

**Письменный отзыв официального рецензента
на диссертацию Цхе Валентина Константиновича
«Разработка реакторного метода получения кориума и исследование его структурно-фазового состояния и механических свойств»
на соискание степени доктора философии по специальности 6D072300 –«Техническая физика»**

№п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	<p>1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:</p> <p>1) <u>Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</u></p> <p>2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы)</p> <p>3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)</p>	<p>Представленные в диссертации результаты исследований соответствуют приоритетному направлению развития науки «Энергетика и машиностроение».</p> <p>Экспериментальные результаты представленной диссертации были получены, в основном, при финансовой поддержке Государственного учреждения «Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан» в рамках Договора №305 от 30.03.2018 года по теме «Свойства и характеристики расплава материалов активной зоны ядерного реактора, полученного на исследовательском реакторе ИГР» (ИРН №АР05133086).</p>
2.	Важность для науки	Работа вносит /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта /не раскрыта	<p>Диссертационная работа вносит существенный вклад в развитие науки в области атомной энергетики и материаловедения.</p> <p>Важность для науки заключается в разработке реакторного метода получения расплава конструкционных и топливных материалов активной зоны ядерного реактора, включающий ампульное облучательное устройство для проведения испытаний ТВС, обеспечивающее удержание расплава при моделировании тяжелой реакторной аварии</p>

			(Патент на изобретение РК №34494, бюл. №40, опублик. 09.10.2020) и методику расчета запаса реактивности реактора ИГР минимально достаточного для реализации его мощностных и энергетических параметров. Кроме того, приводятся экспериментальные данные о структурно-фазовом состоянии и механических свойствах модельного кориума, полученного методом реализации реакторного эксперимента.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий; 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	Автору присущ высокий уровень самостоятельности, что подтверждается его личным вкладом. В работе представлены теоретические и экспериментальные результаты, которые были получены при непосредственном участии соискателя. Немаловажным показателем высокого уровня самостоятельности диссертанта можно считать публикации в отечественных и зарубежных научных изданиях, где он являлся первым автором и/или автором корреспондентом.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) Обоснована; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Исследования, направленные на моделирование аварийных ситуаций, проводятся, во многих исследовательских центрах по всему миру. Однако в большинстве научных исследований применяются экспериментальные установки и стенды с внешним подводом тепла (например, индукционный нагрев) и применением имитатора кориума на основе окиси алюминия, базальтов и реже необлученного диоксида урана. К основным недостаткам последнего стоит отнести отсутствие автокаталитического источника тепла, обеспечивающегося за счет самоподдерживающегося радиоактивного распада, который возможно реализовать только в условиях ядерной установки. Анализируя результаты исследований с применением прототипного кориума, автор отмечает ограниченность в соблюдении определенных критериев подобия реальному кориуму, вследствие чего потребность в реакторных испытаниях по получению модельного кориума становится актуальной.

			<p>Для исследования различных свойств кориума требуется реализация реакторных экспериментов и разработка специальных устройств, поэтому исследования по получению модельного кориума при воздействии нейтронного облучения, имитирующего условия тяжелой аварии, являются уникальными и малочисленными.</p> <p>Очевидная потребность в проведении новых исследовательских работ в данном направлении и отсутствие методик получения модельного кориума в реакторных условиях ограничивает область применения реактора ИГР в задачах изучения тяжелых аварий и исключает участие РГП НЯЦ РК в формировании международного банка экспериментальных данных по свойствам и характеристикам кориума.</p> <p>В представленной работе предприняты усилия для развития опыта предыдущих внутриреакторных экспериментов по моделированию тяжелых аварий в направлении разработки специализированной методики проведения экспериментов на реакторе ИГР с целью получения модельного кориума для исследований его свойств и характеристик, а также расширения области применения и привлекательности реактора ИГР для специалистов, занятых проблемами безопасности ядерных реакторов. Актуальность работы обоснована во введении и первой главе диссертации, где на основании обзора научно-технической литературы изложены современные проблемы, сформулирована идея исследований и определены основные задачи.</p>
		<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) Отражает; 2) Частично отражает; 3) Не отражает</p>	<p>Аналитические выкладки результатов современной научно-технической литературы, включающий патентный поиск, описание экспериментальных установок и методов исследований, а также анализ полученных эмпирических данных, представленных в диссертационной работе, полностью отражают ее тему.</p>

