

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКТОРА ИГР

Иркимбеков Р.А., Сураев А.С., Жанболатов О.М., Витюк В.А.
(Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан)

Введение

Методы компьютерного моделирования являются мощной поддержкой на всех этапах проектирования и эксплуатации ядерных реакторов. Доступность высокопроизводительного вычислительного оборудования позволила во многом усовершенствовать эти методы и повысить их достоверность. Новые возможности в данной сфере сегодня активно используются при изучении физики уникального реактора ИГР и обеспечении испытаний в нем новых типов топлива [1].

Наиболее малоизученным на сегодняшний день остается режим работы реактора, в котором достигается максимальное энерговыделение (на уровне 5,2 ГДж) [3]. В этом режиме возможно возникновение термических напряжений в графитовых деталях активной зоны, обусловленное неравномерностью пропитки графитовых блоков ураном [4]. В этой связи, корректное прогнозирование и определение энерговыделения в реакторе, а, следовательно, и динамики температурного поля активной зоны ИГР во время пуска является актуальной задачей. Ее решение позволит повысить качество моделирования реакторных экспериментов и обеспечить получение объективной информации о параметрах, влияющих на безопасность его работы, на режимах с максимальным или близким к максимальному энерговыделением [2].

В работе представлены результаты моделирования, с использованием разработанной нейтронно-физической модели [5], исследовательского пуска ИГР, в ходе которого достигается максимальный уровень энерговыделения.

1. Параметры исследовательского пуска

Исследовательский пуск проведен в режиме работы ИГР «Регулируемый импульс» с экспериментальным устройством (ЭУ), расположенным в центральном экспериментальном канале (ЦЭК) реактора ИГР (рис.1). Устройство представляет собой конструкцию из двух соосно расположенных твэлов (верхнего и нижнего). Верхний твэл оснащался таблетками типа БН-350 из диоксида урана с обогащением 17 % по изотопу урана ^{235}U (31 шт.) и активационными индикаторами из никеля (2 шт.) и хромеля (3 шт.). Нижний твэл оснащался таблетками типа БН-350 из диоксида урана с обогащением 0,27 % по изотопу урана ^{235}U (33 шт.) и активационными индикаторами из никеля (3 шт.) и хромеля (3 шт.).

