

ПИСЬМЕННЫЙ ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

на диссертационную работу Толеубекова Куанышбека Оразбековича на тему «Взаимодействие расплава материалов активной зоны легководного ядерного реактора с металлами-охлаждителями в условиях внекорпусной стадии развития тяжелой аварии», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05302 – «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>Рецензируемая диссертационная работа соответствует приоритетному направлению развития науки «Энергия, передовые материалы и транспорт» по специализированному научному направлению «Атомная энергетика, ядерные технологии и использование атомной энергии».</p> <p>Диссертационная работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования по научным и (или) научно-техническим проектам на 2022-2024 годы (МОН РК) по теме: ИРН AP14870512 «Разработка и исследование способа охлаждения кориума в подреакторной ловушке расплава активной зоны АЭС при тяжелой аварии».</p>

2.	Важность для науки	Работа вносит /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта /не раскрыта	Диссертационная работа вносит существенный вклад в развитие науки, так как исследования по дальнейшему совершенству концепции удержания кориума в ловушке расплава во время тяжелой аварии для обеспечения безопасности эксплуатации атомных станций являются актуальными на сегодняшний день. Важность работы для науки и техники хорошо раскрыта автором путем последовательного изложения необходимости проведенного исследования и обоснования достигнутых результатов.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий ; 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	В диссертации соискатель проявляет высокий уровень самостоятельности, поскольку он самостоятельно выполнил обширный литературный обзор современных подходов по обеспечению безопасности атомных станций во время тяжелой аварии, определил их особенности и недостатки, которые позволили сформулировать цели и задачи проведенного исследования. Приведенные в диссертационной работе расчетно-аналитические исследования, в том числе с использованием CFD-моделирования, были выполнены соискателем самостоятельно.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) Обоснована ; 2) Частично обоснована;	Результаты данного исследования имеют высокую актуальность в вопросах развития пассивных систем защиты атомных станций с

		<p>3) Не обоснована.</p>	<p>легководными реакторами. Проведенные исследования по возможности использования эффекта кипения металлов для охлаждения кориума представляет собой особую важность для расширения возможностей оптимизации концепций внекорпусного удержания кориума в ловушках расплава. Также, полученные экспериментальные данные взаимодействия легкоплавких металлов с кориумом в условиях тяжелой аварии могут быть востребованы в области атомной энергии при исследованиях различных сценариев развития тяжелой аварии при обосновании безопасности перспективных реакторных установок.</p>
		<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) Отражает; 2) Частично отражает; 3) Не отражает</p>	<p>В работе представлено описание проведенных исследований по потенциальной возможности реализации способа охлаждения поверхности кориума в ловушке расплава в условиях внекорпусной стадии развития тяжелой аварии. Предложенный способ основан на использовании эффекта кипения металлов. Металлы, которые могут быть использованы для реализации предложенного метода охлаждения, были условно названы как «металлы-охладители». Таким образом, содержание диссертационной работы полностью отражает тему диссертации.</p>
		<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме</p>	<p>Цели и задачи диссертационной работы</p>

		<p>диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>соответствуют</u>; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют 	<p>полностью соответствует ее теме и раскрывают основные аспекты проведенных исследований. Цель работы заключалась в исследовании взаимодействия кориума легководного реактора с металлами-охлаждителями в условиях моделирования тяжелой аварии с расплавлением активной зоны. Исходя из поставленной цели решены три основные задачи, содержание которых соответствует теме диссертации.</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>Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. Полученные результаты и научные выводы имеют логическую завершенность и взаимосвязаны друг с другом.</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; 4) анализ отсутствует. 	<p>В работе присутствует критический анализ, который заключался в постановке цели и задач исследования на основе проведенного литературного обзора. Также, решение поставленных задач требовало формирования методических подходов к обеспечению качественного проведения исследований. Полученные результаты требовали критического анализа для формирования соответствующих выводов проведенных исследований.</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>; 	<p>Научные результаты и положения диссертации обладают высокой степенью новизны, в частности:</p>

