

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Беляевой Анны Викторовны** на тему:

**«ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ НА
МИКРОСТРУКТУРУ И РАСПУХАНИЕ УРАН-ПЛУТОНИЕВОГО
НИТРИДНОГО ТОПЛИВА»,**

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

Диссертация Беляевой А.В. посвящена исследованию изменения свойств смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) топлива при облучении в реакторах на быстрых нейтронах. В диссертации представлены результаты исследований СНУП топлива после облучения его в реакторе БОР-60 в составе твэлов двух исполнений, различающихся наполнением зазора между топливом и оболочкой (жидкометаллический или газовый подслоя). Выгорание исследуемого топлива составило:

- 5,5 %т.а. при максимальной температуре 870 °С в составе твэлов с жидкометаллическим (свинцовым) подслоем и оболочками из ферритно-мартенситной стали ЭП-823;
- 12,1 %т.а. при максимальной температуре 1760 °С в составе твэлов с газовым (гелиевым) подслоем и оболочками из аустенитной стали ЧС-68 .

В настоящее время СНУП топливо рассматривается в качестве перспективного для применения его в реакторах на быстрых нейтронах. Нитридное топливо имеет большую, по сравнению с освоенным оксидным топливом, теплопроводность и плотность, и его применение теоретически позволяет рассчитывать на улучшение нейтронно-физических характеристик активных зон реакторов БН. На практике для эффективного применения СНУП топлива в реакторах БН его работоспособность в составе твэл должна быть обоснована до выгорания, позволяющего конкурировать с оксидным топливом. Для проведения такого обоснования необходима информация о влиянии

реакторного облучения на изменение свойств топлива, в особенности – на набухание нитридного топлива. Поэтому получение новых данных и уточнение параметров набухания нитридного топлива является **актуальной** задачей, решение которой вносит существенный вклад в развитие реакторных технологий.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что была получена важная информация по процессам изменения структуры СНУП топлива, его набухания и поведение продуктов деления при облучении до выгорания 5,5 %т.а. в составе ТВЭЛов со свинцовым подслоем и 12,1 %т.а. в составе ТВЭЛов с гелиевым подслоем.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты являются частью поэтапного обоснования ТВЭЛов со СНУП топливом применительно к использованию их в реакторах БРЕСТ-ОД-300 и БН-1200. Также результаты исследований использовались при разработке расчётного кода БЕРКУТ, и при модернизации и верификации кода ДРАКОН.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, а также достоверность полученных автором результатов подтверждается воспроизводимостью экспериментальных данных, верификацией и метрологической аттестацией методик исследования.

Результаты работы докладывались на российских и международных научных семинарах, конференциях.

Основные замечания к автореферату диссертационной работы:

Автореферат в целом даёт достаточно полное представление о содержании работы и её соответствии требованиям к диссертациям.

Основные замечания к автореферату сводятся к следующему:

1 Относительно применимости полученных результатов к обоснованию использования СНУП топлива в проектах реакторов в автореферате отсутствует информация о представительности образцов испытываемого топлива. Как нам известно, приведённые в автореферат данные по испытаниям смешанного нитридного топлива до максимального выгорания 12,1 % т.а. относятся к




образцам из высокочистого нитрида, изготовленного из исходных металлов, а не по технологии карботермического синтеза, предусмотренной для промышленного производства нитридного топлива. Поэтому в автореферате следовало бы делать специальные оговорки относительно происхождения испытанных образцов и о степени соответствующего влияния на представительность исследований.

2 Следует привести информацию о количестве облучённых твэлов для понимания статистической представительности испытаний. В автореферате эта информация отсутствует.

3 Достоверность данных о скорости распухания топлива существенно зависит от корректности учёта температуры, при которой проводилось облучение. В автореферате представлена только максимальная температура топлива. Средняя по кампании температура топлива может существенно отличаться от максимальной. Следовало бы привести более детальную информацию о температурном состоянии топливного сердечника при облучении.