		<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>соответствуют;</u> 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют 	<p>Цели и задачи диссертации полностью соответствуют заявленной теме и в полной мере раскрывают все этапы и аспекты представленного исследования</p>
		<p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>полностью взаимосвязаны;</u> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует 	<p>Все разделы и положения, изложенные в диссертации полностью взаимосвязаны основной идеей разработки метода получения кориума и исследования его свойств, которая нашла отражение в цели, задачах, а также полученных результатах работы.</p>
		<p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>критический анализ есть;</u> 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов 	<p>В каждой главе диссертации имеется подраздел с основными выводами, в которых присутствует критический анализ и четко прослеживается собственное мнение автора. Принципиальные решения и методы, предложенные соискателем в работе, подкреплены аргументами и подтверждены в соответствии с основными научными методами исследования.</p>
5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%) 	<p>Новизна полученных результатов и положений, изложенных в диссертационной работе, являются новыми, что подтверждается публикационной активностью, а именно: 3 статьи опубликовано в журнале, входящем в число международных информационных ресурсов и индексируемом в базах данных Web of Science Core Collection (Clarivate Analytics) и Scopus и 2 статьи – в печатных изданиях, рекомендованных Комитетом по</p>

			<p>обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК.</p> <p>Стоит отметить, что несмотря на достаточно большое количество теоретических и практических исследований кориума, данные о структурно-фазовом состоянии и механических свойствах кориума реактора на быстрых нейтронах с преимущественно металлической составляющей в современной научной литературе отсутствуют.</p>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Объем аналитической работы, полученных в ходе исследований результатов, включающий сравнительный анализ результатов и выводов других авторов дает основание считать сформулированные в диссертации выводы полностью новыми.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p>1) полностью новые; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%);</u> 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>При разработке ампульного облучательного устройства, описанный в третьей главе диссертации, использовался опыт других авторов, однако технические решения, касающиеся представленного экспериментального устройства, бесспорно являются оригинальными.</p>
6.	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы <u>основаны</u>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)</p>	<p>Основные выводы, представленные в диссертационной работе, сформулированы и базируются на результатах теоретических и экспериментальных исследований. При этом они не противоречат основным положениям ядерной физики, физики ядерных реакторов и физики твердого тела. Выводы полностью подтверждают защищаемые положения диссертации.</p>

7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) <u>доказано</u>;</p> <p>2) скорее доказано;</p> <p>3) скорее не доказано;</p> <p>4) не доказано</p>	<p>Первое положение, вынесенное на защиту: «Результаты нейтронно-физических и теплофизических расчетов в обоснование возможности проведения эксперимента по облучению тепловыделяющей сборки, размещенной в разработанном ампульном облучательном устройстве, в условиях реакторного моделирования тяжелой аварии».</p> <p>Первое положение расчетно-теоретически доказано с применением аттестованных методик и программных продуктов, что позволило определить требуемую к реализации диаграмму изменения мощности в ТВС АОУ в режиме «Импульс», способную обеспечить заданное удельное энерговыделение в топливе $\sim 2,8$ кДж/г UO_2 и температуру 3170К.</p>
		<p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>1) да;</p> <p>2) <u>нет</u></p>	<p>В связи с ограниченностью подобных ядерных реакторов и экспериментальных работ во всем мире, в первом положении отсутствуют признаки тривиальности.</p>
		<p>7.3 Является ли новым?</p> <p>1) <u>да</u>;</p> <p>2) нет</p>	<p>Первое положение, вынесенное на защиту, является новым, что подтверждается полученными уникальными результатами для рассмотренного режима работы реактора ИГР.</p>
		<p>7.4 Уровень для применения:</p> <p>1) узкий;</p> <p>2) <u>средний</u>;</p> <p>3) широкий</p>	<p>Уровень для применения полученных результатов по первому положению оценивается как средний, так как предполагаемой областью внедрения является аналогичные типы реакторов и установки по моделированию тяжелых аварий, которые имеются в ограниченном количестве.</p>
		<p>7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>1) <u>да</u>;</p> <p>2) нет</p>	<p>Представленное положение, которое вынесено на защиту, доказаны публикациями в различных изданиях. Кроме этого, автором был получен патент на изобретение РК на представленное в работе ампульное облучательное устройство.</p>

		<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) доказано;</p> <p>2) скорее доказано;</p> <p>3) скорее не доказано;</p> <p>4) не доказано</p>	<p>Второе положение, вынесенное на защиту: «Методика определения требуемого запаса реактивности реактора ИГР для реализации пуска в режиме «Импульс».</p> <p>Второе положение полностью доказано, что позволило установить основные зависимости между параметрами требуемой диаграммы изменения мощности реактора, энерговыделения в активной зоне и количеством компенсирующих стержней, минимально достаточном для их реализации.</p>
		<p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>1) да;</p> <p>2) нет</p>	<p>В связи с уникальностью ядерного реактора, на котором проводились экспериментальные работы, положение не является тривиальным.</p>
		<p>7.3 Является ли новым?</p> <p>1) да;</p> <p>2) нет</p>	<p>Второе положение является новым для рассмотренного режима и условий экспериментов на реакторе ИГР.</p>
		<p>7.4 Уровень для применения:</p> <p>1) узкий;</p> <p>2) средний;</p> <p>3) широкий</p>	<p>Уровень для применения полученных результатов по второму положению оценивается как средний, так как предполагаемой областью внедрения является аналогичные типы реакторов и установки по моделированию тяжелых аварий, которые имеются в ограниченном количестве.</p>
		<p>7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>1) да;</p> <p>2) нет</p>	<p>На основании расчетно-теоретических и экспериментальных данных за 2018-2023 гг. соискателем опубликовано 12 работ, что в достаточной мере охватывает все положения и аспекты диссертационной работы.</p>
		<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) доказано;</p> <p>2) скорее доказано;</p> <p>3) скорее не доказано;</p> <p>4) не доказано</p>	<p>Третье положение, вынесенное на защиту: «Особенности структурно-фазового состояния и механические свойства затвердевшего модельного расплава конструкционных и топливных материалов активной зоны ядерного реактора».</p> <p>Третье положение полностью доказано, что позволило сделать вывод о том, что наличие включений в виде соединений урана (до ~1,5 мас.% по U) в теле и на границах</p>