		<p>2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Впервые было предложено использовать кипение металлов для охлаждения поверхности расплава кориума для организации непрерывного теплоотвода за весь период локализации кориума в ловушке расплава. Были сформулированы требования и определены металлы, которые могут быть использованы для охлаждения кориума в ловушке расплава; - Разработана и апробирована в серии экспериментов методика проведения испытаний материалов с низкой температурой плавления относительно температуры существования расплава кориума; - Установлено влияние исследуемых металлов на структурно-фазовое состояние кориума в результате проведения экспериментов в условиях моделирования тяжелой аварии с расплавлением активной зоны.
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Выводы по результатам проведенных исследований, изложенные в диссертации, являются новыми. Они дополняют существующие знания о характере и особенностях взаимодействия кориума с металлами в условиях тяжелой аварии. Результаты исследований являются новыми в контексте разработок усовершенствованных ловушек расплава легководных ядерных реакторов.</p>

		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</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>В диссертационной работе для достижения поставленной цели и решения задач были разработаны новые методические подходы. Они могут быть полезны и использованы при исследованиях различных процессов во время тяжелой аварии на атомной станции. Таким образом, новые и обоснованные решения, вытекающие из результатов диссертации, могут существенно расширить круг проводимых исследований, что положительно повлияет на развитие атомной техники.</p>
6.	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы <u>основаны</u>/не основаны на весомах с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)</p>	<p>Все основные выводы диссертационного исследования основаны на большом объеме проведенных расчетных и экспериментальных работ. Исследования проводились с использованием хорошо апробированных методов, которые позволили собрать весомые с научной зрения доказательства для формирования выводов 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> <ol style="list-style-type: none"> 1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 	<p>Положение 1. Использование эффекта кипения металлов является альтернативным методом охлаждения поверхности кориума в период, когда подача воды в ловушку расплава не предусмотрена ввиду особенностей состава кориума.</p> <p>7.1 <u>Доказано</u></p> <p>7.2 <u>Нет</u></p> <p>7.3 <u>Да</u></p>

	<p>7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.</p> <p>7.3 Является ли новым? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.</p> <p>7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.</p> <p>7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.</p>	<p>7.4 <u>Широкий</u> 7.5 <u>Да</u></p> <p>Положение 2. Температура металла-охладителя в устройстве сброса не превышает ~ 400 °С при достижении температуры кориума ~ 2250 °С в графитовом тигле разработанной экспериментальной сборки стенда ВЧГ-135.</p> <p>7.1 <u>Доказано</u> 7.2 <u>Нет</u> 7.3 <u>Да</u> 7.4 <u>Широкий</u> 7.5 <u>Да</u></p> <p>Положение 3. Взаимодействие цинка с расплавом кориума при температуре ~ 2250 °С приводит к его интенсивному кипению и полному испарению из тигля. Кипению сурьмы подвергается часть общей массы сброшенного металла, в то время как марганец не достигает точки кипения. Оставшаяся часть сурьмы и марганца вносит изменения в состав кориума, образуя соединения с компонентами кориума</p> <p>7.1 <u>Доказано</u> 7.2 <u>Нет</u> 7.3 <u>Да</u> 7.4 <u>Широкий</u> 7.5 <u>Да</u></p>
--	--	--

			<p>Все положения, выносимые на защиту, доказаны в публикациях в рецензируемых научных журналах и апробированы на международных научных конференциях. Соискателем опубликовано 12 печатных работ, из них в рецензируемых научных изданиях РК, рекомендованных КОКСНВО – 1, в журналах, индексируемых в базе Scopus и/или Web of Science – 3, в сборниках трудов международных конференций – 7, а также патента на полезную модель – 1. Соискатель является в статьях либо автором-корреспондентом, либо первым автором.</p>
8.	<p>Принцип достоверности и достоверность источников информации предоставляемой</p>	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана</p> <p>1) <u>да</u>; 2) нет</p>	<p>Диссертационная работы выполнена с использованием современных и хорошо апробированных методов исследования. Выбор методологии исследований автором достаточно обоснован и подробно описан во второй главе диссертации.</p>
		<p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:</p> <p>1) <u>да</u>; 2) нет</p>	<p>Получение результатов диссертационной работы было основано на использовании современных вычислительных программных комплексов для проведения теплофизических расчетов, уникального экспериментального стенда ВЧГ-135 для проведения экспериментов в условиях тяжелой аварии, а также парка материаловедческого оборудования для</p>

			проведения глубокого анализа фазового состава и структуры полученных образцов. Таким образом, использование выбранных соискателем методов исследования позволило ему решить поставленные задачи диссертационной работы.
		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	Каждое из выносимых соискателем на защиту положений было подтверждено экспериментальным путем, были проведены ряд экспериментов с металлами-охладителями на стенде ВЧГ-135 и получены опытные образцы для исследования их структуры и фазового состава.
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	Основные, важные утверждения диссертационной работы подтверждены соответствующими ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.
		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора	Список использованной научной литературы в диссертационной работе насчитывает 145 наименований, в том числе 83 источника, которые были использованы для подготовки литературного обзора.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Диссертация имеет значительное теоретическое значение в контексте расширения знаний о взаимодействии металлов с кориумом в условиях моделирования тяжелой аварии ядерного реактора с расплавлением его

			активной зоны.
		<p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:</p> <p>1) <u>да</u>;</p> <p>2) нет</p>	<p>Диссертация имеет высокое практическое значение, поскольку был разработан новый способ проведения испытаний легкоплавных материалов в условиях тяжелой аварии АЭС и который может быть успешно применен на практике. Также, выявленные особенности взаимодействия металлов-охладителей с кориумом могут быть использованы при разработке новых устройств для ядерной техники.</p>
		<p>9.3 Предложения для практики являются новыми?</p> <p>1) <u>полностью новые</u>;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>В диссертации соискателем впервые было предложено использовать использование эффекта кипения металлов для охлаждения кориума в ловушке расплава в процессе развития тяжелой аварии. Разработана новая методика проведения испытаний, которая обладает большим практическим потенциалом. На основе разработанной методики были проведены испытания и получены уникальные сведения о взаимодействии выбранных для исследований материалов с кориумом в условиях аварийного реактора.</p>
10.	Качество написания и оформления	<p>Качество академического письма:</p> <p>1) <u>высокое</u>;</p> <p>2) среднее;</p> <p>3) ниже среднего;</p> <p>4) низкое.</p>	<p>Качество академического письма в диссертационной работе на высоком уровне. Диссертация написана доступным и логичным научно-техническим языком. Для наглядности соискатель в работе приводит большое</p>

		количество иллюстраций, графиков и схем.
11.	Замечания к диссертации	В диссертации имеются отдельные стилистические погрешности, имеются некоторые замечания по оформлению списка литературы. Можно заметить несогласованность в использовании единиц измерения температуры во время расчетов (в разделе 3.2 используются градусы Кельвина, в то время как в разделе 4.3.3 градусы Цельсия). Однако, эти замечания не снижают научной новизны и практической значимости работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации.
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования	Соискатель опубликовал, в общем, 4 статьи по теме диссертационного исследования, в том числе в журналах, имеющие высокие наукометрические показатели в международных базах Scopus и WoS. Публикации соискателя имеют высокий научный уровень, написаны логичным научно-техническим языком и отражают суть проведенных исследований.
13.	Решение официального рецензента	Диссертационная работа Толеубекова Куанышбека Оразбековича на тему «Взаимодействие расплава материалов активной зоны легководного ядерного реактора с металлами-охладителями в условиях внекорпусной стадии развития тяжелой аварии» полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МНВО РК к диссертациям, а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения искомой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05302 – «Техническая физика».

Официальный рецензент: кандидат физико-математических наук, начальник отдела радиационной физики твердого тела РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан.	Кислицин С.Б.
---	---------------

Подпись Кислицина С.Б. заверяю, зам. генерального директора по научной работе ИЯФ, PhD



С.У.

Садуев Н.О.