В целом, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Беляевой Анны Викторовны является законченной научно-исследовательской работой. Работа удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант, Беляева Анна Викторовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Начальник отдела,
кандидат технических наук
Начальник бюро
Инженер-конструктор


М.Р. Фарахин

С.Б. Белов

А.В. Киселёв
24.02.2022

Подписи Фарахина М.Р., Белова С.Б. и Киселёва А.В. заверяю:

Главный учёный секретарь ОКБМ

доктор технических наук



 А.М. Бахметьев

Научная специальность Фарахина М.Р. 05.14.03 - Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Беляевой Анны Викторовны на тему: «**Влияние облучения быстрыми нейтронами на микроструктуру и распухание уран-плутониевого нитридного топлива**», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Актуальность выполненной работы

Нитридное уран-плутониевое топливо относится к плотным видам топлива, а именно плотное топливо позволяет наиболее полно реализовать на практике преимущества реакторов на быстрых нейтронах. Нитридное топливо будет использовано в реакторах БРЕСТ, а также рассматривается в качестве перспективного для будущих реакторов типа БН. Радиационное распухание топлива является одним из наиболее важных факторов, определяющих возможность достижения экономически целесообразного уровня выгорания и длительности его эксплуатации в реакторе. Получение экспериментальных данных о поведении продуктов деления и микроструктурных изменениях топлива, определяющих скорость его распухания под облучением, для прогнозирования работоспособности тепловыделяющих элементов в течение запланированного времени эксплуатации является важной задачей, в связи с этим актуальность работы не вызывает сомнений. Следует отметить, что в настоящее время в качестве основного варианта тепловыделяющего элемента для реактора БРЕСТ рассматривается элемент с газовым заполнением. Жидкометаллическое заполнение, обеспечивающее низкотемпературный режим работы топлива – отдельное перспективное направление в разработке твэлов. В связи с этим особенно актуальны представленные автором сравнительные данные об особенностях распределения продуктов деления, изменений микроструктуры и радиационного распухания топлива в температурных условиях, характерных для двух типов тепловыделяющих элементов.

Оценка степени научной новизны и практической значимости

К наиболее значимым новым научным результатам относятся:

1. Экспериментально установлено, что при низкотемпературном облучении уран-плутониевого нитридного топлива до выгорания 4 % т. а. изменений микроструктуры и фазового состава нитрида не происходит, основное количество продуктов деления находится в твёрдой фазе, обуславливая увеличение её объёма.

2. Впервые для нитридного уран-плутониевого топлива экспериментально показано, что при низкотемпературном облучении до порогового уровня выгорания (около 5,5 %) начинается процесс формирования характерной мелкопористой субзёрненной структуры высоковыгоревшего топлива, связанный с измельчением зерна до субмикронных размеров, формированием пористости и выходом газообразных продуктов деления в образующиеся поры. Практическое значение данного результата – необходимость учитывать ускорение распухания, связанного с формированием пористости, при разработке проекта твэла с жидкометаллическим заполнением.

3. Получены новые экспериментальные данные о взаимосвязи распределения продуктов деления, состояния микроструктуры, кристаллической структуры и скорости распухания уран-плутониевого нитрида в результате облучения при повышенных значениях температуры, характерных для тепловыделяющих элементов с газовым заполнением.

4. Впервые получены сравнительные экспериментальные данные об особенностях свободного и сдерживаемого оболочкой распухания, приведены значения величины и скорости распухания за счёт увеличения пористости и увеличения объёма твёрдой фазы, включая вклад за счёт увеличения параметра кристаллической решётки.

Указанные положения являются новыми, ранее в литературе не представлены, либо представлены в недостаточном объёме. Установленные автором количественные характеристики радиационного распухания и выявленные закономерности структурных изменений в процессе облучения имеют практическое значение при разработке, корректировке и верификации моделей термомеханического поведения твэлов и обоснования их работоспособности.

Язык и стиль автореферата

Автореферат написан в традиционном стиле, в доступном и ясном изложении, построен логично и последовательно, отражает все этапы проведенного исследования. Все положения выводов достоверны, обоснованы, логично соотносятся с целью, задачами и содержанием работы.

