

УДК 621.039.51: 621.039.56

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА РЕАКТИВНОСТИ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПУСКА РЕАКТОРА ИГР

Вурим А.Д., Гайдайчук В.А., Котляр А.Н., Козловский Е.В., Миллер А.А., Олжаев И.Т., Журкин С.А., Цхе В.К.

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

Предложен подход к реализации пусков реактора ИГР, повышающий безопасность реакторных испытаний путем уменьшения количества рабочих органов (стержней регулирования) СУЗ, задействованных в работе. На основе массива экспериментальных данных определены связи между параметрами диаграммы мощности реактора и реактивностью, необходимой для ее реализации. На практике проверена корректность и эффективность предлагаемого подхода.

Ключевые слова: безопасность реактора, реактор ИГР, система управления и защиты, стержни компенсации реактивности, реактивность, энерговыделение.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из задач, решаемых в процессе эксплуатации реактора ИГР – как и любого другого исследовательского реактора, является обеспечение безопасности при проведении внутриреакторных экспериментов.

Анализ показывает, что наибольшей опасностью при проведении пуска реактора характеризуется аварийная ситуация, связанная с несанкционированным извлечением из активной зоны рабочих органов СУЗ – так называемым «самоходом» стержней.

Одним из возможных путей смягчения последствий развития этой аварийной ситуации является минимизация величины положительной реактивности, которая может быть введена в активную зону при самопроизвольном извлечении стержней регулирования, что может быть обеспечено за счет уменьшения количества стержней регулирования, задействованных при реализации заданной диаграммы изменения мощности в каждом конкретном эксперименте.

В данной статье приведены результаты анализа экспериментальных данных, полученных при реализации пусков реактора на разных уровнях мощности и с различным энерговыделением. По результатам анализа определены весовые характеристики стержней регулирования с точки зрения их воздействия на реактивность реактора, дана их количественная оценка, предложен алгоритм определения числа стержней, достаточного для реализации заданной диаграммы мощности реактора.

Для подтверждения работоспособности выбранного подхода впервые реализован пуск реактора ИГР с минимальным количеством задействованных стержней регулирования.

1. РЕАКТОР ИГР

Импульсный графитовый реактор (ИГР) относится к исследовательским реакторам на тепловых нейтронах, работающим в режиме программируемых импульсов мощности. По принципу гашения импульса реактор является самогасящимся.

Управление мощностью реактора осуществляется с помощью 16 стержней регулирования, которые

по своему функциональному назначению подразделяются на:

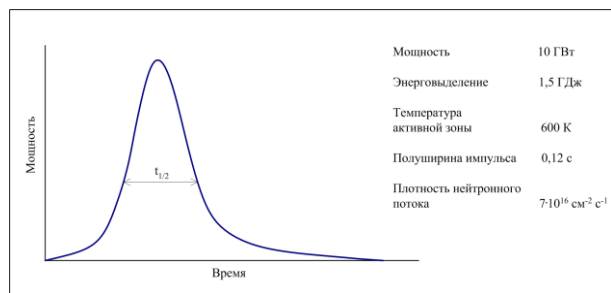
- стержни ручного регулирования (РР, АР, УС1÷УС3);
- стержни компенсирующие (КС1÷КС8);
- стержни пусковые (ПС1÷ПС3).

Конструктивно все стержни регулирования, за исключением УС1...УС3, выполнены одинаково и представляют собой последовательно соединенных на шарнирах графитовых штанг, на которые нанизаны поглощающие кольца. Материал, из которого изготовлены кольца, представляет собой дисперсию гадолиния в графите.

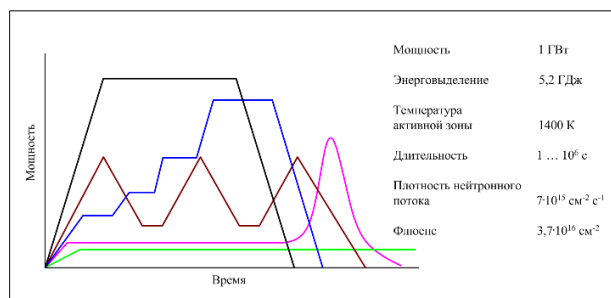
Основными режимами работы реактора являются регулируемый («Импульс») и нерегулируемый режим самогасящейся нейтронной вспышки («Вспышка») (рисунок 1).