		зерен металлической матрицы не оказывает значительного влияния на микротвердость (148÷152 HV0,2) модельного кориума.
	7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u>	Установленные закономерности и особенности изучения процессов были рассмотрены комплексно с позиции современных знаний в области ядерной физики и физики твердого тела, поэтому элементы тривиальности в положении отсутствуют.
	7.3 Является ли новым? 1) <u>да</u> ; 2) нет	Получены уникальные экспериментальные результаты для модельного кориума, полученного методом реализации реакторного эксперимента, что позволяет сделать вывод о новизне вынесенного положения.
	7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u>	Уровень для применения результатов положения является широкий так как предполагаемой областью внедрения является атомная энергетика (включая проблемы обеспечения безопасности реакторных установок) и материаловедение.
	7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u> ; 2) нет	На основании расчетно-теоретических и экспериментальных данных за 2018-2023 гг. соискателем опубликовано 12 работ, в том числе: 3 статьи в журнале, входящем в число международных информационных ресурсов и индексируемом в базах данных Web of Science Core Collection (Clarivate Analytics) и Scopus, 2 статьи в рецензируемых научных изданиях РК, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК, 6 работ были представлены на международных конференциях.

8.	Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) <u>да</u> ; 2) нет	При проведении экспериментальных работ была использована установка и лабораторное оборудование, представленные во второй главе, применение которых обосновано и обеспечивает получение достоверных результатов.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Выявленные закономерности и установленные взаимосвязи доказаны полностью и подтверждены результатами экспериментальных исследований, которые были проведены с использованием современного аттестованного оборудования и программных продуктов (в частности, MCNP, ANSYS).
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) <u>да</u> ; 2) нет	Теоретические выводы, взаимосвязи и закономерности, установленные в ходе выполнения диссертационных исследований, подтверждены, основываясь на уникальных экспериментальных данных, полученных в рамках выполнения проекта грантового финансирования.
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	Все важные и значимые утверждения подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.
		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора	В диссертации приведено 134 наименования использованных литературных источников. Данный объем дает основание считать литературный обзор обширным и достаточным.

9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Новые данные, полученные при реализации проекта грантового финансирования в рамках диссертационной работы, о возможности получения кориума, представляющего собой затвердевший расплав топлива и конструкционных материалов модельной сборки, могут быть использованы для прогнозирования и оценки получаемых свойств расплава в зависимости от компонентно-элементного состава и его количественного содержания.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике при разработке технологий извлечения затвердевшего расплава, включающий в свой состав топливо и конструкционные материалы, претерпевшие превращения в процессе плавления и взаимодействия за счет внутреннего энерговыделения в топливе, из поврежденных реакторов. Особый интерес к работам подобного рода имеется со стороны Японии, США, Европейского союза, что также подтверждает практическое значение полученных результатов, которые будут впоследствии востребованы научными коллективами из перечисленных стран.
		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) <u>полностью новые</u> ; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Практические рекомендации и предложения являются полностью новыми. По результатам проведенного исследования получен патент на изобретение Республики Казахстан №34494, бюл. №40, опубл. 09.10.2020 г.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое</u> ; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Качество академического письма оценивается как высокое. Текст диссертации изложен научной стилистикой письма четко и ясно.

Диссертация Цхе Валентина Константиновича на тему «Разработка реакторного метода получения кориума и исследование его структурно-фазового состояния и механических свойств» полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК к диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени доктора философии (PhD) по специальности – 6D072300 – «Техническая физика».

Официальный рецензент:

Заведующий лабораторией
проблем безопасности атомной энергии,
РГП «Институт ядерной физики», PhD
(место работы, ученое звание)



М.А.

(подпись)

А.А. Шаймерденов
(Ф.И.О.)

Подпись Шаймерденова

Ученый секретарь РГП



А.К. Байбаев

14.07.2022.