Соответствие работы критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата наук

По данным автореферата диссертационная работа Беляевой Анны Викторовны является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые экспериментальные данные о влиянии облучения в опытном реакторе на быстрых нейтронах на свойства нитридного уран-плутониевого топлива. Полученные результаты необходимы для разработки и верификации моделей поведения твэлов и обоснования безопасности поэтапного увеличения выгорания топлива при их испытаниях в промышленном реакторе. Таким образом, диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Беляева Анна Викторовна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Начальник отдела экспертизы АО «Прорыв»,
доктор технических наук(05.17.02(технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов), профессор

25.02.2022г.
С.А. Дмитриев

Адрес: 107140, г. Москва, Малая Красносельская ул., дом 2/8 корпус 7.
Тел.: +7 985 211 71 30
e-mail: dsa@proryv2020.ru

Подпись доктора технических наук, профессора Дмитриева С.А. заверяю:

Главный технолог ПН «Прорыв»,
канд. техн. наук



Ю.С. Мочалов

Отзыв

на автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
Беляевой Анны Викторовны
“Влияние облучения быстрыми нейтронами на микроструктуру и набухание
уран-плутониевого нитридного топлива”
по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертационной работы Беляевой А.В. обусловлена необходимостью развития научных представлений о перспективных видах ядерного топлива и получении экспериментальных данных о поведении под облучением нитридного топлива с целью обоснования принятых для реализации проектных решений и выбранных технологий при реализации проекта “Прорыв”.

Наиболее значимыми научными результатами исследования являются:

1. Получение экспериментальных данных о распределении продуктов деления, параметре кристаллической решетки, микроструктуре, фазовом составе и скорости набухания в результате облучения в твэлах со свинцовым и гелиевым подслоем в зависимости от температуры топливного сердечника и выгорания.
2. Определение скоростей свободного и сдерживаемого оболочкой набухания уран-плутониевого нитридного топлива на разных этапах облучения в составе твэлов с гелиевым заполнением.

Также хочется отметить практическую значимость: полученные для данных конструкций твэлов результаты по количественным характеристикам свободного и сдерживаемого оболочкой набухания весьма полезны для дальнейшего совершенствования технологии изготовления топлива, обоснования проведения реакторных испытаний, а также верификации расчетных кодов.

Результаты диссертации достаточно полно представлены в опубликованных трудах, апробированы на научных конференциях.

Из недостатков автореферата следует отметить:

1. Исползованная для оценки радиационного набухания топлива формула (1) содержит линейную зависимость удлинения топливного сердечника от выгорания, что требует доказательства.
2. Не рассмотрен физический механизм порогового изменения поведения топлива при низкотемпературном облучении в диапазоне выгораний 3.9- 5%.
3. На рис.16 по оси ординат на самом деле задана не “ скорость набухания”, а “усредненная скорость набухания”. Вообще-то было бы полезно использовать и “мгновенную скорость набухания”.
4. Хорошо бы указывать погрешность определения параметров, например, скорости набухания, скорости увеличения ПКР, так как приводимые значения зачастую различаются незначительно.

5. Отдельные терминологические неточности:

- либо пара “твердая фаза - газовая фаза”, либо “топливная матрица- поры”;
- на рис. 1 краевая зона или периферия топлива обозначена как “край”;
- часто без должного основания используется термин “рабочая температура”, хотя на самом деле это температура в конкретном эксперименте;
- “связано с ... действием сжимающих напряжений со стороны оболочки.” Это чрезмерное упрощение напряженно-деформированного состояния композита “топливо-оболочка”.

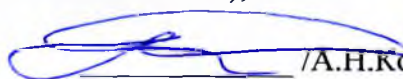
Однако указанные замечания не портят положительного впечатления от работы, которая является законченным, оригинальным и самостоятельным научным исследованием. Считаю, что диссертационная работа Беляевой Анны Викторовны "Влияние облучения быстрыми нейтронами на микроструктуру и набухание уран-плутониевого нитридного топлива" отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.


И.о. заведующего кафедрой ядерных реакторов и материалов ДИТИ НИЯУ МИФИ, к.т.н. (05.16.01. Металловедение и термическая обработка металлов), доцент

Подпись Колесникова А.Н. заверяю:

Руководитель




/А.Н.Колесников/
28.02.2022г.


/И.И.Бегина/

433502, Россия, Ульяновская обл., г. Димитровград, ул. Куйбышева, 294,
тел.: +7 (84235) 4-63-09; +7 (495) 788-5699, доб. 5401; факс: +7 (84235) 4-63-17,
моб.тел. +7-905-037-73-94;
e-mail: diti@mephi.ru,
Димитровградский инженерно-технологический институт - ф-л ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ".