

## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук, доцента Маркова Павла Владимировича на диссертационную работу Колташева Дмитрия Александровича «Связанные расчеты макроячеек реактора на базе трехмерных нейтронно-физических и теплогидравлических кодов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время идет активное развитие вычислительной техники, которое позволяет существенно расширить возможности математического моделирования, в том числе, в области обоснования безопасности и надежности ядерных реакторов и установок.

Диссертационная работа Колташева Д.А. посвящена вопросам разработки и апробации методики проведения связанных расчетов активных зон ядерных реакторов, позволяющей реализовать взаимовлияние нейтронно-физических и теплогидравлических процессов. Как показывает опыт, при учете подобного взаимовлияния возможно прогнозировать эффекты, которые практически невозможно спрогнозировать при выполнении отдельных независимых расчетов. Программные комплексы, реализующие связанные расчеты, используются в отечественной атомной отрасли. Однако математические модели, на которых они базируются, имеют ряд ограничений: применение диффузионных моделей для описания нейтронной физики или одномерное представление трактов течения теплоносителей. В связи с этим представляет интерес возможность создания методики проведения связанных расчетов, в основе которой лежат прецизионные коды, использующие методы Монте-Карло, и коды CFD-класса.

Таким образом, тематика диссертационного исследования Колташева Д.А. является актуальной.

**Оценка структуры диссертации.** Структура работы включает в себя введение, три главы, заключение и список литературы. Объем работы составляет 125 страниц. Список литературы содержит 60 источников.

Во введении обоснована актуальность работы, показана степень проработанности проблемы, сформулирована цель и основные задачи исследования, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе на основании анализа литературных источников сформулирована научная проблема диссертационного исследования, представлен обзор современного состояния в области проведения связанных расчетов активных зон ядерных реакторов, выполнен анализ критериев устойчивости и сходимости этих расчетов.

Во второй главе представлена методология разработки программной оболочки для проведения связанных расчетов, приведено описание расчетных кодов, библиотек данных.

В третьей главе представлены результаты проведения связанных расчетов с использованием разработанной автором оболочки. Автором выполнены расчеты макроячеек реакторов с однофазным водным, водным кипящим и свинцовым теплоносителями. Продемонстрировано влияние параметров расчетной методики на результаты расчетов, на основании чего даны рекомендации по их выбору. Результаты отдельных расчетов сравниваются с данными других авторов в целях демонстрации адекватности предлагаемой методики. Выполнено исследование взаимовлияния нейтронно-физических и теплогидравлических процессов на примере рассмотренных задач.

В заключении приведены основные научные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе.

**Оценка научной новизны результатов диссертационного исследования.** Представленные в работе результаты обладают научной новизной. Наиболее существенными результатами являются следующие:

1. Создана новая методика проведения связанных расчетов с использованием разработанной автором оболочки, базирующаяся на



применении метода Монте-Карло и трехмерного описания теплогидравлических процессов уравнениями сохранения для сплошной среды.

2. На основе созданной методики получены данные о нейтронно-физических и теплогидравлических характеристиках регулярных и нерегулярных макроячеек твэлов, охлаждаемых водным и свинцовым теплоносителями.

#### **Практическая значимость.**

Практическая значимость работы определяется возможностью использования разработанной автором методики для обоснования безопасности и надежности ядерных реакторов нового поколения с водными и жидкометаллическими теплоносителями.

#### **Степень обоснованности и достоверность основных научных результатов, выводов и рекомендаций.**

Достоверность и обоснованность результатов обеспечивается их сравнением с данными, представленными в литературных источниках, проведением методических расчетов и анализом их результатов, использованием апробированных и аттестованных программных комплексов.

**Апробация работы.** Автором по рассматриваемой тематике опубликовано 15 научных работ, из них 4 статьи в рецензируемых изданиях. Материалы диссертации достаточно полно отражены в научных публикациях. Результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на конференциях всероссийского и международного уровня.

Автореферат достаточно полно и точно отражает содержание и основные результаты диссертации.

Представленная диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации (технические науки).

Колташев Д.А. продемонстрировал высокий уровень владения методами научных исследований.

**Замечания и недостатки работы.** В работе имеется ряд недостатков:

1. В работе в недостаточной степени описаны математические модели и замыкающие соотношения, используемые в программных комплексах, реализованных в рамках разработанной методики.

2. В работе выполнен детальный анализ влияния выбора параметров расчетной методики применительно к проведению нейтронно-физических расчетов, однако отсутствует подобный анализ применительно к трехмерным теплогидравлическим расчетам.

3. Вывод о выборе коэффициента релаксации (Таблица 7, стр. 65) делается на основе данных, отличающихся на величину среднеквадратичного отклонения  $1,6 \cdot 10^{-5}$ . При этом не приводится анализ погрешности полученных результатов, которая, вероятно, может быть больше этого отклонения.

4. В работе на основе данных расчета макроячейки даны рекомендации по выбору статистики нейтронов NPS, однако не ясно, пригодна ли это рекомендация для расчета полномасштабной ТВС.

5. Непонятно, чем вызвана немонотонность распределений средней скорости теплоносителя (рисунок 47, стр. 94) на участках монотонного уменьшения плотности теплоносителя (за счет нагрева) и проходного сечения (согласно постановке задачи).

6. На стр. 96 говорится о том, что в большом распухании центрального ТВЭЛ скорость в центральной ячейке увеличивается на 20 %. Однако известно, что при установке в пучок стержня большего диаметра (например НК в ТВС ВВЭР-1000) гидравлический диаметр прилегающих к этому стержню ячеек уменьшается и это вызывает уменьшение в них скорости потока теплоносителя.

Указанные недостатки не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Колташева Д.А.



## Заключение

Диссертационная работа Колташева Д.А. на тему «Связанные расчеты макроячеек реактора на базе трехмерных нейтронно-физических и теплогидравлических кодов» является самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой поставлена и решена теоретическая и прикладная научная задача проведения связанных нейтронно-физических и теплогидравлических расчетов активных зон ядерных реакторов.

Диссертационная работа «Связанные расчеты макроячеек реактора на базе трехмерных нейтронно-физических и теплогидравлических кодов» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п. 9 действующего Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Колташев Дмитрий Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

Официальный оппонент:

доцент кафедры Э7 «Ядерные реакторы и установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, кандидат технических наук (05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации)

Павел Владимирович Марков

4 июня 2021



Марков Павел Владимирович

Тел. 8-926-173-19-01

Адрес электронной почты: [markov.pv@bmstu.ru](mailto:markov.pv@bmstu.ru)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1,

тел.: (499) 263-6391, [bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru), <http://www.bmstu.ru/>