Для осуществления режима самогасящейся вспышки реактору сообщается положительная реактивность, ее величина определяет форму, амплитуду и полуширину нейтронного импульса. Гашение вспышки происходит вследствие отрицательного температурного эффекта реактивности. Максимальная мощность реактора, которую можно достичь в этом режиме в соответствии с паспортными характеристиками реактора, составляет 10 ГВт.

Режим «Импульс» (регулируемый режим) осуществляется из подкритического состояния путем сообщения реактору положительного скачка реактивности. При достижении заданного значения мощности срабатывает схема включения в работу автоматического регулятора мощности (АРМ) и далее пуск продолжается в автоматическом режиме. АРМ реализует заданную диаграмму мощности, управляя восемью компенсирующими стержнями. Форма, амплитуда (уровень мощности) и длительность регулируемого режима могут быть самыми различными (рисунок 1) и определяются задачами испытаний исходя из условия не превышения эксплуатационного предела по температуре активной зоны. Максимальное энерговыделение в активной зоне реактора составляет ~5,2 ГДж [1, 2]



а)



б)

Рисунок 1. Основные режимы работы реактора ИГР: нерегулируемый (а) – самогасящаяся «Вспышка» и регулируемый (б) – «Импульс»

2. ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Анализ условий безопасного проведения реакторных экспериментов показывает, что наиболее тяжелые последствия может иметь аварийная ситуация, связанная с несанкционированным движением вверх («самоходом») КС СУЗ. Опасность «самохода» заключается в высвобождении избыточной реактивности в активной зоне реактора ИГР и возникновении аварийной ситуации, связанной с перегревом объекта испытаний. Вследствие этого, несмотря на крайне малую вероятность возникновения, «самоход» рассматривается во всех отчетах по обоснованию безопасности реакторных испытаний, как исходное событие аварийной ситуации, ведущей к срыву эксперимента.

Одним из возможных путей решения данной проблемы является сокращение до необходимого минимума количества контролируемых стержней (КС), задействованных для реализации заданной диаграммы изменения мощности. Управление восемью КС осуществляется по восьми идентичным и не зависимым между собой каналам, поэтому для уменьшения числа работающих КС достаточно не включать электропитание приводов незадействованных стержней. С методической точки зрения, для решения данной задачи необходимо определить ключевые параметры, влияющие на изменение реактивности, дать их количественную оценку, а также разработать алгоритм расчета числа стержней, необходимого для реализации заданной диаграммы мощности.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ЕЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе анализа результатов пусков, отличающихся видом реализованной диаграммы, величиной мощностью и энерговыделением в активной зоне реактора ИГР, установлено следующее:

- энерговыделение в активной зоне реактора находится в прямой зависимости от перемещения КС;

- уровень мощности реактора также напрямую зависит от скорости движения КС.

На рисунке 2 приведен пример диаграммы изменения мощности пуска реактора ИГР.

Для количественного выражения первой зависимости была обработана серия пусков реактора с энерговыделением в активной зоне от 0,1 до 5 ГДж, второй зависимости – серия пусков с максимальной мощностью реактора от 0,6 МВт до 1 ГВт.

Следует отметить, что в процессе обработки мощности и энерговыделение реактора определялись как величины, пропорциональные току и интегралу тока ионизационных камер, соответственно. В зависимости от мощности и интервала перемещения КС рассчитано интегральное энерговыделение в пусках методом численного интегрирования. Интегрирование тока ионизационных камер выполнялось в интервале рабочего хода КС (рисунок 2). За рабочий ход КС принято перемещение от начала движения до верхней точки, достигнутой КС в процессе пуска. Скорость движения КС получена путем дифференцирования кривых рабочего хода.

В результате исследований были получены зависимости, характеризующие связь между энерговыделением и перемещением восьми КС, а также мощностью реактора и скоростью движения восьми КС. В графическом виде они представлены на рисунке 3.

