

По результатам проведенных исследований определены все необходимые параметры экспериментального устройства. Обеспечен заданный температурный градиент на наиболее ответственном элементе, обоснован выбор конструкции, материала, расположения в реакторе и расхода охлаждающего газа. Таким образом, завершен этап расчетных исследований экспериментального устройства для испытаний на реакторе ИВГ.1М.

Литература

1. ANSYS Fluent User's Guide, Release 13.0; Ansys, Inc.; November, 2010.
2. MCNP6 Monte Carlo N–Particle Transport Code System, MCNP6.1. LANL, 2013.
3. Irkimbekov, R.A., Zhagiparova, L.K., Kotov, V.M. et al. Neutronics Model of the IVG.1M Reactor: Development and Critical-State Verification. Atomic Energy 127, 69–76 (2019). https://doi.org/10.1007/s10512-019-00587-1.
4. Иркимбеков Р.А., Жагипарова Л.К., Вурим А.Д., Котов В.М., Прозорова И.В. Компьютерная модель реактора ИВГ.1М для стационарных нейтронно-физических расчетов. – А.с. № 2757 РК, 24.08.2018.ИВГ.1М модель для НФР.
5. ANSYS release 14.5 Documentation for ANSYS WORKBENCH: ANSYS Inc. – Электрон. дан. и прогр. – [Б. м.], 2014.
6. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: М., Атомиздат, 1968. – 484 с.
7. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов: М, Машиностроение,1989. – 640 с.

ИВГ.1М РЕАКТОРЫНДА СЫНАУЛАРҒА ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫ ҚҰРЫЛҒЫСЫНЫҢ ЖЫЛУ КҮЙІН ЕСЕПТЕУІ

А.С. Сураев, Р.А. Иркимбеков, Ю.В. Понкратов

ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

Мақалада реакторды іске қосу кезінде тәжірибелік қондырғының қажетті сынақ режимдерін негіздеуге бағытталған күрделі жобалау зерттеулерін жүргізуге көзқарас көрсетілген. Бұл зерттеулердің негізі күрделі нейтронды-физикалық және термофизикалық процестерді компьютерлік модельдеу әдісі болып табылады. Бұл әдіс екі арнайы бағдарламаны – *MCNP6* және *ANSYS Fluent* көмегімен жүзеге асырылады.
Кілт сөздер: тәжірибелік құрылғы, компьютерлік модельдеу, ИВГ.1М реакторы, MCNP6, ANSYS Fluent.

CALCULATION OF THE THERMAL STATE OF THE EXPERIMENTAL DEVICE FOR TESTS IN THE IVG.1M REACTOR

A.S. Surayev, R.A. Irkimbekov, Yu.V. Ponkratov

Branch "Institute of Atomic Energy" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper shows an approach to performing complex design studies aimed at substantiating the required test modes of an experimental device during a reactor launch. The basis of these studies is the method of computer simulation of complex neutron-physical and thermal processes. This method based on two specialized programs *MCNP6* and *ANSYS Fluent.*
Keywords: experimental device, computer modeling, IVG.1M test facility, MCNP6 code, ANSYS Fluent.