

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 002.070.01 на базе Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного
развития атомной энергетики Российской академии наук

ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 1 июля 2021 года № 6

О присуждении Колташеву Дмитрию Александровичу, гражданство –
Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Связанные расчеты макроячеек реактора на базе
трехмерных нейтронно-физических и теплогидравлических кодов» по
специальности 05.14.03 - «Ядерные энергетические установки, включая
проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» принята к защите 28
апреля 2021 года, протокол № 4 диссертационным советом Д 002.070.01 на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук,
расположенного по адресу: 115191, Москва, ул. Большая Тульская, д. 52.
Диссертационный совет создан приказами Минобрнауки России 15 февраля
2013 г. № 75/нк, от 3 июня 2016 г. № 626/нк, от 12 июля 2017 г. № 748/нк, от 26
января 2018 г. № 92/нк.

Соискатель Колташев Дмитрий Александрович 1988 года рождения. В
2011 году соискатель окончил Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет), в 2014 году закончил
аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской
академии наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки,
включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации», где ему

выдана справка о сдаче кандидатских экзаменов, работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории физики реактора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории нейтронно-физических расчетов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Стрижов Валерий Федорович, заместитель директора по разработке интегрированных программных комплексов анализа безопасности АЭС и ЯТЦ Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

Мелихов Олег Игорьевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры атомных электрических станций Национального исследовательского университета «МЭИ»;

Марков Павел Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Ядерные реакторы и установки» МГТУ им. Н.Э. Баумана дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Акционерное общество «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (г. Димитровград) в своем положительном отзыве, подписанном заместителем председателя НТС РИК, заместителем начальника отделения РИК по научной работе – начальником физико-технического департамента, к.т.н. А.В.Бурукиным, секретарем НТС РИК И.В.Киселевой, начальником управления перспективных разработок отделения РИК, д.т.н. И.Ю.Жемковым, указала, что диссертация Колташева Д.А. по своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а

ее автор достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 15 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 5 работ, в том числе 4 из перечня ВАК по специальности 05.14.03. Из 15 опубликованных работ по теме диссертации – 3 в научном журнале «Атомная энергия» (тираж 290 экз.), 1 – в научном журнале «Известия Российской академии наук. Энергетика» (тираж – 100 экз.), 1 – в научном журнале «Энергетические установки и технологии» (тираж – 75 экз.), 1 – препринт ИБРАЭ РАН (тираж 60 экз.), 9 – в сборниках докладов российских и международных научных конференций (тираж – 100 экз.).

В опубликованных работах лично автором и при его непосредственном участии приведены результаты:

- анализа результатов нейтронно-физических расчетов с применением кодов на базе методов Монте-Карло для макроячеек реакторов с водяным теплоносителем в зависимости от параметров расчета (статистические параметры, параметры источников, зон регистрации и др.);
- построения согласованных расчетных моделей для выполнения связанных стационарных расчетов макроячеек реактора с водяным и жидкометаллическим теплоносителем с использованием кодов семейства MCU (MCU-FREE и MCU-FR) и CFD кода OpenFOAM или теплогидравлических канальных кодов семейства HYDRA-IBRAE (HYDRA-IBRAE/H₂O и HYDRA-IBRAE/LM);
- разработки программной оболочки, содержащей инструментальные средства для формирования согласованной расчетной модели, включая построение сеточных моделей на базе единых данных о геометрии моделируемого объекта, и обеспечения обмена данными для выполнения связанных расчетов;
- связанных стационарных расчетов макроячеек реакторов с водяным теплоносителем с использованием нейтронно-физических кодов семейства MCU и валидированного канального одномерного теплогидравлического кода HYDRA-IBRAE/H₂O или CFD кода OpenFOAM, анализа и сравнения полученных результатов, отработки методических вопросов и верификации программной оболочки;

Наиболее значительные работы:

- 1) Кизуб П.А., Колташев Д.А., Митенкова Е.Ф. Анализ нейтронно-физических характеристик в ячеечных расчетах реактора ВВЭР с использованием кодов MCNP5 и MCU-FREE: Препринт № IBRAE-2013-04. 23 с.
- 2) Митенкова Е.Ф., Колташев Д.А., Кизуб П.А. Распределение скорости реакции деления в слабосвязанной системе для тестовой модели «шахматная доска». – Атомная энергия, том 116, выпуск 6, Москва, 2014, с. 345 – 349.
- 3) Колташев Д.А., Митенкова Е.Ф. Особенности связанных расчетов на базе кодов MCU и HYDRA-IBRAE для систем с сильной пространственной и плотностной гетерогенностью. – Известия РАН. Энергетика, вып. 1, Москва, январь-февраль 2017, с. 149 – 163.
- 4) Колташев Д.А., Митенкова Е.Ф. Обеспечение надежности связанных расчетов тепловых реакторных систем с использованием кодов MCU и HYDRA-IBRAE. – Энергетические установки и технологии, том 4, номер 1, Севастополь, 2018, с. 30 – 35.
- 5) Колташев Д.А., Митенкова Е.Ф. Разработка согласованной модели в прецизионных расчетах «нейтроника–теплогидравлика» с использованием CFD кодов. – Атомная энергия, том 125, вып. 2, Москва, 2018, с. 125 – 127.
- 6) Колташев Д.А. Моделирование активной зоны реактора со свинцовым теплоносителем при попадании водяного пара с помощью кода ЕВКЛИД/V1. – Атомная энергия, том 128, вып. 2, Москва, 2020, с. 114 – 116.

На автореферат диссертации поступили отзывы из 9 организаций.

1. ФБУ «НТЦ ЯРБ».

Отзыв подписал начальник лаборатории оценки погрешностей и неопределённостей к.т.н. Д.А.Яшников

Отзыв положительный. Замечания:

1. Согласно автореферату, сложность и высокая стоимость проведения экспериментов для обоснования проектных решений для реакторов со свинцовым теплоносителем обуславливает необходимость принятия указанных решений на основе результатов расчетов с использованием прецизионных программ для ЭВМ, к числу которых диссертант относит программу для ЭВМ CFD класса OpenFoam. Следует отметить, что вопрос о замене экспериментальных исследований результатами расчетов, выполненных с помощью прецизионной программы для ЭВМ, можно ставить только тогда, когда область применения программы для ЭВМ подтверждена результатами ее валидации и при этом исключена возможность необоснованной экстраполяции результатов валидации на более широкую область. Однако в работе отсутствуют результаты обоснования применения программы для ЭВМ OpenFoam для построения расчетных моделей процессов, влияющих на безопасность АЭС с

реакторными установками со свинцовым теплоносителем, выполненного путем валидации с использованием экспериментальных данных. Кроме того, в математической модели программы для ЭВМ реализованы различные модели турбулентности, в зависимости от выбора которых при проведении расчетов с ее помощью значения отклонений результатов указанных расчетов друг от друга могут достигать десятков и даже сотен процентов. Таким образом, утверждения диссертанта о прецизионности расчетов с помощью программы для ЭВМ OpenFoam и о возможности использования их результатов в качестве альтернативы экспериментальным исследованиям применительно к реакторам со свинцовым теплоносителем использовании нельзя признать обоснованными.

2. В автореферате не указано, каким образом результаты связанных расчетов с использованием нейтронно-физических программ для ЭВМ семейства MCU и программ для ЭВМ CFD класса, программную оболочку для автоматизации процесса проведения которых создал диссертант, предполагается использовать в расчетном обосновании безопасности АЭС с реакторными установками с водяным и жидкометаллическим теплоносителями.

2. НИЦ «Курчатовский институт».

Отзыв подписали начальник лаборатории программного обеспечения к.т.н. А.С.Бикеев и начальник отдела реперных расчётов ядерных реакторов к.ф.-м.н. Д.А. Шкаровский.

