

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>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 грантового проекта, финансируемого из государственного бюджета Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан на тему «Разработка и исследование способа охлаждения кориума в подреакторной ловушке расплава активной зоны АЭС при тяжелой аварии» за 2022-2024 годы (AP14870512).</p>
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта</u> /не раскрыта	Важность диссертационной работы хорошо раскрыта , и она вносит существенный вклад в развитие прикладной науки в области атомной энергетики. Вклад диссертационной работы в развитие науки заключается в обосновании возможности использования эффекта кипения металлов для охлаждения поверхности кориума в ловушке расплава. Внедрение в практику

			реакторостроения предложенного способа охлаждения способно минимизировать риски, которые возникают при использовании текущей концепции внекорпусной локализации кориума в ловушке расплава во время тяжелой аварии на АЭС.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий; 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	Соискатель проявил высокую степень самостоятельности при выполнении исследований в рамках диссертационной работы. Автором самостоятельно проведен литературный обзор, сформулированы цель и задачи исследования, а также расчетно-теоретическое обоснование предложенного способа охлаждения кориума. Толеубеков К.О. принимал непосредственное участие в подготовке и проведении экспериментальных и постэкспериментальных исследований, самостоятельно разрабатывал отчетную документацию и формулировал основные выводы диссертационной работы.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) Обоснована; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Актуальность диссертационной работы полностью обоснована . Проведенные исследования посвящены актуальным на сегодняшний день вопросам повышения безопасности эксплуатации ядерных энергетических установок. Диссертация затрагивает тему пассивных систем защиты АЭС, в частности, ловушек расплава, применяемых в случае развития тяжелой аварии с расплавлением активной зоны. В рамках литературного обзора соискателем показаны недостатки текущей концепции локализации расплава активной зоны легководного реактора во время тяжелой аварии и возможные последствия, к которым они могут привести. В связи с этим, в диссертации соискателем предложен способ минимизации указанных недостатков. Таким образом, проведенные исследования являются актуальными в атомной энергетике и ее результаты

		несомненно важны для развития науки.
	<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Отражает; 2) Частично отражает; 3) Не отражает 	<p>Содержание диссертации полностью отражает её тему. Диссертация состоит из пяти основных глав. Представленные главы и их содержание полностью согласуются с темой диссертации и посвящены исследованиям эффекта кипения металлов при их взаимодействии с кориумом в условиях развития тяжелой аварии легководного реактора с расплавлением активной зоны.</p>
	<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) соответствуют; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют 	<p>Цель и задачи диссертационной работы полностью соответствуют её теме. Целью диссертации являлось исследование возможности применения металлов для охлаждения кориума в ловушке расплава во время тяжелой аварии. В связи с этим, соискателем сформулированы три последовательные основные задачи, решение которых необходимы для достижения поставленной цели.</p>
	<p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) полностью взаимосвязаны; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует 	<p>Диссертация отличается строгой последовательностью и логической взаимосвязанностью. Цель и задачи сформулированы в обзорной части диссертации, за которой следуют расчетно-теоретические положения. За расчетно-теоретическими положениями следуют экспериментальные и постэкспериментальные исследования, завершающиеся сопоставлением и анализом полученных результатов. Таким образом, диссертация представляет собой структурированную, законченную, целостную научную работу с внутренним единством.</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) критический анализ есть; 2) анализ частичный; 	<p>Предложенный автором новый метод охлаждения кориума в ловушке расплава и методические подходы для проведения экспериментальных исследований аргументированы и основаны на критическом анализе текущей концепции внекорпусной локализации</p>