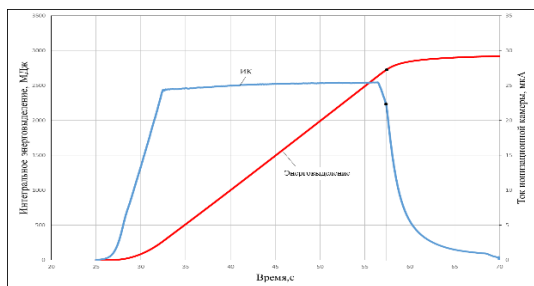
Эти зависимости были преобразованы в гистограммы (см. рисунок 4), которые показывают, какое энерговыделение и мощность можно реализовать с помощью одного, двух и более стержней.

Для определения количества стержней, требуемого для реализации заданной диаграммы достаточно следовать простому алгоритму:

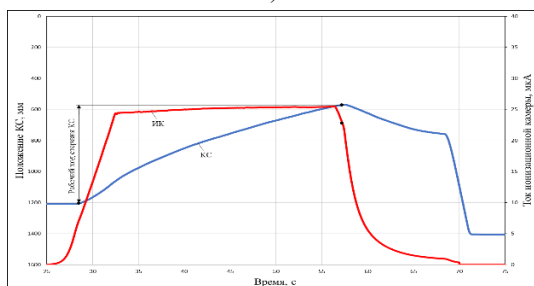
- 1) по первой гистограмме (рисунок 4, а) определить количество стержней, соответствующее заданному энерговыделению;

- 2) по второй гистограмме (рисунок 4, б) определить количество стержней, способное обеспечить поддержание заданного уровня мощности;

- 3) из двух полученных значений выбрать большее.

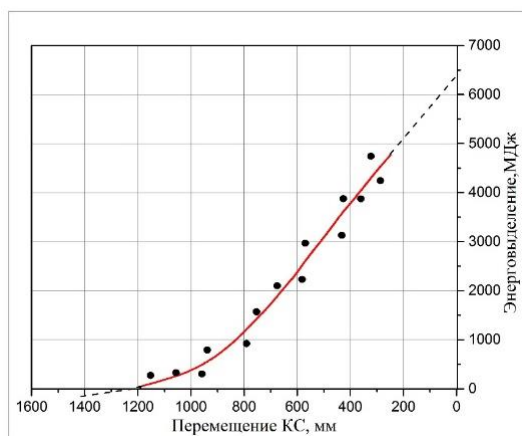


а)

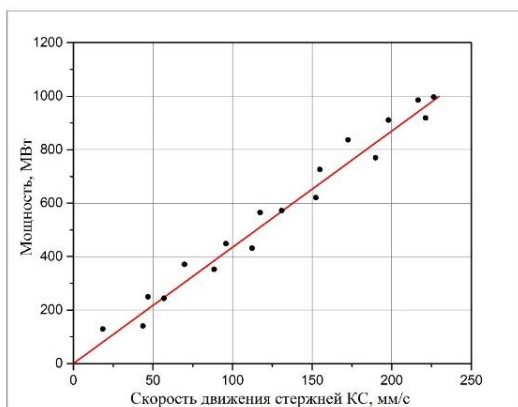


б)

Рисунок 2. Диаграмма изменения мощности пуска реактора ИГР (а) и рабочий ход стержня (б)

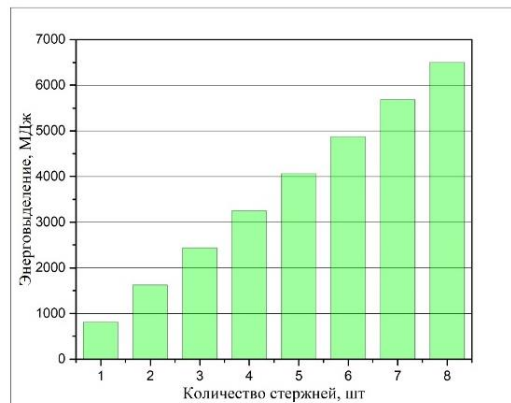


а)