Отзыв положительный. Замечания:

1. В тексте автореферата не объяснён выбор метода релаксации, не затронут вопрос доказательства сходимости данного метода применительно к решению системы уравнений, описывающих стационарное состояние рассмотренных систем, а также не проанализирована целесообразность использования альтернативных итерационных схем, например, схемы Я. Дюфека и В. Гудовски.
2. При анализе устойчивости метода релаксации в автореферате приведены зависимости от номера итерации интегральной характеристики - коэффициента размножения нейтронов, в то время как большей чувствительностью к локальному изменению теплогидравлических параметров (температуры и плотности теплоносителя, температуры топлива) обладают дифференциальные характеристики, такие как плотность потока нейтронов, энерговыделение и т.п. В качестве пожеланий к дальнейшей работе можно порекомендовать провести исследования влияния параметров релаксации и критериев сходимости на распределения энерговыделения в рассматриваемых системах.
3. На рисунке 9 наблюдается заметное ~ 50 °С отклонение в результатах расчётов температуры топлива в центральной части твэла, полученных с использованием программных комплексов MCU-FREE/HYDRA-

IBRAE/H2O и MCNP5/SUBCHANFLOW. В тексте автореферата не приведено объяснение данного отклонения.

3. Институт ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ.

Отзыв подписал доцент офиса образовательных программ к.ф.-м.н. В.Г.Зимин.

Отзыв положительный. Замечания:

в проектных расчетах часто используются диффузионные нейтронно-физические коды, поэтому выбор программы MCU, основанной на методе Монте-Карло, в качестве единственной не выглядит полным.

4. НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ.

Отзыв подписал главный научный сотрудник д.т.н. А.С.Герасимов.

Отзыв положительный. Замечания:

1. В автореферате не приводятся характерные затраты времени на типичный расчет по методике связанного нейтронно-физического и теплогидравлического расчета. Это представляет интерес, поскольку применяются весьма ресурсоемкие программы. Возможно, эти данные приведены в полном тексте диссертации.

5. АО «ОКБМ Африкантов».

Отзыв подписали главный специалист отдела физических и теплогидравлических расчетов стационарных реакторных установок к.т.н. С.Л.Осипов и ведущий инженер-конструктор бюро расчетов защиты и радиационной безопасности к.т.н. С.Г.Усынина.

Отзыв положительный. Замечания:

1. Тестирование и верификация являются неотъемлемой частью процесса разработки любого нового программного обеспечения и не содержат какой-либо научной новизны.

2. В качестве практической значимости заявлено использование разработанной программной оболочки для проведения расчетов в том числе «... или по другим кодам схожей области применения». Данная фраза заявляет о некоей универсальности разработанного программного обеспечения, степень которой, по крайней мере из автореферата, не вполне понятна.

3. Программная оболочка верифицирована, в частности, на кодах семейства HYDRA-IBRAE, и эти же коды используются в самой программной оболочке. Не совсем понятен смысл такой верификации.

4. Не понятен выигрыш в трудозатратах и времени с применением программной оболочки и без нее.

6. АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС».

Отзыв подписал заместитель начальника отдела, начальник группы к.ф.-м.н. М.А.Увакин.

Отзыв положительный. Замечания:

1. При описании практической значимости работы автор пользуется формулировками типа «... может использоваться», которые следовало бы заменить на «внедрено» и «используется», как это предусмотрено Положением о порядке присуждения ученых степеней. Тем более что, судя по контексту автореферата, это именно так и есть.
2. По рисунку 1 автореферата и соответствующему фрагменту текста не указано, какой именно критерий сходимости итераций использовался и почему. Возможно, в тексте диссертации этот вопрос раскрыт подробнее.
3. Некоторые результаты работы, такие, как констатация возможности применения разработанной технологии для обоснования консервативности результатов, получаемых по инженерным методикам, должны подкрепляться расчетами динамических процессов. Понятно, что автор не ставил задач анализа динамики, но оценка применимости полученных результатов для нестационарных связанных расчетов, безусловно, повысила бы значимость работы и расширила область применения разработанной методики.

7. Томский политехнический университет.

Отзыв подписали заведующий кафедрой – руководитель Отделения ядерно-топливного цикла на правах кафедры Инженерная школа ядерных технологий д.т.н. А.Г.Горюнов, доцент Отделения ядерно-топливного цикла Инженерная школа ядерных технологий к.т.н. М.С.Кузнецов.

Отзыв положительный. Замечания:

1. В работе для расчета нейтронно-физических параметров реакторов использовались только программные пакеты семейства MCU. Возможно ли использование других программ нейтронно-физического расчета (к примеру, MCNP) для оценки безопасности ядерных энергетических установок с использованием предложенного автором алгоритма?
2. В тексте автореферата отсутствуют данные о погрешностях расчета параметров при использовании программного пакета BWR 3*3 Pin Clustel, использующего ячейки квадратного сечения для расчета шестигранной ячейки реактора ВВЭР.

