

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.496.01,
СОЗДАННОГО 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 27 ноября 2025 года № 9

О присуждении Половникову Павлу Васильевичу, гражданство – Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование микроструктурных изменений в ядерном топливе при облучении» по специальности 2.4.9. – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность» принята к защите 17 сентября 2025 года (протокол заседания № 5) диссертационным советом 24.1.496.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (далее – ИБРАЭ РАН), расположенного по адресу: 115191, Москва, ул. Большая Тульская, д. 52, приказом Минобрнауки России от 22 июня 2023 г. № 1316/нк, деятельность которого была возобновлена приказом № 686/нк от 07 июля 2025 г.

Соискатель Половников Павел Васильевич, 30.03.1991 года рождения, в 2014 году окончил Московский физико-технический институт (Государственный университет) по направлению «Прикладные математика и физика». В 2018 году окончил аспирантуру ИБРАЭ РАН, успешно сдав кандидатские экзамены по специальности 03.06.01 «Физика и астрономия». В связи с изменением номенклатуры научных специальностей в 2024 году успешно пересдал экзамен кандидатского минимума по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

В период подготовки диссертации соискатель Половников Павел Васильевич работал в Отделении разработки программного обеспечения для

анализа безопасности АЭС ИБРАЭ РАН. В настоящее время занимает должность младшего научного сотрудника ИБРАЭ РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории моделирования поведения тепловыделяющих элементов Отделения разработки программного обеспечения для анализа безопасности АЭС ИБРАЭ РАН.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук Тарасов Владимир Иванович, старший научный сотрудник лаборатории моделирования поведения тепловыделяющих элементов Отделения разработки программного обеспечения для анализа безопасности АЭС ИБРАЭ РАН.

Официальные оппоненты:

Лиханский Владимир Валентинович, доктор физико-математических наук, профессор, руководитель отдела моделирования технологий ядерного топлива Курчатовского комплекса перспективной атомной энергетики НИЦ «Курчатовский институт», Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт"»;

Янилкин Алексей Витальевич, кандидат физико-математических наук, начальник отдела компьютерного материаловедения ФГУП «ВНИИА», Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова» (ФГУП «ВНИИА»)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Акционерное общество «Институт реакторных материалов» (АО «ИРМ» г. Заречный, Свердловская обл.) в своем положительном отзыве, подписанном ведущим научным сотрудником лаборатории конструкционных материалов и нанотехнологий АО «ИРМ», к. т. н. Е. А. Киневым, и утвержденном заместителем директора по научной и инновационной деятельности, к. т. н. А. В. Варивцевым, указала, что диссертация Половникова Павла Васильевича «Моделирование микроструктурных изменений в ядерном топливе при облучении» является законченной научно-квалификационной работой, имеющей высокий научный уровень, в которой для

выполнения поставленной цели решены актуальные научно-практические задачи, необходимые для уточнения расчетных обоснований безопасности реакторов на тепловых и быстрых нейтронах. Диссертационное исследование автора является самостоятельной работой, содержащей новые научные результаты, имеющие существенное практическое значение для моделирования поведения топлива (в части микропараметров твэльных кодов ИБРАЭ РАН). Предложенные автором диссертации решения аргументированы и обоснованы. Основные научные результаты диссертации опубликованы в четырех рецензируемых научных изданиях, доложены на российских и международных конференциях и семинарах. Основные результаты исследования достаточно полно и корректно отражены в автореферате. Отзыв ведущей организации констатирует, что диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.4.9, а автор диссертации – Половников Павел Васильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9.

Соискатель имеет четыре опубликованные работы по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях из перечня, утвержденного ВАК Минобрнауки России, или входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science. Основные результаты работы докладывались автором и обсуждались на российских и международных научных конференциях. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, вклад автора в публикации в разделах, касающихся полученных в диссертации результатов, определяется как решающий.

Основные работы по теме диссертации :

1. Tarasov V. I., Polovnikov P. V. MFPR model parameters of the athermal irradiation-induced transport in nuclear fuels // Defect and Diffusion Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 2017. – Т. 375. – С. 71–83.
2. Polovnikov P. V., Azarov I. B., Veshchunov M. S. Advancement of the kinetic approach to Brownian coagulation on the base of the Langevin theory // Journal of Aerosol Science. – 2016. – Т. 96. – С. 14–23.

3. Tarasov V. I. Polovnikov P. V. et al. Development of the MFPR/R code for characterization of the rim zone and high burnup structure evolution in UO₂ fuel pellets // Journal of Nuclear Materials. – 2019. – Т. 517. – С. 214–224.

4. Polovnikov P. V., Tarasov V. I., Veshchunov M. S. Modelling of breakaway swelling in intermetallic fuels during low-temperature irradiation // Journal of Nuclear Materials. – 2022. – Т. 558. – С. 153362

На автореферат поступили положительные отзывы специалистов из 5 организаций: Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси (ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны»), АО «Сибирский химический комбинат» (АО «СХК»), ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), АО «Ангарский электролизный химический комбинат» (АО «АЭХК»), Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский технологический институт имени А. П. Александрова» (ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова»).

В отзывах отмечены актуальность, практическая значимость, научная новизна, достоверность и апробация представленных результатов. В отзывах на автореферат содержатся замечания редакционного, рекомендательного и критического характера. Среди критических замечаний следующие:

1. Сорокин Владимир Владимирович, заведующий лабораторией «Нейтронной физики» ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны», доктор технических наук: Значения баллистических множителей не включены в раздел «Основные результаты диссертации».

