

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-3-50-57>

УДК 519.876.5

НЕСТАНДАРТНЫЕ ПОДХОДЫ К КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ИГР

А. С. Сураев, Р. А. Иркимбеков, Н. Е. Мухамедов, Г. А. Витюк, О. М. Жанболатов, С. А. Должиков*

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

** E-mail для контактов: dolzhikov@nnc.kz*

Для моделирования тепловых процессов, которые происходят в активной зоне импульсного графитового реактора ИГР, в Институте атомной энергии РГП НЯЦ РК, применяется разработанная трехмерная теплофизическая модель. Данная модель имеет высокую степень детализации и позволяет проводить теплофизические расчеты параметров активной зоны в различных режимах ее работы, в том числе на предельных энерговыделениях и при возникновении нештатных ситуаций. Входными данными служат многомерные массивы с распределением энерговыделения по активной зоне, полученные после проведения нейтронно-физических расчетов. Результатом моделирования является массив данных, содержащий значения температуры, рассчитанные для каждого узла модели в каждый момент времени. При разработке теплофизической модели были реализованы новые нестандартные подходы, которые ранее не применялись. В данной работе показаны особенности моделирования активной зоны ИГР в среде ANSYS Mechanical APDL, которые позволили получить качественный инструмент для исследования температурных режимов реактора.

Ключевые слова: ИГР, теплофизическая модель, метод конечных элементов, многомерный массив, ANSYS.

ВВЕДЕНИЕ

Основное назначение импульсного графитового реактора ИГР – проведение испытаний облучательных устройств, содержащих ядерное топливо, которые представляют собой твэлы и отдельные элементы конструкции тепловыделяющих сборок проектируемых активных зон [1]. Уникальные конструкционные и нейтронно-физические характеристики реактора делают его востребованным инструментом для проведения исследований, направленных на безопасное развитие атомной энергетики как в Республике Казахстан, так и в мире [2].

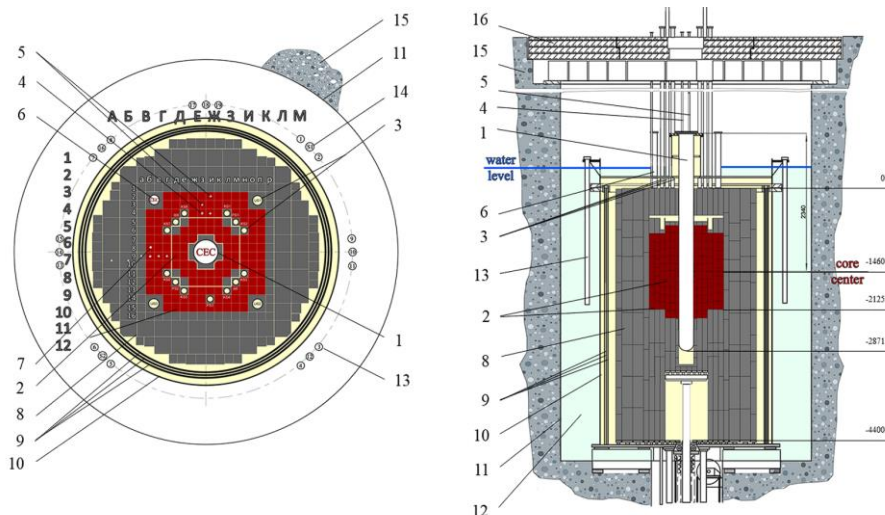
Любые реакторные испытания с ядерным топливом проводятся после расчетного обоснования безопасности таких работ [3]. Расчетное обоснование, так называемый анализ безопасности, выполняется с целью исследования нейтронно-физических и теплофизических параметров как облучательного устройства, так и реактора. Главная задача таких исследований определение безопасных режимов работы реактора и экспериментального устройства при любом вероятном сценарии развития событий во время реакторного пуска [4, 5]. Соответственно для выполнения анализа безопасности необходимы расчетные модели как для нейтронно-физических, так и для теплофизических расчетов. Актуальность данной работы заключается в разработке и применении новых нестандартных методов создания модели активной зоны реактора ИГР для теплофизических расчетов. Объектом исследования выступает активная зона реактора ИГР. В данной работе были рассмотрены нюансы моделирования конечно-элементной сетки активной зоны реактора ИГР для теплофизических расчетов.

УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ИГР

Активная зона реактора ИГР состоит из графитовых колонн прямоугольной формы. По размеру колонны можно разделить на два вида: (1) колонны квадратного сечения размером $\sim 98 \times 98$ мм, формирующие подвижную и неподвижную часть графитовой кладки реактора и (2) колонны квадратного сечения размером $\sim 198 \times 198$ мм, из которых сформирован боковой отражатель. Некоторые колонны имеют специальные каналы для размещения источника нейтронов, органов системы управления и защиты реактора, термоэлектрических преобразователей и др. На рисунке 1 представлено горизонтальное и вертикальное сечение активной зоны ИГР.