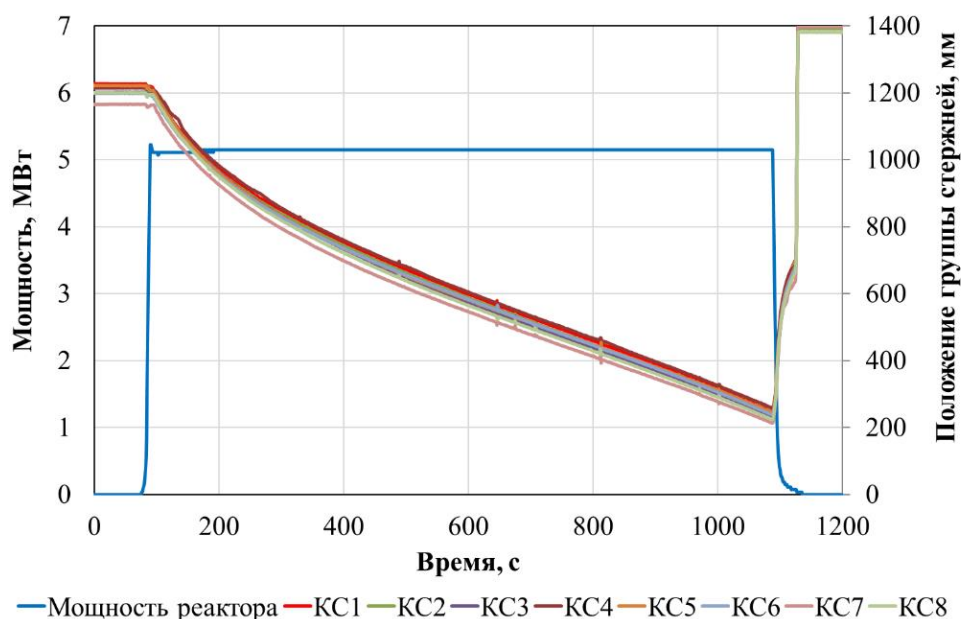


Рис. 1. Диаграмма изменения мощности реактора и движения стержней регулирования

Диаграмма изменения мощности реактора и величина энерговыделения в топливе экспериментального устройства выбрана такой, чтобы температура элементов твэлов не превысила температуры их плавления, а интегральное энерговыделение в реакторе в регулируемом режиме достигло максимального значения 5,2 ГДж. Во время облучения были получены данные штатного измерительного оборудования реактора ИГР: показания токов ионизационных камер, диаграмма движения органов регулирования и изменение температуры активной зоны ИГР.

Основываясь на показаниях ионизационных камер получено значение интегрального энерговыделения в реакторе во время пуска, которое составило 5,26 ГДж. По результатам исследовательского пуска были проведены спектрометрические исследования активационных индикаторов, а также сравнение измеренных параметров с расчетными.

2. Расчетное моделирование исследовательского пуска

Активационные детекторы позволяют получить экспериментальные результаты по активации с максимальной точностью [6]. Для сравнения все результатов используется удельный активационный интеграл, который показывает количество реакций на одно ядро мишени при выделении в реакторе ИГР 1 МДж энергии.

Сечение реакции (n, p) никелевой проволоки незначительно и не может повлиять на плотность потока быстрых нейтронов. Расчет реакции (n, p) в MCNP [7] требует большого количества историй для получения статистически важного результата. По этой причине методика расчета реакции (n, p) на никеле основывалась на расчете реакции по всему горизонтальному сечению экспериментальных каналов. Это позволило получить хорошие статистические результаты. Ниже приведены сравнительные данные валидации модели по результатам расчета активации никелевых детекторов (рис. 2–4). На экспериментальные данные нанесена погрешность 5 % по удельному числу делений и по 5 см по высоте.

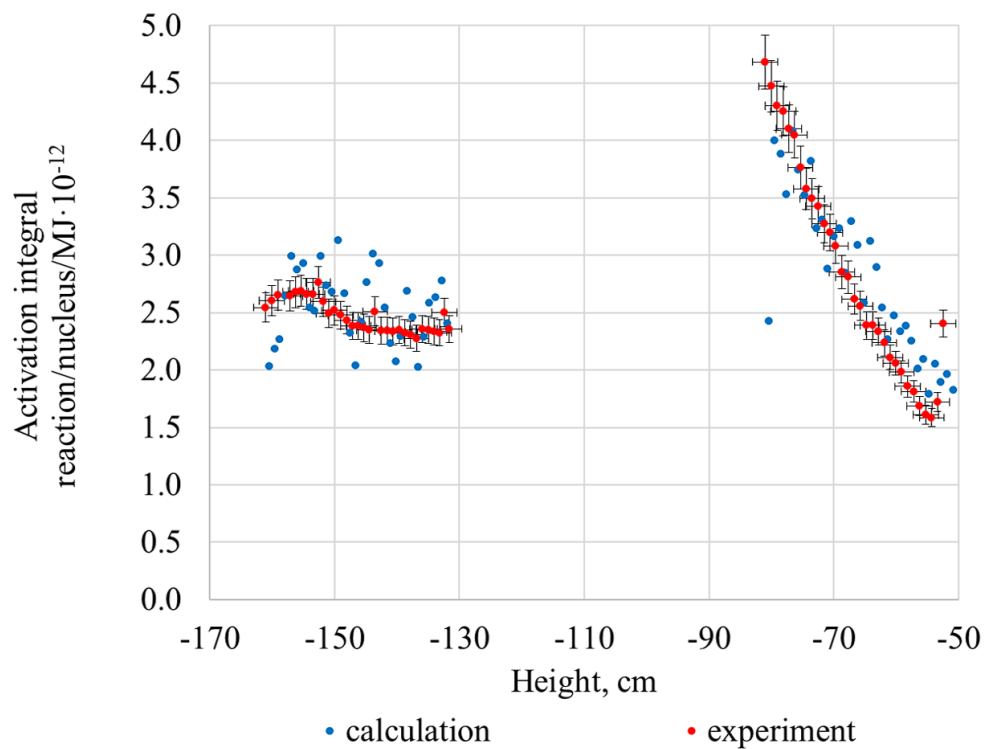


Рис. 2. Сравнение результатов расчета активационных интегралов и спектрометрических исследований топлива

