



РОСЭНЕРГОАТОМ
ВНИИАЭС

Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций» (АО «ВНИИАЭС»)

ул. Ферганская, д. 25, г. Москва, 109507,
тел.: (499)796-91-33, факс: (495)376-83-33
www.vniiaes.ru, e-mail: vniiaes@vniiaes.ru

№ _____
На № _____ от _____

О направлении отзыва на
диссертацию от 28.12.2017

Председателю диссертационного
совета Д 002.070.01
Большову Л.А.

115191, г. Москва, ул. Большая
Тульская, д.52
ИБРАЭ РАН

Направляю Вам отзыв официального оппонента - сотрудника АО ВНИИАЭС А.А.Болсунова на диссертацию Черновой Ирины Сергеевны «Создание и использование программ полномасштабной пространственной кинетики для расчетов реакторов на быстрых нейтронах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 — «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Приложение. Отзыв – 2экз., на 5стр. с приложением.

Первый заместитель генерального директора,
директор ВНИИАЭС-НТП

А.Н. Лупишко

Исп. Болсунов А.А.
т.499-796-92-47

О Т З Ы В

официального оппонента к.т.н. Болсунова А.А. на диссертацию Черновой Ирины Сергеевны «Создание и использование программ полномасштабной пространственной кинетики для расчетов реакторов на быстрых нейтронах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 — «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Проведение расчетных исследований нестационарных пространственно-временных процессов в ядерных реакторах обусловлено необходимостью совершенствования как программной, так и методической базы для целей сопровождения эксплуатации, т.е. для обоснования точности проведения расчетов на реальных системах с распределенными параметрами. Основой пространственной кинетики являются следующие взаимосвязанные процессы, рассматриваемые после внесения возмущения: пространственно-временное распределение плотности потока нейтронов и эмиттеров запаздывающих нейтронов, а также соотношение групповых долей запаздывающих нейтронов. Эти процессы определяют поведение реактивности системы.

Поскольку возмущения в активной зоне реактора чаще всего носят локальный, а не гомогенный характер, и установление асимптотических характеристик растягивается на десятки и даже сотни секунд, то переходной пространственно-временной процесс не может быть достаточно точно описан только одним параметром – реактивностью. Поэтому методики основанные на использовании понятия реактивности требуют некоторых уточнений. К тому же практика эксплуатации показывает, что определение расчетно-экспериментальными методами значений нейтронно-физических параметров по действующим методикам может содержать систематические погрешности.

Диссертационная работа Черновой И.С посвящена **актуальной задаче** – разработке, обоснованию и использованию программ прямого и обратного решения задач кинетики реактора на быстрых нейтронах для исследовательских, проектных и экспериментальных расчетов без использования приближенных схем решения.

Характер работы обусловлен:

– тем, что действующие методики по расчетно-экспериментальному определению нейтронно-физических характеристик содержат приближения: о разделении переменных; о близости форм-функции и собственных функций состояния; об интерпретации тока датчика как интегральной мощности реактора и пр.;

– физическими и эксплуатационными особенностями реакторов на быстрых нейтронах (в отличие от тепловых реакторов, спектр запаздывающих нейтронов находится в энергетической области нейтронов, осуществляющих деление; тенденция к уплощению активной зоны реактора с ростом мощности блока).

– в реальных экспериментах измеряемой является не реактивность, а другие величины, что требует установления нетривиальной связи между ними;

- необходимостью учета пространственных эффектов при оценках больших значений реактивности методом ОРУК;
- отсутствием данных по обоснованию приближенных схем решения прямой задачи кинетики.

В указанных условиях, используя физические и эксплуатационные особенности реакторов БН, диссертанту удалось найти решение поставленной задачи. Была разработана программа прямого многогруппового расчета переноса нейтронов в диффузионном приближении в трехмерной геометрии для полномасштабной РУ БН-800 без использования факторизации плотности потока нейтронов.

Решение обратной задачи кинетики проводится по комбинированной схеме с учетом пространственных эффектов, когда одновременно определяется не только реактивность, но и эффективность используемых датчиков и эффективный внешний источник.

Диссертантом проведены оригинальные численные исследования точности различных приближенных схем решения уравнений кинетики, результатом которых являются рекомендации по использованию приближенных моделей.

Поставлены и решены оптимизационные задачи о месте расположения внутриреакторных датчиков и о пространственном расположении вводимых в реактор возмущений с точки зрения минимизации пространственных деформаций поля нейтронов и уменьшения погрешностей.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографии и двух приложений.

Во введении проведено обоснование актуальности работы, поставлены задачи, сформулирована научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен литературный обзор, в рамках которого выделены недостатки существующих методов решения задач кинетики. Проведен анализ причин, дающих основной вклад в неопределенность оценки реактивности и определены пути решения поставленных задач. В конце первой главы сформулированы требования, предъявляемые к новому подходу, который описан в последующих главах диссертации. Основой предлагаемого подхода выбрана полномасштабная трехмерная многогрупповая нестационарная программа прямого расчета кинетики реактора БН без приближений факторизации.

Во второй главе приведено решение прямой нестационарной задачи переноса нейтронов. Описаны: программа, реализующая выбранный подход; и комплекс обслуживающих взаимосвязанных моделей (базы данных, топливного архива и блока подготовки констант). Обсуждаются погрешности определения реактивности в приближенных методах решения.

В третьей главе представлены результаты решения обратной задачи кинетики. Решение обратной задачи кинетики для случая оценки эффективности стержней СУЗ проводится по комбинированной схеме с учетом пространственных эффектов. При таком подходе одновременно определяются три параметра: реактивность; эффективность используемых датчиков и эффективный внешний источник. Описан программный модуль, не

только реализующий выбранный подход, но и позволяющий получать реактивность однопараметрическим методом. Продемонстрирована хорошая достоверность результатов оценки реактивности с помощью разработанного метода на примерах обчета экспериментальных данных (полученных на РУ БН-600 и БН-800) в сравнении со штатным реактиметром WCR. Погрешность расчета не превышает погрешностей, заявленных в аттестованном комплексе ГЕФЕСТ.