Предыдущие теплофизические модели реактора ИГР были построены с помощью стандартного сеточного генератора ANSYS Meshing [6]. В силу ограниченности вычислительных ресурсов, было принято решение о разработке упрощенной модели [7]. Данная модель представляла собой четвертую часть активной зоны, в которой отсутствовала прорисовка отдельных графитовых блоков или втулок (рисунок 3). Результат такого построения представлен на рисунке 2.

Анализ данной сеточной модели позволяет сделать вывод о том, что колонны реактора, которые представляют собой простые геометрические формы могут быть разбиты на хорошо структурированные гексагональные элементы с идеальным соотношением длин сторон (aspect ratio) даже с использованием базовых настроек сеточного генератора.



- 1 – центральный экспериментальный канал; 2 – активная зона (подвижная и неподвижная часть кладки); 3 – каналы системы управления и защиты; 4 – канал физических измерений; 5 – канал измерения температуры; 6 – боковой экспериментальный канал; 7 – канал источника нейтронов; 8 – отражатель; 9 – боковой экран; 10 – кожух; 11 – водяной бак; 12 – полость охлаждающей воды; 13 – ионизационные камеры; 14 – канал счетчика нейтронов; 15 – биологическая защита; 16 – перекрытие верхнее

Рисунок 1. Горизонтальное и вертикальное сечение активной зоны ИГР

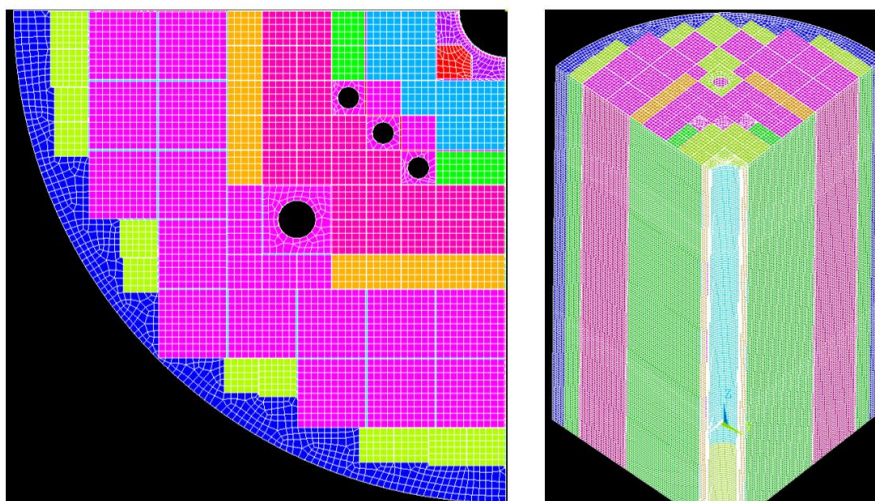


Рисунок 2. Упрощенная теплофизическая модель активной зоны ИГР

С другой стороны, в колоннах, имеющих более сложную форму (крестовина, угловая усеченная колонна, колонны с каналами, периферийная область вокруг отражателя и пр.) наблюдается наличие неструктурированной сетки, состоящей как из гексагональных, так и из тетраэдрических элементов с различной длиной сторон. Соответственно такой вариант сеточной модели имеет невысокое качество и большое количество элементов, что приводит к трудностям как во время подготовки модели (распределение энерговыделения), так и во время расчета.

Более того, в случае детального моделирования колонн с учетом графитовых элементов (блоков и втулок), показанных на рисунке 3, использование стандартного сеточного генератора не позволит получить качественную сетку из-за наличия сложных геометрических форм, таких как шип и паз.

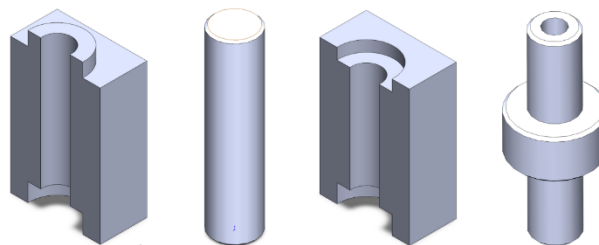


Рисунок 3. Внешний вид графитовых блоков и втулок

В реальности, решение данной задачи требует применения нестандартных подходов к моделированию, усовершенствования известных методик [8] и разработки средств автоматизации процессов. Поэтому, понимая все нюансы работы алгоритма сеточного генератора и особенности геометрии блоков и

втулок реактора ИГР, было принято решение о разработке нестандартных методов генерации сетки применительно к активной зоне реактора ИГР.