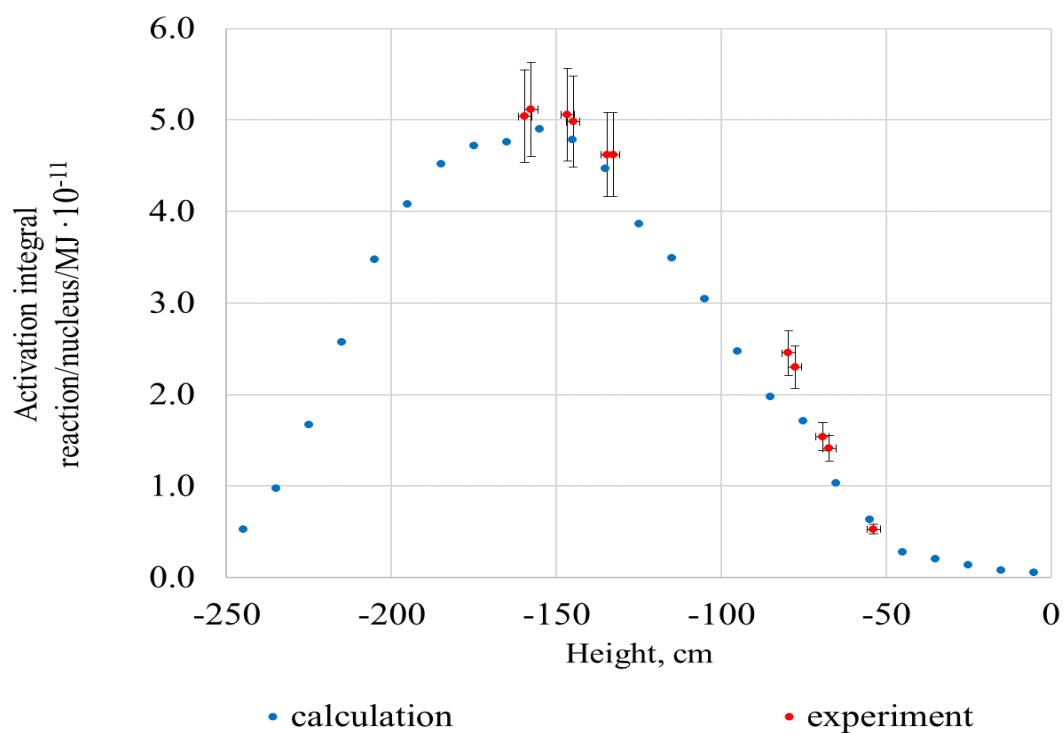


Рис. 3. Сравнение результатов расчета никелевых активационных интегралов и спектрометрических исследований