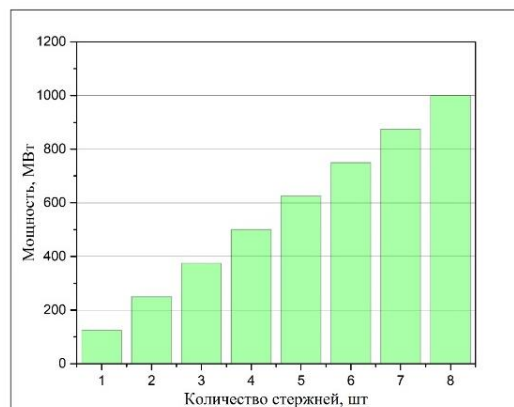


б)

Рисунок 3. а) зависимость энерговыделения от перемещения восьми стержней КС; б) зависимость мощности от скорости движения восьми стержней КС



а)



б)

Рисунок 4. Зависимость энерговыделения (а) и мощности (б) от количества стержней КС

5. ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Работоспособность предложенного подхода проверена на практике. В рамках одного из экспериментов была предложена диаграмма изменения мощности реактора ИГР (рисунок 5) со следующими параметрами:

- максимальная мощность реактора – 650 кВт;
- энерговыделение в активной зоне реактора – 15 МДж.

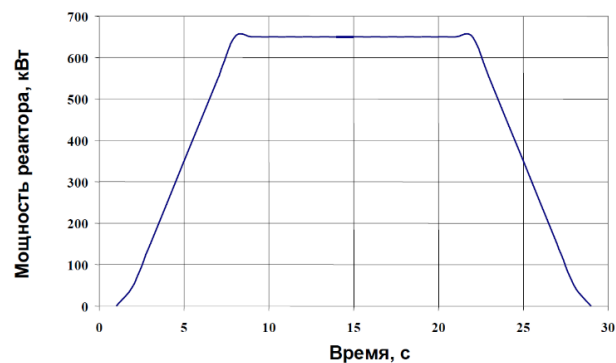


Рисунок 5. Заданная диаграмма изменения мощности реактора ИГР

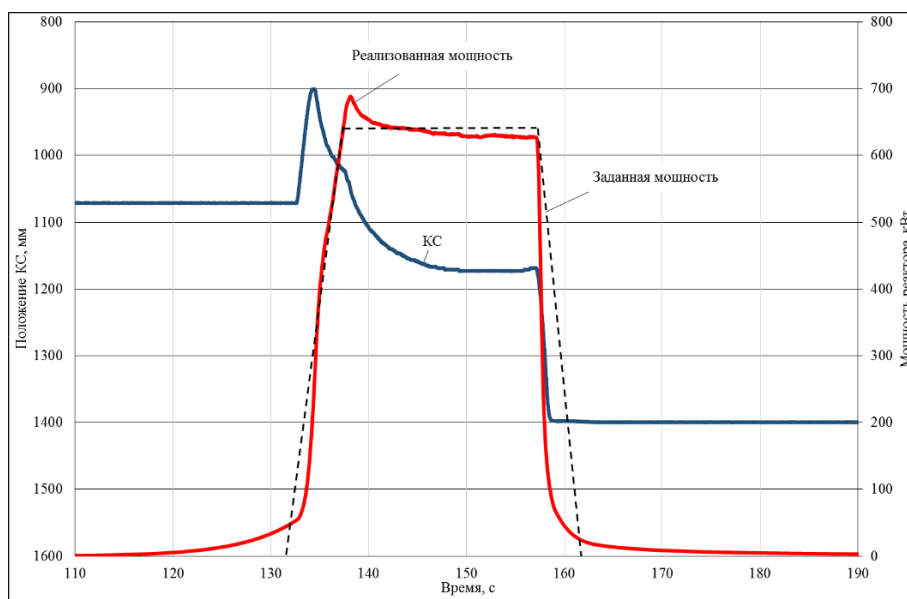


Рисунок 6. Реализованная диаграмма изменения мощности реактора ИГР

Основываясь на заданных параметрах по гистограмме, представленной на рисунке 4а, было определено количество стержней, способных реализовать требуемое энерговыделение (15 МДж).