2. Луцик Игорь Олегович, главный специалист (по техническому развитию) ОИТПЭ энергоблока «БРЕСТ ОД 300» ОДЭК АО «СХК»: В качестве топлива в указанных реакторных установках используется смешанное нитридное уран-плутониевое топливо (СНУП) высокой плотности, однако в рамках данной работы исследования проводились только для мононитрида урана и достаточно хорошо изученной композиции на основе диоксида урана; В

тексте автореферата не указаны такие характеристики, как плотность, обогащение, размер зерна, геометрические характеристики топливных таблеток или облучаемых образцов и т. д. Также не представлено обоснование выбора характеристик топлива и их значений для проведения исследования;

3. Бородин Владимир Алексеевич, начальник Отдела радиационных исследований материалов ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт», доктор физико-математических наук: На рисунке 1 вызывает сомнение указанная размерность среднеквадратичного смещения атомов. Если верить рисунку, то даже при максимальной указанной энергии ПВА среднеквадратичное смещение не превышает 1 Ангстрем, т. е. меньше межатомного расстояния. Вряд ли столь малые смещения можно интерпретировать в терминах атермической диффузии.

4. Новик Никита Николаевич, старший научный сотрудник лаборатории физико-химических и материаловедческих исследований отделения химико-технологических исследований ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова: Экспериментальные оценки баллистического множителя для UO_2 имеют порядок 10^{-39} м^5 , в то же время рассчитанные баллистические множители для атермической диффузии атомов U в UO_2 имеют порядок величины 10^{-43} м^5 . С чем может быть связано подобное расхождение?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что Лиханский Владимир Валентинович и Янилкин Алексей Витальевич являются известными учеными и признанными специалистами в области описания и моделирования процессов, происходящих в ядерном топливе при облучении. АО «ИРМ» является одной из ведущих организаций материаловедческого профиля, активно ведущей экспериментальные работы с топливными материалами. Кроме этого, выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается списком публикаций оппонентов и сотрудников АО «ИРМ» в ведущих научных рецензируемых изданиях.

В ходе заседания диссертационного совета соискатель дал исчерпывающие ответы и пояснения по вопросам и замечаниям.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: получены количественные параметры, определяющие радиационно-стимулированные процессы: значения баллистических множителей для коэффициентов аtermальной диффузии атомов U и N в нитридном топливе и параметры прямого выхода продуктов деления из приповерхностной области различных видов топлива; предложены новые аналитические выражения и модели для описания процессов в облученном топливе: интерполяционные выражения для ядер парных столкновений броуновских частиц на основе теории Ланжевена; уточнено выражение, описывающее поведение пористости в периферийной области (рим-зоне) облученного оксидного топлива, верифицировано использование аналитического выражения, полученного в приближении среднего поля; разработана математическая модель аномального («взрывного») роста пористости в интерметаллидном топливе, облучаемом в исследовательских реакторах.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что моделированием, расчетом параметров, разработкой моделей расширены представления о поведении микроструктуры ядерного топлива при облучении.

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

- рассчитанные значения параметров аtermальной диффузии в нитридном топливе и параметры, описывающие мгновенный выход продуктов деления, включены в топливный код MFPR, активно использующийся для обоснования безопасности новых реакторных установок;
- разработанные модели и полученные аналитические зависимости позволяют более точно и адекватно описать поведение пористости в периферийной области оксидного топлива топливным модулем MFPR;
- разработанные модели взрывного распухания позволяют избегать разрывов топливных образцов некоторых видов интерметаллидного топлива при облучении в исследовательских реакторах.

Оценка достоверности результатов исследования обоснована:

- применением научно обоснованных расчётных методик и физических моделей поведения ядерного топлива;
- удовлетворительным согласием результатов диссертации с результатами послереакторных исследований облученного топлива;
- сравнением полученных аналитических зависимостей с результатами численного моделирования аналогичных систем.

Личный вклад соискателя состоит в том, что соискатель участвовал в постановке задач исследования, лично выполнил: анализ литературы и обобщение результатов исследований других авторов; провел молекулярно-динамические расчеты с помощью пакета прикладных программ LAMMPS и Монте-Карло расчетов с помощью пакета SRIM; вывел аналитические зависимости, связывающие концентрацию пор с пористостью в рим-зоне облученного топлива и в интерметаллидных видах топлива; разработал численные схемы для моделирования эволюции пористости в материале топлива и интерпретации результатов расчетов; осуществил имплементацию разработанных моделей, полученных зависимостей и рассчитанных параметров в топливный код MFPR; подготовил основу публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации основной интерес вызвали вопросы, связанные с особенностями протекания физико-химических процессов в материалах, корректностью математического аппарата представленных моделей, а также с областью применимости разработанных методик. Соискатель Половников Павел Васильевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию: объяснил различия эволюции пористости в периферийной области оксидного топлива и в интерметаллидных видах топлива; уточнил, что математические модели представлены в общем виде, а при численной реализации вводились разумные ограничения на размеры пузырей; отметил потенциальную применимость методик к различным видам топлива при условии дополнительной проверки.

Диссертационный совет пришёл к выводу, что диссертация Половникова Павла Васильевича «Моделирование микроструктурных изменений в ядерном топливе при облучении», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность» (2.4.9.), представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции).

На заседании 27 ноября 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Половникову Павлу Васильевичу учёную степень кандидата технических наук по специальности «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность» (2.4.9.) за решение научной задачи исследования эволюции микроструктуры ядерного топлива при облучении, а также за усовершенствование топливного кода MFPR, что имеет существенное значение для развития ядерной энергетики.

При проведении тайного электронного голосования в заседании диссертационного совета участвовали 15 человек (все – доктора наук по профилю рассматриваемой диссертации) из 16 членов совета. Результаты голосования: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета
академик РАН



Большов Леонид Александрович

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук

Линге Игорь Иннокентьевич

27 ноября 2025 года