Успешное решение данной задачи позволит: (1) добиться оптимального соотношения между итоговым количеством элементов и их качеством; (2) получить полную трехмерную модель активной зоны реактора; (3) повысить уровень детализации областей активной зоны, представляющих наибольший интерес (например, каналов с термопарами, отдельных блоков или втулок и пр.); (4) иметь в распоряжении программный продукт для генерации сеточных моделей, который может быть легко адаптирован для решения других аналогичных задач.

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Общие требования к сеточной модели

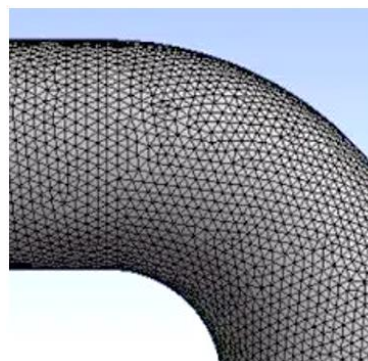
Сетка конечных элементов должна максимально точно повторять геометрию модели, иметь достаточно малый размер элемента и достаточное (минимальное) количество элементов. К форме элементов также предъявляются требования: они должны быть максимально близки к квадрату в 2D постановке или гексаэдру в 3D. Допускается наличие треугольников (2D) или тетраэдров (3D), но в этом случае следует ожидать более чем двукратное увеличение общего количества элементов. Альтернативой может служить полиэдрическая сетка, построение которой возможно только в программе Fluent Meshing [9], предназначенной для решения задач гидродинамики. Однако в рамках данной работы изучение гидродинамических процессов не планируется. Основные виды сеток конечных элементов представлены на рисунке 4.

Также возможно применение сеток различной структуры в одной модели, что в некоторых случаях может быть целесообразным. В любом случае главное то, чтобы сетка была структурирована, а большая часть ее элементов была приблизительно одного размера. В таком случае будет намного проще добиться сходимости решения и достижения достоверных результатов.

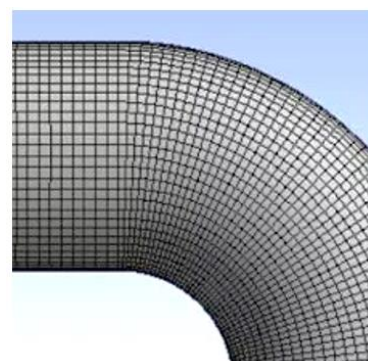
Существует два принципиально отличающихся подхода к построению сетки: (1) метод «сверху-вниз», считающийся наиболее распространенным способом и (2) метод «снизу-вверх», правильное применение которого имеет ряд преимуществ. Рассмотрим каждый из них подробнее.

Классический метод

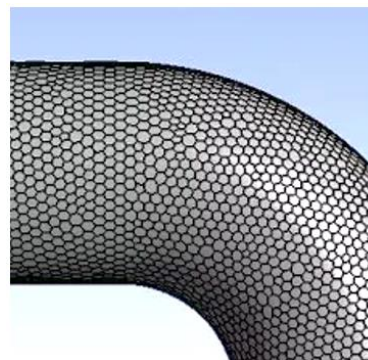
Классическим методом построения сетки является метод «сверху-вниз» (top-down approach), который заключается в том, что сетка строится путем разбиения существующей геометрии объекта на более мелкие подмножества (элементы). Соответственно, вначале необходимо построить геометрическую модель объекта моделирования, в данном случае активной зоны реактора. При этом программе необходимо сообщить настройки разбиения, выбрать предпочитаемый тип сетки, размер элемента и т.д.



тетраэдная



гексагональная



полиэдрическая

Рисунок 4. Основные виды сеток конечных элементов (3D)

Именно по этой методике строится большинство конечно-элементных сеток для моделирования в программе ANSYS. Преимущества данного метода: наличие четких геометрических границ, возможность использования имеющейся геометрии, построенной ранее в CAD программах, минимальный набор параметров для настройки. К недостаткам можно отнести трудности с получением качественной сетки с приемлемым количеством элементов. Как правило, при попытке уменьшить размер элемента для более точного описания сложной геометрии, получается достаточно большое количество элементов, а сетка, содержащая меньшее количество элементов может иметь плохое качество. Тем не менее, на ранних этапах

моделирования активной зоны реактора ИГР была построена геометрия и сетка конечных элементов с использованием классических подходов методом «сверху-вниз», показанная на рисунке 2. Данный метод построения сетки реализован во многих сеточных генераторах.

Нестандартный метод

Сам по себе метод построения сетки «снизу-вверх» (bottom-up approach) менее популярен, но может найти применение в отдельных случаях, например маломасштабных моделях, состоящих из сложных геометрических форм, где классический способ не позволяет получить требуемый результат. В данном методе сетка строится путем прямого формирования ее элементов из узлов, ребер, поверхностей и объемов. Очевидный недостаток данного метода – невозможность «ручного» построения сетки, содержащей большое количество (несколько сотен или тысяч) элементов в силу трудоемкости процесса. Преимущество метода заключается в полном контроле за параметрами сетки на уровне узлов, что позволяет добиться высокого качества сетки в требуемых областях геометрии и сократить общее количество элементов, что и стало приоритетным при разработке теплофизической модели активной зоны реактора ИГР. Реализация данного метода возможна в программе ANSYS Mechanical APDL, которая имеет текстовый интерфейс, поддерживает работу с макросами, скриптами и другими элементами программирования. Эти особенности позволяют заранее подготовить текстовый файл с набором необходимых команд (макрос), которые будут прочитаны и последовательно выполнены программой.

Рассмотрим базовые принципы построения отдельных элементов сетки в этой программе.

Генерация узлов

Для генерации одного узла (node) нужно выполнить команду вида:

$$n, N\text{-node}, x, y, z$$

где n – сокращенная запись команды (node) для генерации узла; $N\text{-node}$ – порядковый уникальный номер узла; x – координата узла на оси x ; y – координата узла на оси y ; z – координата узла на оси z .

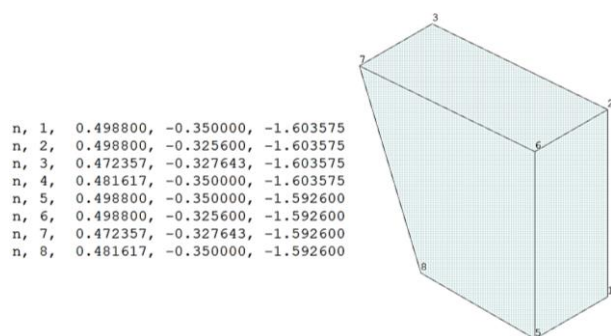


Рисунок 5. Макрос для генерации восьми узлов и их пространственное расположение

Если мы хотим построить объемный кубический элемент, то нам, с помощью данной команды, необходимо создать восемь узлов. На рисунке 5 представлены восемь узлов, которые будут использованы для генерации элемента.

Генерация элементов

Для эффективного решения задачи распределения тепла по объему активной зоны желательно использовать элементы, содержащие минимальное, но достаточное количество узлов и иметь форму близкую к кубической. Такими элементами являются (1) гексаэдры: куб или параллелепипед, имеющий 8 узлов, расположенных в его вершинах; и (2) призмы: треугольная призма, содержащая 6 узлов. Генерация элемента происходит с помощью команды, представленной ниже:

$$e, n1, n2, n3, n4, n5, n6, n7, n8$$

где e – сокращенная запись команды (element) для генерации элемента; $n1$ – $n8$ – номера узлов, ограничивающих элемент.

В результате выполнения этой команды будет создан трехмерный элемент кубической формы. На рисунке 6 представлен внешний вид элемента, сгенерированного по восьми узлам. Нумерация элементов происходит автоматически в порядке их генерации в программе. Номер элемента расположен в центре каждой из его сторон. Помимо номера каждому элементу модели можно присвоить указатель на тип и материал, что значительно упрощает дальнейшую работу с моделью.

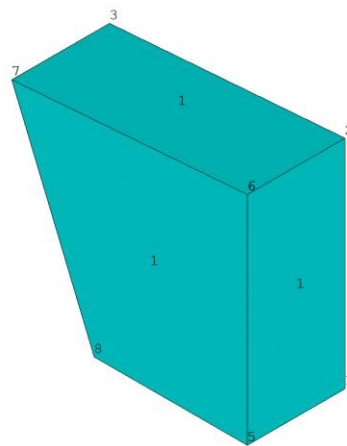


Рисунок 6. Трехмерный элемент

Особенности процесса генерации сетки конечных элементов реактора ИГР

Предлагаемый метод генерации конечно-элементной модели можно считать частным случаем метода «снизу-вверх», который отличается внедрением автоматизации процесса генерации сетки программными средствами. Благодаря чему данный метод обретает ряд новых преимуществ: (1) высокая скорость генерации сетки, несопоставимая с «ручным» вводом данных, (2) возможность генерации трехмерных

элементов произвольной формы согласно разработанным шаблонам (топологией), (3) легкая адаптация сетки конечных элементов под конкретную геометрию блока, (3) исключение человеческого фактора благодаря полной автоматизации всего процесса, (4) повторяемость алгоритма генерации сетки, (5) гибкая настройка параметров сетки и пр. На фоне очевидных преимуществ имеется и недостаток, который заключается в необходимости разработки сеточных шаблонов (топологий) для каждого типа блока.

В общих чертах алгоритм генерации сетки конечных элементов предлагаемым методом выглядит следующим образом:

- на первом этапе моделирования формируется набор необходимых входных данных, который включает в себя информацию о каждой колонне реактора (тип колонны, местоположение в активной зоне, список блоков и втулок, формирующих колонну) и графитовом блоке (геометрические размеры, материальный состав, пространственное местоположение), входящем в состав колонны;
- на втором этапе происходит обработка исходных данных разработанным на языке Visual Basic.NET [10] специализированным программным средством;
- на третьем этапе происходит запись выходного файла, который содержит набор команд, необходимых для генерации сеточной модели. Данные команды записываются в специальные макросы,

которые могут быть интерпретированы в программе ANSYS Mechanical APDL для построения сетки конечных элементов.

Принимая во внимание описанный выше подход были разработаны схемы расположения узлов (топологии), для формирования элементов графитовых блоков различной конфигурации, которые учитывают геометрические особенности каждого блока [11]. Топологии описывают расположение элементов блока на его горизонтальной плоскости, а объем элемента задается высотой слоя, которая подбирается исходя из особенностей геометрии.

На рисунке 7а показана *Топология №1*, состоящая из 24 элементов и 33 узлов. Данная топология позволяет создать конечно-элементную сетку для большинства блоков активной зоны реактора ИГР, которые имеют размер $\sim 98 \times 98$ мм. У данной топологии есть частный случай, необходимый для описания геометрии графитового блока усеченной формы. Такие блоки формируют четыре угловые колонны, расположенные в пазах графитовой крестовины возле центрального экспериментального канала. Следующая *Топология №2*, предназначена для описания графитовых блоков, которые имеют размер $\sim 98 \times 98$ мм и предназначены для размещения органов регулирования в специальных каналах. Для формирования такого канала были добавлены узлы и элементы. Данная топология показана на рисунке 7б, она имеет 32 элемента и 41 узел.

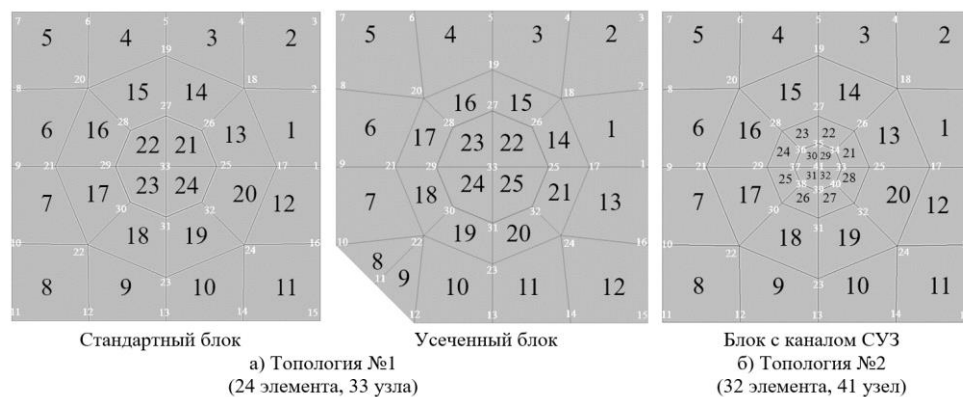


Рисунок 7. Топологии №1 и №2

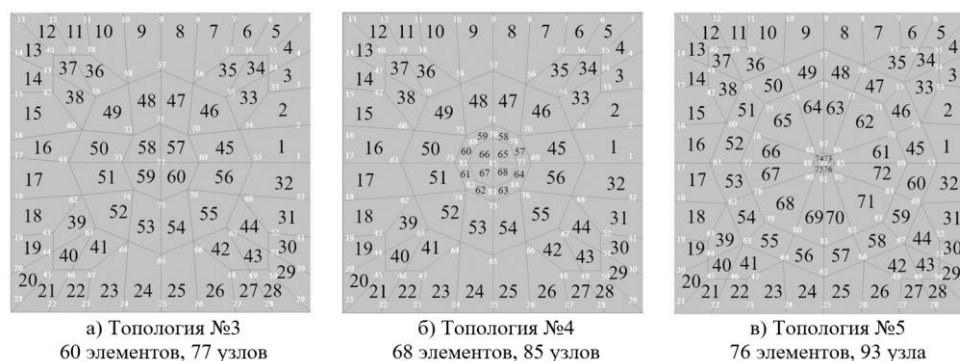


Рисунок 8. Топологии графитовых блоков отражателя

Топологии №3, №4 и №5 разработаны для описания графитовых блоков отражателя, имеющих размер $\sim 198 \times 198$ мм. Некоторые из этих блоков имеют каналы для размещения органов регулирования и бокового экспериментального канала, что приводит к увеличению числа узлов (от 77 до 93 узлов) и элементов (от 60 до 76 элементов). Данные топологии показаны на рисунке 8.

Наиболее сложная Топология №6 у графитовой крестовины реактора ИГР (рисунок 9). Данная топология состоит из 136 элементов и 184 узлов и позволяет точно описать сложную геометрию крестовины, используя только гексаэдрические элементы.

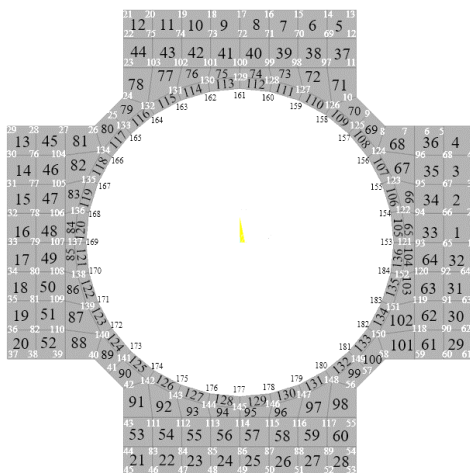


Рисунок 9. Топология №6 (136 элементов, 184 узла)

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В результате применения нестандартного метода генерации конечно-элементной сетки и его интеграции с программным средством была разработана полноразмерная детализированная теплофизическая модель активной зоны реактора ИГР. Разработанный программный продукт позволил получить файл с

набором команд для генерации сетки конечных элементов активной зоны реактора ИГР. На рисунке 10 представлены трехмерные сеточные модели графитовых блоков и втулок, построенные на основе разработанных ранее топологий.

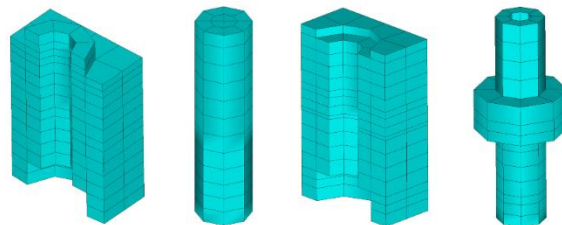
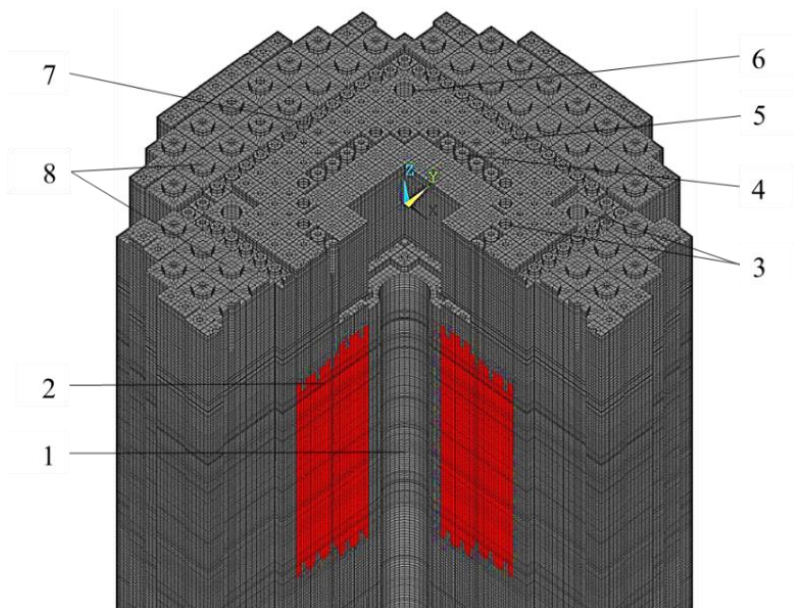


Рисунок 10. Элементная сетка моделей графитовых блоков и втулок

Созданная модель реактора ИГР описывает всю активную зону реактора ИГР, графитовый отражатель, центральный и боковой экспериментальный каналы в трехмерном представлении. Она состоит из структурированного набора конечных элементов и имеет 4 700 304 узла, 4 614 328 элементов, 8 427 типов элементов, 3 материала и 9 типов материалов. Минимальные требования для проведения расчетов с использованием программы ANSYS Mechanical APDL предъявляются как к оперативной памяти, которой требуется порядка 128 Гб (рекомендуется 256 Гб), так и к свободному объему жесткого диска (порядка 1 Тб). Данная теплофизическая модель была верифицирована по результатам расчетных и экспериментальных работ, опубликованных в статье [11].

Теплофизическая модель активной зоны реактора ИГР представлена на рисунке 11 двумя цветами, которые соответствуют основным материалам. Графит, пропитанный ядерным топливом выделен красным цветом, графит отражателя – серым. Гелий, который находится между графитовыми колоннами, на данном рисунке не показан.



- 1 – центральный экспериментальный канал;
- 2 – активная зона;
- 3 – каналы стержней управления;
- 4 – канал физических измерений;
- 5 – канал термоэлектрических преобразователей;
- 6 – боковой экспериментальный канал;
- 7 – канал источника нейтронов;
- 8 – отражатель

Рисунок 11. Теплофизическая модель активной зоны ИГР

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выполнена разработка теплофизической модели реактора ИГР, которая построена таким образом, чтобы сохранить важные геометрические параметры графитовых деталей. К этим параметрам отнесены внешние размеры графитовых блоков, размеры элементов, которые играют роль креплений между графитовыми деталями одной колоны (высота и диаметры пазов и выступов), внутренние отверстия, размеры графитовых втулок. Моделирование активной зоны реактора с учетом геометрических особенностей графитовых блоков позволяет точно установить положение точки, которая соответствует расположению термопары в реальной активной зоне – в полости канала графитовой колоны и позволяет учитывать неравномерность распределения энерговыделения, связанную с несимметричностью активной зоны.

Разработанная модель активной зоны ИГР имеет хороший потенциал к модернизации, так как, имея в распоряжении программный продукт для генерации сеточных моделей можно быстро перестроить модель и оценить параметры активной зоны, например при замене топлива. Это может быть актуально в рамках программы конверсии. В целом, модель позволяет рассчитать тепловое состояние активной зоны реактора ИГР в любой момент реакторного пуска. Модель построена из структурированных и оптимизированных конечных элементов, ассоциированных с нейтронно-физической моделью реактора.

Реализовано полное взаимодействие моделей на элементном уровне, что гарантирует передачу данных из одной модели в другую в явном виде. Модель создана в среде программирования VB.NET для проведения расчетов в программе ANSYS Mechanical APDL.

Разработанная модель может быть использована для решения широкого круга задач. Основные из которых: (1) анализ безопасности активной зоны реактора при проведении реакторных пусков ИГР с эксплуатационными характеристиками, близкими к предельным. К таким экспериментам можно отнести планируемые эксперименты по исследованию предельных облучательных возможностей реактора ИГР и эксперимент SAIGA; (2) конверсия реактора ИГР на низкообогащенное топливо, в рамках которого теплофизическая модель необходима для исследования характеристик производительности реактора ИГР с ВОУ и НОУ топливом.

В дальнейшем планируется продолжать развитие данного подхода с целью улучшения качества сеточной модели, оптимизации сеточной топологии, уменьшения количества конечных элементов, а также автоматизации процессов подготовки модели к теплофизическим расчетам и обработки получаемых результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение нестандартного подхода к разработке теплофизической модели активной зоны реактора ИГР позволило: 1) создать гибкие топологические схемы взаимного расположения узлов и элементов сеточной модели; 2) описать геометрию элементов активной зоны; 3) оптимизировать количество конечных элементов; 4) обеспечить сохранение качества сеточных элементов в соответствии с рекомендациями ANSYS; 5) разработать программный код, направленный на автоматизацию трудоемких процессов.

Предлагаемый подход к моделированию может быть легко адаптирован для создания новых теплофизических моделей различных конфигураций.

Благодарности

Данные исследования финансировались Министерством энергетики Республики Казахстан в рамках Научно-технической программы (BR24792713) «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан».

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Vityuk V., Vityuk G., Vurim A., Irkimbekov R., Kukushkin I., Surayev A., Mukhamedov N. Testing of a heterogeneous fuel rod in the research Impulse graphite reactor // Progress in Nuclear Energy. – 2023. – Vol. 164. – Art. no. 104889. ISSN 0149-1970, <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2023.104889>
2. Батырбеков Э.Г., Вурим А.Д., Гайдайчук В.А., Витюк В.А. Импульсный графитовый реактор: опыт эксплуатации и применения для испытаний ТВЭЛов и ТВС: монография // ООИ «Ишим». – 2023. – 208 с. [Batyrbekov E.G., Vurim A.D., Gaydaychuk V.A., Vityuk V.A. Impul'snyy grafitovyy reaktor: opyt ekspluatatsii i primeneniya dlya ispytaniy tvelov i TVS: monografiya // OOI "Ishim". – 2023. – 208 p. (In Russ.)]
3. Khafizov R.R., Poplavsky V.M., Rachkov V.I., Sorokin A.P., Ashurko Yu.M., Volkov A.V., Ivanov E.F., Privezentsev V.V. Experimental investigation of sodium boiling heat exchange in fuel subassembly mockup for perspective fast reactor safety justification // Nuclear Energy and Technology. – 2015. – Vol. 1 (2). – P. 147–152. <https://doi.org/10.26583/npe.2015.3.09>
4. Erlan Batyrbekov, Vladimir Vityuk, Alexander Vurim, Galina Vityuk. Experimental opportunities and main results of the impulse graphite reactor use for research in safety area // Annals of Nuclear Energy. – 2023. – Vol. 182. – 109582. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109582>
5. A.S. Surayev, R.A. Irkimbekov, Z.B. Kozhabayev, V.A. Vityuk Impact assessment of the IGR graphite block uneven impregnation with uranium on thermal strength properties / Recent Contributions to Physics. – 2022. – No. 3(82). – P. 52–59. <https://doi.org/10.26577/RCPH.2022.v82.i3.08>
6. ANSYS, Inc. Products Release 2021 R1. Academic research Mechanical and CFD

7. Бекмагамбетова Б.Е., Вурим А.Д., Иркимбеков Р.А., Сураев А.С. Динамика температурного поля реактора ИГР // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – Вып. 4(76), – С. 60–65. [Bekmagambetova B.Ye., Vurim A.D., Irkimbekov R.A., Surayev A.S. IGR reactor temperature field dynamics // NNC RK Bulletin. – 2018. – Vol. 4. – P. 60–65. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2018-4-60-65>
8. ANSYS Mechanical APDL. Thermal Analysis Guide, Ansys Inc., November, 2013.
9. Rajashekaraiah T. et al. Investigating Various Meshing Techniques in Computational Fluid Dynamics (CFD) for their Impact on Heat Transfer Parameters of Fins // Journal of Mines, Metals and Fuels. – 2025. – P. 117–128. <https://doi.org/10.18311/jmmf/2025/45417>
10. Vick, Paul. 2004. The Visual Basic .Net Programming Language. Addison-Wesley Professional.
11. Irkimbekov, R. A., Vityuk, V. A., Vityuk, G. A., Zhanbolatov, O. M., Surayev, A. S., Popov, Y. A., & Kotlyar, A. N. Development of a new computational support tool for experiments in the impulse graphite reactor // Nuclear Engineering and Design. – 2025. – Vol. 443. – Art. no. 114278. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2025.114278>

ИГР АКТИВТІ АЙМАҒЫН СОҒҒЫ-ЭЛЕМЕНТТІК МОДЕЛЬДЕУГЕ СТАНДАРТТЫ ЕМЕС ТӘСІЛДЕР

А. С. Сураев, Р. А. Иркимбеков, Н. Е. Мухамедов, Г. А. Витюк, О. М. Жанболатов, С. А. Должиков*

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

** Байланыс үшін E-mail: dolzhihov@nnc.kz*

ҚР ҰЯО РМК Атом энергиясы институтында ИГР импульстік графиттік реакторының белсенді аймағында болатын жылу процестерін модельдеу үшін әзірленген үш өлшемді жылу физикалық модель қолданылады. Бұл модель жоғары дәрежеде нақтыланады және оның жұмысының әртүрлі режимдерінде, оның ішінде шекті энергия бөлуде және штаттан тыс жағдайлар туындаған кезде белсенді аймақ параметрлерінің жылу-физикалық есептеулерін жүргізуге мүмкіндік береді. Кіріс деректері ретінде нейтронды-физикалық есептеулер жүргізілгеннен кейін алынған белсенді аймақ бойынша энергия бөлуді бөлумен көп өлшемді массивтер қызмет етеді. Модельдеу нәтижесі әрбір уақыт сәтінде модельдің әрбір торабының температура мәндерін қамтитын деректер жиыны болып табылады. Жылу-физикалық модельді әзірлеу кезінде бұрын қолданылмаған жаңа стандартты емес тәсілдер іске асырылды. Бұл жұмыста реактордың температуралық режимдерін зерттеу үшін сапалы құрал алуға мүмкіндік берген ANSYS Mechanical APDL ортасында ИГР активті аймағын модельдеу ерекшеліктері көрсетілген.

Түйін сөздер: ИГР, жылуфизикалық модель, соңғы элементтердің әдісі, көп өлшемді массив, ANSYS.

NON-STANDARD APPROACHES TO FINITE ELEMENT MODELING OF IGR CORE

A. S. Surayev, R. A. Irkimbekov, N. Ye. Mukhamedov, G. A. Vityuk, O. M. Zhanbolatov, S. A. Dolzhikov*

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

** E-mail for contacts: dolzhihov@nnc.kz*

To model thermal processes that occur in the core of the Impulse Graphite Reactor (IGR), the Institute of Atomic Energy of the RSE NNC RK uses a designed three-dimensional thermophysical model. This model has a high degree of detail and allows for thermophysical calculations of the core parameters in various modes of operation, including at maximum energy release and in the event of emergency situations. The input data are multidimensional arrays with the distribution of energy release in the core, obtained after neutronic calculations. The result of the modeling is an array of data containing the temperature values of each unit of the model at each moment in time. When designing the thermophysical model, new non-standard approaches were implemented that were not previously used. This paper shows the features of modeling the IGR core in the ANSYS Mechanical APDL environment, which made it possible to obtain a high-quality tool for studying the temperature modes of the reactor.

Keywords: IGR, thermophysical model, finite element method, multidimensional array, ANSYS.