		<p>3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов;</p> <p>4) анализ отсутствует.</p>	<p>кориума, а также ранее проведенных исследований в этой области. Центральными объектами для проведения анализа являлась историография рассматриваемой проблемы, обзора устоявшихся подходов и методик проведения исследований в условиях моделирования тяжелой аварии.</p>
5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <p>1) полностью новые;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Научные результаты и положения работы являются полностью новыми и вносят значимый вклад в исследования безопасности атомной энергетики, в частности, развития пассивных систем защиты АЭС. Научная новизна результатов и положений диссертации подтверждается опубликованными статьями в высорейтинговых международных и отечественных научных журналах.</p>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) полностью новые;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Основные выводы диссертации являются полностью новыми, они и основаны на расчетно-экспериментальных данных и всестороннем анализе полученных результатов исследований. При этом, сформулированные выводы диссертационной работы основаны только на собственных оригинальных исследованиях.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p>1) полностью новые;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Технические и технологические решения, использованные в диссертации, являются полностью новыми. Основное техническое решение диссертации заключается в разработке метода испытаний легкоплавных материалов в условиях моделирования тяжелой аварии. Данный метод обладает большой практической ценностью и может быть успешно применен в аналогичных экспериментах.</p>
6.	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и</p>	<p>Все основные выводы основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах и достаточно хорошо обоснованы. Основные выводы подтверждаются экспериментальными и расчетными результатами с</p>

		гуманитарным наукам)	использованием современных и хорошо апробированных методов исследования. Выводы полностью подтверждают положения диссертационной работы.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно.</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.</p> <p>7.3 Является ли новым?</p> <p>1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.</p> <p>7.4 Уровень для применения:</p> <p>1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.</p> <p>7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.</p>	<p>На защиту диссертации выносятся три основных положения:</p> <p>1. Моделирование показало, что при подаче металла-охлаждителя (цинк, сурьма и марганец) на поверхность кориума происходит их быстрое плавление за счет интенсивного теплообмена. Время полного плавления определяется значением температуры плавления конкретного металла-охлаждителя: цинк (~ 1,6 с), сурьма (~ 3,4 с) марганца (~ 5,5 с). При этом в процессе цинк выкипает полностью, в то время как кипение сурьмы носит частичный характер (в некоторых областях расчетной модели значения температуры сурьмы ниже температуры кипения $T_{кип} = 1908 \text{ K}$). Марганец не достигает температуры кипения, устанавливая тепловое равновесие с кориумом со средним значением температур ~ 1750 К.</p> <p>7.1 Положение доказано 7.2 Положение не является тривиальным 7.3 Положение является новым 7.4 Уровень для применения широкий 7.5 Положение доказано в статьях</p> <p>2. Получение расплава кориума на стенде ВЧГ-135 осуществляется методом индукционного нагрева подготовленной шихты в графитовом тигле. После получения требуемой температуры кориума равной ~ 2250 °С, происходит сброс исследуемого металла-охлаждителя на расплав кориума из специального устройства путем открытия заслонки с помощью</p>

			<p>электромагнитного привода. Температура металла-охлаждителя на момент его сброса достигает ~ 400 °С.</p> <p>7.1 Положение доказано</p> <p>7.2 Положение не является тривиальным</p> <p>7.3 Положение является новым</p> <p>7.4 Уровень для применения широкий</p> <p>7.5 Положение доказано в статьях</p> <p>3. Взаимодействие цинка с расплавом кориума при температуре ~ 2250 °С приводит к интенсивному кипению металла-охлаждителя и полному испарению из тигля. Кипению сурьмы подвергается не более 20 % ее общей массы сброшенного металла, в то время как остальная часть взаимодействует с кориумом с образованием фазового состава на основе ряда твердых растворов уран-циркония типа $(Zr,U)O_{2-x}$, а также небольшого количества фаз, принадлежащим α-цирконию, стабилизированному кислородом, и фазе соединения Zr-Sb-O. Марганец не достигает точки кипения и вносит изменения в состав кориума, при этом образуя большой ряд твердых растворов уран-циркониевого типа, соединений циркония-марганца и кислорода (Zr-Mn-O, Zr_2Mn, Zr_3O), а также фиксируется взаимодействие с материалом плавильного объема.</p> <p>7.1 Положение доказано</p> <p>7.2 Положение не является тривиальным</p> <p>7.3 Положение является новым</p> <p>7.4 Уровень для применения широкий</p> <p>7.5 Положение доказано в статьях</p>
8.	<p>Принцип достоверности</p> <p>Достоверность источников и</p>	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана</p> <p>1) <u>да</u>;</p> <p>2) нет</p>	<p>Выбор методов исследования в диссертации подробно описан и основан на использовании обоснованных, общепринятых и широко используемых для получения данных об взаимодействии конструкционных</p>