8. АО «Прорыв».

Отзыв подписал главный эксперт по кодам к.ф.-м.н. И.Р.Суслов.

Отзыв положительный. Замечания:

1. Ряд вопросов в автореферате освещен недостаточно подробно, фактически в виде декларации. Например, при описании первой главы диссертации указывается, что «обсуждаются особенности формирования вычислительных сеток в нейтронно-физических и теплогидравлических кодах и особенности этих кодов, влияющие на выбор параметров расчетных сеток». Какие именно особенности обсуждены в первой главе, как именно и

на основе чего они учитываются далее (видимо, в главе 2, как можно догадаться при чтении дальнейшего изложения в автореферате) в работе? Пара дополнительных абзацев помогла бы легче понять логику работы.

2. Недостаточно подробно описано согласование расчетных нейтроннофизических и теплогидравлических моделей. В частности, дистанционирование твэлов учитывалось одинаково? Вообще вопрос согласования расчетных нейтронно-физических и теплогидравлических моделей важный и его стоило бы, на мой взгляд, осветить подробнее.
 3. Автором приведены рисунки для тестовых задач для макроячеек PWR и BWR, к сожалению, отсутствует геометрическое описание макроячеек (как можно предположить из названия работы) для РУ со свинцовым теплоносителем, хотя возможно и желательно оформить эти задачи в виде внутренних, а возможно и международных бенчмарков.
9. АО «НИКИЭТ».

Отзыв подписал ведущий научный сотрудник к.ф.-м.н. А.В.Баловнев.

Отзыв положительный. Замечания:

1. На страницах 18-19 автореферата приведены результаты расчета модельных ячеек реактора со свинцовым теплоносителем, при этом не указано как соотносится заданное в модели распухание твэлов с реальными экспериментами. Из автореферата не совсем ясен шаг и общий порядок внесенных изменений в параметры распухания, в результате сложно сделать оценку влияния изменений в модели на результат.
2. В основных результатах диссертации, в автореферате, сказано про верификацию применяемой методики на базе ячейечных расчетов с водяным теплоносителем, при этом в автореферате отсутствуют данные о верификации методики на базе расчетов систем с жидкометаллическим теплоносителем, что затрудняет анализ результатов работы связанных с расчетами таких систем.

По всем замечаниям соискателем были даны детальные разъяснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что д.ф.-м.н. О.И.Мелихов и к.т.н. П.В.Марков являются известными учеными и признанными специалистами в области атомной науки и техники, Акционерное общество «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов» является одним из ведущих научно-исследовательских институтов в атомной отрасли, где проводятся исследования в области расчетного и экспериментального обоснования работоспособности материалов и элементов активных зон действующих и

перспективных ядерных реакторов. Кроме этого, выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается списком публикаций оппонентов и сотрудников АО «ГНЦ НИИАР» подготовивших заключение по диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Разработана программная оболочка Coupled Calculation Shell (CCS, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021610112 от 12 января 2021 г.), содержащая инструментальные средства для построения согласованных расчетных моделей и проведения связанных стационарных расчетов по нейтронно-физическим кодам семейства MCU (MCU-FREE и MCU-FR) и CFD коду OpenFOAM и канальным теплогидравлическим кодам семейства HYDRA-IBRAE (HYDRA-IBRAE/H₂O и HYDRA-IBRAE/LM).
- Выполнена верификация разработанной программной оболочки на базе ячеечных расчетов макроячеек реактора с водяным теплоносителем с применением нейтронно-физического кода MCU-FREE и теплогидравлических кодов HYDRA-IBRAE/H₂O и OpenFOAM. Подтверждено удовлетворительное согласие интегральных характеристик, полученных с применением одномерного кода HYDRA-IBRAE/H₂O и CFD-моделирования на базе пакета OpenFOAM, с международными данными, представленными в открытых источниках.
- Получены результаты расчетов макроячейки реактора со свинцовым теплоносителем с возмущением параметров, вызванных распуханием оболочки и топлива тепловыделяющих элементов. Показано влияние параметров распухания на рассчитываемые теплогидравлические характеристики. Нейтронно-физические характеристики при этом изменяются незначительно.
- С использованием кода ЕВКЛИД/V1 проведен расчет стационарного состояния на номинальном уровне мощности для модели реакторной установки со свинцовым теплоносителем. В связанном расчете с применением кодов MCU-FR и OpenFOAM получены уточненные значения максимальной температуры топлива, которые попали в диапазон неопределенностей результатов расчетов по коду ЕВКЛИД/V1.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в основу разработанной технологии связанных расчетов положены широко распространенные в мировой практике подходы к проведению

мультифизического моделирования вместе с использованием расчетных кодов, зарекомендовавших себя в России и за рубежом в области расчетного обоснования ядерной безопасности.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- Разработанная программная оболочка Coupled Calculation Shell (CCS, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021610112 от 12 января 2021 г.) используется для проведения в автоматизированном режиме связанных стационарных расчетов макроячеек реакторов с водяным или жидкометаллическим теплоносителем по нейтронно-физическим кодам семейства MCU и теплогидравлическим канальным кодам семейства HYDRA-IBRAE или CFD коду OpenFOAM или по другим кодам схожей области применимости;
- Верифицированная на базе макроячеек реакторов с водяным теплоносителем программная оболочка для кодов MCU-FREE, MCU-FR, HYDRA-IBRAE/H₂O, HYDRA-IBRAE/LM, OpenFOAM используется для проведения уточняющих связанных расчетов локальных характеристик реакторных установок с водяным или жидкометаллическим теплоносителем, а также для кросс-верификации инженерных расчетных кодов и методик;
- Результаты стационарных расчетов макроячеек реакторов с водяным и свинцовым теплоносителем, полученные с применением нейтронно-физических кодов семейства MCU (MCU-FREE и MCU-FR) и канальных теплогидравлических кодов семейства HYDRA-IBRAE (HYDRA-IBRAE/H₂O или HYDRA-IBRAE/LM) или CFD кода OpenFOAM, могут быть использованы для сравнения с результатами, получаемыми с помощью других программ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты и выводы, полученные в рамках диссертационного исследования, подтверждаются сравнением результатов расчетов с реперными значениями, представленными в открытых источниках, результатами методических расчетов, а также результатами многовариантных расчетов, выполненных с применением валидированных или аттестованных расчетных кодов (HYDRA-IBRAE/H₂O, HYDRA-IBRAE/LM, ЕВКЛИД/V1).

Личный вклад соискателя состоит в:

- реализации программной оболочки Coupled Calculation Shell (CCS), содержащей инструментальные средства для построения согласованных

расчетных моделей и проведения связанных стационарных расчетов по нейтронно-физическим кодам семейства MCU (MCU-FREE и MCU-FR), CFD коду OpenFOAM и теплогидравлическим канальным кодам семейства HYDRA-IBRAE (HYDRA-IBRAE/H2O и HYDRA-IBRAE/LM).

- подготовке расчетных моделей макроячеек реакторов с водяным и жидкометаллическим теплоносителем для расчетов по нейтронно-физическим кодам MCU-FREE и MCU-FR, а также по теплогидравлическим кодам HYDRA-IBRAE/H2O, HYDRA-IBRAE/LM и OpenFOAM.
- проведении многовариантных расчетов макроячеек реакторов с водяным и свинцовым теплоносителем с применением нейтронно-физических кодов семейства MCU – MCU-FREE и MCU-FR и теплогидравлического кода HYDRA-IBRAE/H2O и CFD кода OpenFOAM, анализе и обосновании достоверности полученных результатов.
- проведении связанных расчетов наиболее энергонапряженной ТВС реакторной установки со свинцовым теплоносителем с использованием кодов MCU-FR и OpenFOAM, а также в разработке нейтронно-физической модели активной зоны реакторной установки со свинцовым теплоносителем и проведении интегральных расчетов по коду ЕВКЛИД/V1.

На заседании 1 июля 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Колташеву Д.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.14.03, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета
академик РАН



Саркисов А.А.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н.

Калантаров В.Е.

5 июля 2021 года.