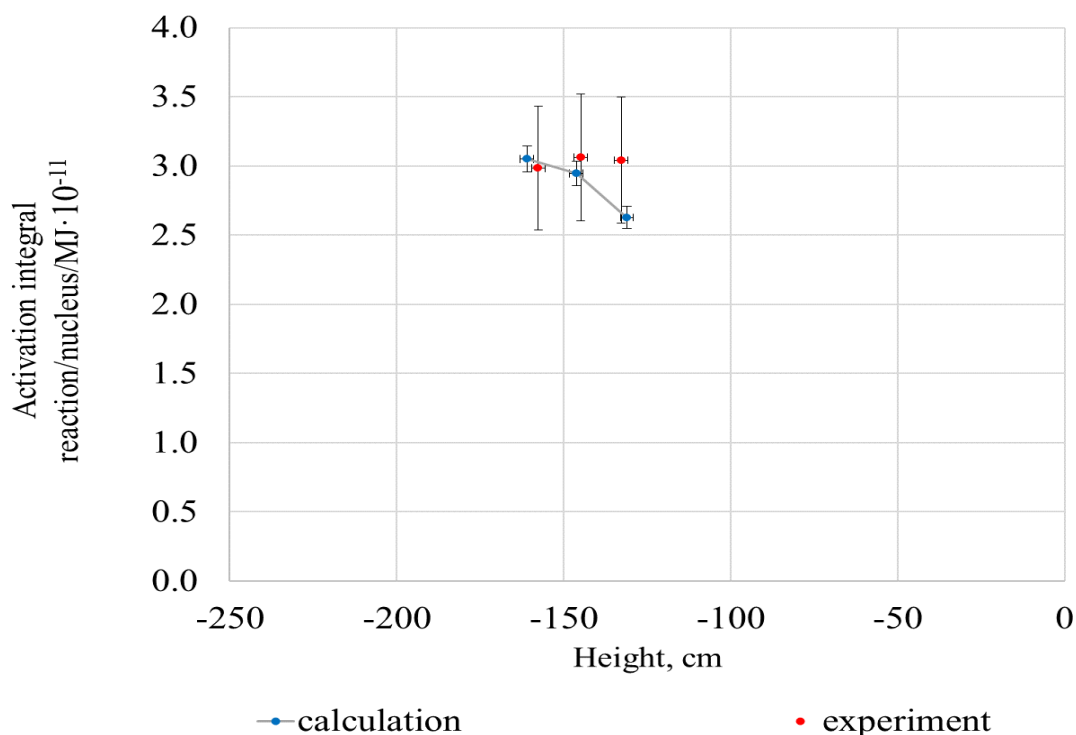


Рис. 4. Сравнение результатов расчета хромелевых активационных интегралов и спектрометрических исследований

Заключение

Проведен исследовательский пуск в режиме «Регулируемый импульс» продолжительностью 1000 с и выполнено компьютерное моделирование его параметров. Использование различных по материальному составу активационных индикаторов обеспечивает получение наиболее достоверных результатов спектрометрических исследований. Отклонение результатов измерений от расчетных значений не превышает 3 %.

По результатам исследований активационных индикаторов оценена величина интегрального энерговыделения в реакторе во время пуска, которая составила 4650 МДж. Это значение соответствует мгновенному энерговыделению и с погрешностью 10–15 % совпадает с энерговыделением, зарегистрированным штатными ионизационными камерами.

Работа профинансирована Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP09058353 «Разработка инструментария для моделирования динамики нейтронного поля импульсного исследовательского ядерного реактора»).

Список литературы

1. Batyrbekov, E., V. Vityuk, A. Vurim, and G. Vityuk. 2023. "Experimental Opportunities and Main Results of the Impulse Graphite Reactor Use for Research in Safety Area." *Annals of Nuclear Energy* 182. doi:10.1016/j.anucene.2022.109582
2. Vityuk V., Vurim A. Method for determining the energy parameters in pulse reactor experiments // *Annals of Nuclear Energy*. – 2019. – Vol. 127. – P.196–203.
3. Жанболатов О.М., Иркимбеков Р.А., Мухамедов Н.Е. Расчет диаграммы мощности экспериментального устройства с конвертором нейтронов. *Вестник НЯЦ РК*. 2020. – Вып.4. – С. 82–87.

4. 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. – №. 3(82). – P.52–59
5. Vurim A.D., Kotov V.M., Irkimbekov R.A., Zhagiparova L.K., Baigozhina A.A. Computer model of the IGR reactor for stationary neutron calculations: a. s. No. 2738 of 12.27.16 Republic of Kazakhstan.
6. Сравнение расчетных и экспериментальных результатов по определению чисел реакций в детекторах из урана и никеля на комплексе БАРС-5М+рун-2 / В. И. Литвин, Л. Ю. Самойлова, Д. В. Зайцев [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. – 2019. – № 4. – С. 126–133.
7. MCNP-6.1. Monte-Carlo N-Particle Transport Code // Los Alamos National Laboratory; Los Alamos, New Mexico. – 2008.