

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ РАДИАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НЕЙТРОННО-ТРАНСМУТАЦИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ КРЕМНИЯ НА РЕАКТОРЕ ИРТ-Т

Н.В. Смольников, И.И. Лебедев, М.Н. Аникин
А.Г. Наймушин

Томский политехнический университет
nvs38@tpu.ru

Введение

Компьютерное моделирование играет важную роль в научных исследованиях благодаря возможности создания модели объекта и условий эксперимента полностью соответствующих действительности, что позволяет получать результаты, свидетельствующие о возможности и необходимости реализации эксперимента.

Для исследований, осуществляемых на базе исследовательских реакторов, компьютерное моделирование особенно важно в связи опасностью ядерно-радиационной опасностью и сложностью экспериментов.

В данной работе представлено использование программ для расчета плотностей потоков нейтронов и гамма-квантов на образцах кремния при его облучении в горизонтальном экспериментальном канале реактора ИРТ-Т и трехмерного моделирования контейнера для определения градиентов температур, возникающих в процессе облучения и охлаждения.

Программное обеспечение исследования

Нейтронно-физический расчет ядерного реактора возможно осуществить в пакете программы MCU-PTR, производящий расчет дифференциальных уравнений переноса излучения методом Монте-Карло, что позволяет проводить численное моделирование взаимодействия излучения с веществом. Это дает возможность получать результаты с погрешностью до 5% при достаточно большом количестве серий. MCU-PTR позволяет создавать модели объектов в трехмерном пространстве с учетом их материального состава и специфики геометрии.

Градиент температур в образце, формирующийся в процессе облучения и охлаждения было решено продемонстрировать в программе Solidworks, включающий в себя создание 3D-модели и решения физических задач.

Создание расчетной модели

Помимо расчета, включающего большое количество серий, необходимо создание геометрии максимально соответствующей действительности, что является отдельной задачей. На рисунке 1 представлена текущая активная зона реактора ИРТ-Т.

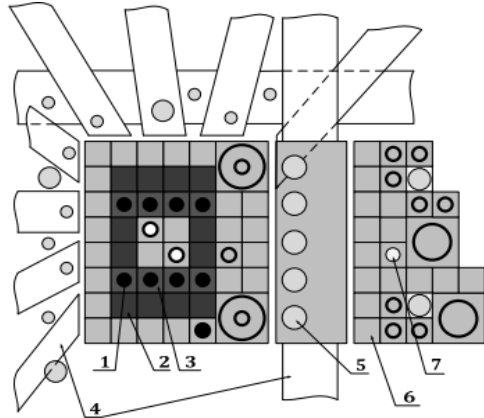


Рис. 1. Картограмма активной зоны реактора ИРТ-Т: 1—органы регулирования; 2– 8-ми трубные ТВС; 3– 6-ти трубные ТВС; 4– горизонтальные экспериментальные каналы; 5 – вертикальные экспериментальные каналы; 6–бериллиевые блоки; 7– экспериментальный канал с водой.

Как можно видеть, активная зона реактора содержит множество элементов, которые необходимо было учесть при создании расчетной модели, включая все экспериментальные каналы. На рисунке 2 представлена расчётная модель активная зона реактора ИРТ-Т.

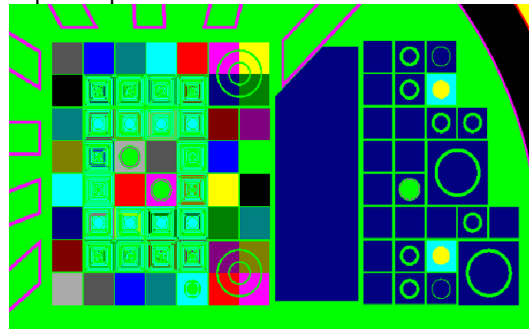


Рис. 2. Расчетная модель активной зоны реактора ИРТ-Т, созданная в MCU-PTR

Созданная модель полностью соответствует текущей модели реактора ИРТ-Т, что дает возможность получать результаты, по которым можно судить о качестве исследований.

Расчет энерговыделения

В экспериментальном горизонтальном канале расчетной модели реактора вдоль активной зоны были размещены образцы кремния для расчета плотностей потоков нейтронов и гамма-квантов, необходимых дальнейшего определения величины

энерговыделения. На рисунке 3 представлено суммарное распределение энерговыделения от гамма-квантов и нейтронов на образцах.