Четвертая глава работы посвящена расчетным исследованиям пространственно-временных задач кинетики быстрого реактора, проведенным с помощью разработанного программного обеспечения.

В частности:

- показана хорошая точность расчета изменения мощности при сбросе одного кластера в сравнении с экспериментом составляющая 3%;
- исследовано изменение групповых долей запаздывающих нейтронов в переходных режимах, определяющих динамику изменения реактивности;
- обсуждается эффект временной зависимости эффективности стержней СУЗ от скорости их перемещения;
- показана зависимость эффективности стержней СУЗ от динамики процессов протекающих в а.з., конкретно от момента ввода стержней относительно разгона реактора (т.е., в конечном итоге, от соотношения групповых долей запаздывающих нейтронов на момент сброса стержней СУЗ);
- поставлена и решена оптимизационная задача о вводе возмущения с критерием минимума деформации поля нейтронов по первой гармонике;
- численно решена оптимизационная задача о расположении датчиков;
- предложен вариант приближенного решения прямой задачи кинетики, наиболее точно описывающий эффективность стержней СУЗ;
- обнаружен эффект внесения отрицательной реактивности при мгновенной перекомпенсации стержней управления. Эффект объясняется нестационарными процессами на запаздывающих нейтронах.

Вся совокупность проведенных исследований демонстрирует эффективность и точность разработанного программного обеспечения.

В заключении к диссертационной работе представлено обобщение результатов выполненной работы.

Научная новизна диссертационной работы Черновой И.С. состоит в следующем:

- обнаружен и исследован эффект связи эффективности стержней СУЗ с динамическими процессами, происходящими в активной зоне реактора, а именно: зависимость эффективности стержней СУЗ, во-первых, от скорости их ввода в активную зону, и, во-вторых, от скорости нарастания мощности в момент ввода стержней; дано его толкование на основе рассмотрения динамики изменения групповых долей запаздывающих нейтронов;
- решена задача оптимизации места ввода возмущения на основе рассмотрения первой гармоники переходного процесса ;

- решена задача об оптимальном аксиальном расположении детектора; показано, что наилучшим местом расположения внутрореакторного детектора является середина канала;
- обоснован выбор приближенной, но более быстродействующей схемы решения нестационарной задачи переноса нейтронов, по точности близкой к решению без приближений.

Практическая значимость диссертационной работы Черновой И.С. состоит в следующем:

- разработанные в рамках диссертационной работы алгоритмы и программы по решению прямой и обратной задачи кинетики вошли в состав программно-технического комплекса ГЕФЕСТ800, предназначенного для сопровождения эксплуатации РУ БН-800;
- программно-технический комплекс ГЕФЕСТ800 успешно аттестован в 2016 году сроком на 10 лет;
- в результате расчетного анализа предложены рекомендации по размещению внутрореакторных датчиков;
- решение прямой нестационарной задачи было использовано для анализа погрешностей расчета другими методами, и дало обоснование предложенной комбинированной схемы расчета.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием верифицированных программных средств, апробацией результатов на различных семинарах, опубликованием результатов в реферируемых журналах и тестированием разработанных подходов на эксплуатационных данных АЭС.

Диссертационная работа была **апробирована** на 10 различных конференциях и семинарах. По теме работы опубликованы 16 научных работ, из них четыре работы напечатаны в журналах входящих в базы данных ВАК.

Разработка алгоритмов, программ и их внедрение в эксплуатацию происходила **при непосредственном участии автора** данной диссертационной работы.

По диссертационной работе И.С.Черновой имеются следующие **замечания**:

- не достаточно обоснованно утверждение об искажении причинно-следственной связи процессов при внесении возмущений;
- нет прямых сопоставительных расчетов по точности факторизованной и нефакторизованной задач;
- поставленные оптимизационные задачи не содержат обзоров литературы по данным направлениям, что затрудняет понимание уровня проделанной работы;
- при решении задачи о размещении датчиков рассматривается только аксиальная составляющая, а радиально-азимутальная не принимается во внимание.

Отмеченные замечания не затрагивают актуальности, научной новизны и практической значимости представленной диссертационной работы. В целом диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для

безопасной эксплуатации ядерных энергетических установок. Представленные в работе выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Настоящий отзыв на диссертационную работу Черновой И.С. подготовлен по результатам изучения материалов самой работы, ее автореферата и анализа технической литературы.

По мнению официального оппонента Болсунова А.А. старшего научного сотрудника АО «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций», диссертационная работа «Создание и использование программ полномасштабной пространственной кинетики для расчетов реакторов на быстрых нейтронах» полностью отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Чернова Ирина Сергеевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 — «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Официальный оппонент,
старший научный сотрудник отдела
математического моделирования АЭС, к.т.н
по специальности 051403 "ядерные энергетические
установки" .

Андрей Александрович
Болсунов

Акционерное Общество "Всероссийский научно-исследовательский институт по
эксплуатации атомных электростанций" (АО «ВНИИАЭС»).

109507, Москва, ул. Ферганская, д. 25.
тел.:8-499-796-92-47, E-mail: AABolsunov@vniiaes.ru

Подпись А.А. Болсунова удостоверяю
Ученый секретарь АО «ВНИИАЭС»
109507, Москва, ул. Ферганская
тел.:8-495-376-15-04, E-mail: AAProsvirnov@vniiaes.ru



Александр Алексеевич
Просвирнов