Затем по гистограмме, представленной на рисунке 4б, определено количество стержней, необходимых для поддержания заданной мощности реактора (650 кВт).

И в первом и во втором случае получилось, что достаточно одного стержня КС.

Полученный результат представлен на рисунке 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ массива экспериментальных данных, полученных при реализации пусков реактора на разных уровнях мощности и с различным энерговыделением в активной зоне.

На основе анализа получены зависимости, характеризующие связь между:

- энерговыделением в реакторе и перемещением КС;

- мощностью реактора и скоростью движения КС;

- параметрами заданной диаграммы мощности и необходимым количеством стержней, для ее реализации.

Предложен алгоритм определения количества КС, необходимого для реализации пуска реактора ИГР.

Проверена работоспособность предложенного алгоритма на практике. Впервые реализован пуск реактора ИГР в режиме «Импульс» с минимальным количеством КС. Для однозначного вывода о «работоспособности» предлагаемого подхода необходимо провести серию пусков реактора в диапазоне энерговыделения в АЗ до 5,2 МДж при различных значениях мощности и динамики реактора.

Впервые реализован пуск реактора ИГР в режиме «Импульс» с минимальным количеством КС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование характеристик реактора ИГР после реконструкции. ДСП-24, – Курчатов, 1968 г.
2. Система управления и защиты реактора. Руководство по эксплуатации. АК.65000.01.131 РЭ / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК. – Курчатов, 2004.–38с.– Инв. № К-41435.
3. Дж.Р.Кипин. Физические основы кинетики ядерных реакторов. Москва, Атомиздат, 1967 г.
4. Ю.А. Казанский, В.А. Дулин и другие. Методы изучения реакторных характеристик на критических сборках БФС. Москва. Атомиздат, 1977 г.
5. Ю.А. Казанский, Матусевич. Экспериментальные методы в физике реакторов. Москва, Атомиздат, 1978 г.
6. М.И.Кувшинов, П.Ф.Чередник. Методики измерения реактивности, применяемые на быстрых импульсных реакторах. ВАНТ. Серия Импульсные реакторы и простые критические сборки, 1986 г., вып.1, с.16–22.

ИГР РЕАКТОРЫН ІСКЕ ҚОСУДЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ ҮШІН ҚАЖЕТТІ РЕАКТИВТІЛІК ҚОРЫН ЕСЕПТІ-ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫ АНЫҚТАУ

А.Д. Вурим, В.А. Гайдайчук, А.Н. Котляр, Е.В. Козловский, А.А. Миллер, И.Т. Олжаев, С.А. Журкин, В.К. Цхе

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

Жұмысқа қатыстырылған БҚЖ жұмыс органдарының (реттеу өзектерін) санын азайту жолымен реакторлық сынақтардың қауіпсіздігін арттыратын ИГР реакторының іске қосуды жүзеге асыру жолы ұсынылды. Эксперименттік мәліметтердің массиві негізінде реактор қуаты диаграммаларының параметрлері және оны жүзеге асыру үшін қажетті реактивтілік арасындағы байланыс анықталды. Ұсынылып отырған амалдың дұрыстығы мен тиімділігі іс-жүзінде тексерілді.

Негізгі сөздер: реактор қауіпсіздігі, ИГР реакторы, басқару және қорғаныс жүйесі, реактивтіктің орнын толтырушы өзектер, реактивтілік, энергия бөліну.

CALCULATION AND EXPERIMENTAL DETERMINATION OF REACTIVITY MARGIN REQUIRED FOR IGR REACTOR START-UP

A.D. Vurim, V.A. Gaidaichuk, A.N. Kotlyar, Ye.V. Kozlovskiy, A.A. Miller, I.T. Olzhaev, S.A. Zhurkin, V.K. Tskhe

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

An approach to the implementation of IGR reactor start-up is proposed, which increases the safety of reactor tests by reducing the number of working bodies (control rods) of CPS involved in the work. Based on a set of experimental data, connections between the parameters of the reactor power scheme and the reactivity necessary for its implementation are determined. The correctness and effectiveness of the proposed approach is checked in practice.

Key words: reactor safety, IGR reactor, control and protection system, reactivity compensation rods, reactivity, energy release.