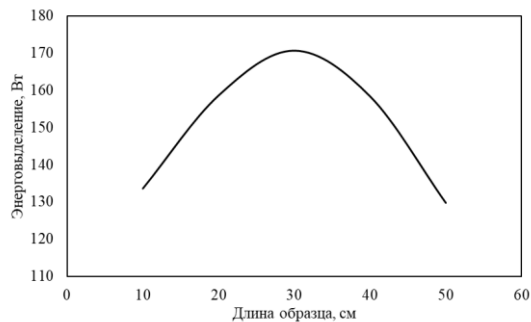


Рис. 3. Распределение энерговыделения по длине образца

Как можно видеть форма распределения имеет форму косинуса, следовательно, наибольшее значение величины энерговыделения находится по центру относительно активной зоны, что соответствует действительности. Суммарное энерговыделение во всем образце составляет 752 Вт.

Моделирование процесса охлаждения образцов в процессе облучения

Исходя из реальной конструкции контейнера для облучения кремния и размеров экспериментального канала в программе Solidworks была создана 3D-модель для оценки градиентов температур в образцах. На рисунке 4 представлена созданная модель контейнера с образцом.

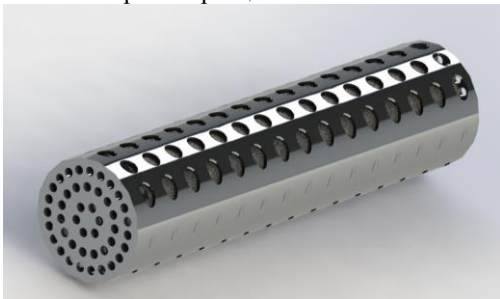


Рис. 4. Модель контейнера для облучения

Для решения физической задачи были заданы граничные условия: давление, объемный расход воздуха, температура среды и материалов. В качестве источника тепла был задан образец кремния. Чтобы воссоздать максимально приближенные условия к реальности, моделируется прокачка воздуха из экспериментального канала с расходом 150 м³/ч. На рисунке 5 представлено сечение контейнера с распределением температур в твердых телах в процессе облучения и охлаждения.

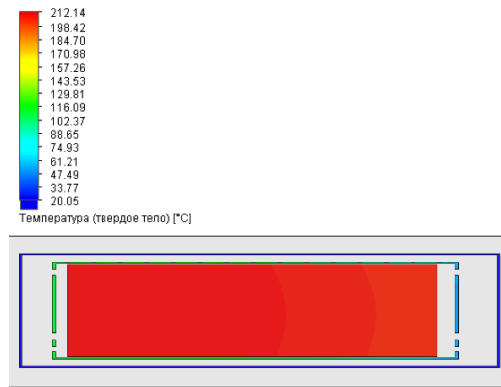


Рис. 5. Распределение температур в твердых телах при охлаждении

Как можно видеть, температура образца находится в диапазоне 200-212 °C при максимальной температуре воздуха в зазорах между образцом и контейнером 120 °C. Средняя и максимальная скорости воздуха, зафиксированные в процессе расчета составляют 2,3 м/с и 5,6 м/с соответственно. К сожалению, в настоящее время не имеется экспериментально зафиксированных значений температур при охлаждении, поэтому нельзя точно судить о точности полученных значений.

Заключение

По полученным данным можно сказать, что MCU-PTR позволяет производить моделирования нейтронно-физических расчетов для различных задач с заданной точностью, так как полученные значения плотностей потоков нейтронов и гамма-квантов, использованных при расчете тепловыделения имеют отклонение от экспериментальных до 7%.

Для установления погрешности определения температур в твердых телах и скорости движения воздуха в процессе облучения и охлаждения, полученных при решении физической задачи в Solidworks, необходимо проводить эксперимент с использованием термопар. Однако, как можно видеть из рисунка 5, функции программы позволяют визуально оценить распределение температур в процессе исследования.

Список использованных источников

1. Нейтронно-физические параметры исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т / Варлачев В.А., Головацкий А.В., Емец Е.Г., Солодовников Е.С., Усов Ю.П., Худолеев П.Н. // Известия вузов. Физика. – 2012. – т. 55. – №11/2. – С. 39–44.
2. Гуревич М.И., Шкаровский Д.А. Расчет переноса нейтронов методом МонтеКарло по программе MCU: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ. – 154 с.
3. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 448 с.