предоставляемой информации		материалов с кориумом в условиях моделирования тяжелой аварии с расплавлением активной зоны. Методология компьютерного и физического моделирования, а также материаловедческих исследований подробно описана в диссертации.
	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	Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных. Были использованы различные методы исследований в том числе как физического и компьютерного моделирования, так и методов исследований структуры и фазового состава материалов. Использование выбранных методов было основано на применении программы ANSYS, стенда ВЧГ-135 и парка аналитического оборудования для проведения материаловедческих исследований.
	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, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности подтверждены экспериментальными данными. Они позволили установить соответствие между расчетными данными компьютерного моделирования и результатами непосредственно самих экспериментов с металлами-охладителями.
	8.4 Важные утверждения подтверждены /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	Важные утверждения подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу, что обеспечивает обоснованность и актуальность проводимых исследований, а также достоверность используемых в диссертации данных для проведения численных и экспериментальных исследований.
	8.5 Используемые источники литературы достаточны /не достаточны для литературного	Используемые в диссертации источники литературы достаточны для проведения литературного обзора. Используемые источники охватывают основные аспекты

		обзора	исследованной соискателем темы диссертации и обеспечивают достаточную обоснованность для проведения исследований по разработке способа охлаждения кориума в ловушке расплава.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Диссертация имеет большое теоретическое значение. Полученные соискателем результаты диссертации могут быть использованы в различных теоретических и аналитических исследованиях взаимодействия кориума с различными конструкционными материалами, в том числе для валидации расчетных кодов для анализа развития аварийной ситуации реакторных установок.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Диссертация имеет большое практическое значение и ее результаты могут быть использованы на практике. Разработанный и апробированный метод испытаний материалов в условиях моделирования тяжелой аварии с расплавлением активной зоны является универсальным и может быть внедрен на других установках для проведения аналогичных исследований.
		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%)	Предложения для практики, сформулированные в диссертации, являются полностью новыми . Они представляют собой новый способ охлаждения кориума в ловушке расплава, основанным на эффекте кипения металлов, а также новый метод испытания материалов в условиях моделирования аварийного легководного реактора.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое</u> ; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Качество академического письма диссертации высокое . Диссертация выполнена на высоком научном уровне и представленной собой завершенную научно-исследовательскую работу.
11.	Замечания к диссертации	- В тексте диссертации имеются орфографические ошибки и неточности (например, стр. 37 – «Настоящая глава содержит информацию об методах исследований материала», стр. 55 - «третье главе», стр.74 – «значительнее интенсивнее» и тд.).	

		<p>- Некоторые рисунки имеют мелкие подписи и обозначения, что затрудняет их понимание (например, на рисунках 40 и 49 следовало бы увеличить изображения нумерации зон, выделенных на рисунках красным контуром).</p> <p>Однако, вышеприведенные замечания не снижают научно-практической ценности диссертации, которая выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную самостоятельную научно-исследовательскую работу.</p>
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования	Научный уровень статей соискателя по теме исследования высокий . Публикации (1 статья в рецензируемом научном издании РК, рекомендованный КОКСНВО МНВО РК, а также 3 статьи в журналах, индексируемых в базе Scopus и/или Web of Science) отражают основные результаты диссертации и содержат оригинальные или апробированные подходы к решению поставленных задач.
13.	Решение официального рецензента	Диссертационная работа Толеубекова К.О. на тему « Взаимодействие расплава материалов активной зоны легководного ядерного реактора с металлами-охлаждителями в условиях внекорпусной стадии развития тяжелой аварии » выполнена на высоком уровне, представляет собой самостоятельную научно-исследовательскую работу. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям правил присуждения степеней Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. В связи с вышесказанным, Толеубеков Куанышбек Оразбекович заслуживает присуждения искомой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05302 – «Техническая физика».

Официальный рецензент:

доктор физико-математических наук,
 профессор, начальник научного центра
 АО «Ульбинский металлургический
 завод»



Кылышканов М.К.

Подпись Кылышканова М.К. заверено.
Специалист по персоналу ИЦ.
Ленисова Т.Т.