

Отзыв официального рецензента
Толымбековой Лязат Байгабыловны,
к.т.н., PhD, и.о. доцента кафедры «Химия»
НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»
на диссертационную работу Бекбаевой Лэззэт Акылбайқызы,
на тему «Развитие кластерно-ассоциатной теории жидкости применительно к вязкости
расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов»,
представленную на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 8D07203 – «Металлургия»

№ 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	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно- технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан.	Тема диссертации соответствует приоритетному направлению развития науки по образовательной программе 8D07203 – «Металлургия», поскольку исследование направлено на развитие теоретических представлений о вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов. Работа затрагивает вопросы физики жидкого состояния, структурных особенностей расплавов, математического моделирования вязкости, определения энергии активации вязкого течения и прогнозирования физико-химических свойств расплавов. Полученные результаты имеют важное значение для совершенствования теории жидкого состояния и оптимизации металлургических процессов плавки, литья и рафинирования.
2.	Важность для науки	Работа вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта.	Исследование сосредоточено на решении важной научной проблемы, связанной с развитием теоретических представлений о природе вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов. Разработка кластерно- ассоциатной модели жидкого состояния, ее сопоставление с уравнением Френкеля, определение энергии активации и удельной энергии активации вязкого течения, а также установление закономерностей образования и ассоциации кластеров позволяют более полно описывать температурную зависимость вязкости расплавов.

			Выявленные зависимости между структурными характеристиками расплавов, их термодинамическими параметрами и вязкостными свойствами создают научную основу для прогнозирования поведения многокомпонентных расплавов в широком температурном диапазоне. Полученные результаты вносят существенный вклад в развитие теории жидкого состояния, физико-химии расплавов и совершенствование методов математического моделирования металлургических процессов.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) высокий.	Автор в ходе выполнения диссертационной работы продемонстрировала высокий уровень самостоятельности, научной квалификации и профессиональной подготовки. Поставленные научные задачи свидетельствуют о глубоком понимании вопросов физики жидкого состояния, физико-химии расплавов, металлургии и методов математического моделирования. Бекбаевой Л.А. самостоятельно выполнены анализ современного состояния проблемы, развитие кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния, разработка математической модели температурной зависимости вязкости расплавов, обработка и анализ экспериментальных данных, определение энергии активации и удельной энергии активации вязкого течения, исследование взаимодополняемости кластерно-ассоциатной модели и уравнения Френкеля, а также проверка разработанной модели на расплавах сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем. Это свидетельствует о том, что автор не только успешно решил поставленные фундаментальные научные задачи, но и довел результаты исследования до уровня, позволяющего использовать их при моделировании и совершенствовании металлургических процессов. Представленные в диссертации результаты свидетельствуют о способности автора самостоятельно

			выполнять исследования высокого научного уровня, анализировать сложные научные проблемы и предлагать обоснованные пути их решения.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) обоснована.	Во введении диссертации автором дано аргументированное обоснование актуальности темы исследования. Показано, что развитие современной металлургии требует совершенствования методов описания физико-химических свойств расплавов, в первую очередь их вязкости, являющейся одной из важнейших структурно-чувствительных характеристик жидкого состояния. В работе убедительно доказана необходимость дальнейшего развития кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния, позволяющей получить физически обоснованное описание температурной зависимости вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем. Такой подход придает исследованию не только фундаментальное значение для теории жидкого состояния, но и существенную практическую ценность для совершенствования современных металлургических технологий.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) отражает.	Структура диссертации построена логично и обеспечивает последовательное изложение результатов исследования. Работа начинается с анализа современного состояния проблемы и существующих подходов к описанию вязкости расплавов, после чего последовательно рассматриваются теоретические основы разработанной кластерно-ассоциатной модели, результаты ее математического обоснования, сопоставления с уравнением Френкеля и экспериментальной проверки на различных классах расплавов. Заключительные разделы посвящены анализу полученных закономерностей, оценке энергии активации вязкого течения и практическим аспектам применения разработанной модели. Такое построение диссертации способствует целостному восприятию полученных

			научных результатов и полностью соответствует заявленной теме исследования.
		4.3 Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) соответствует.	Цель диссертационной работы сформулирована корректно и полностью соответствует теме исследования. Поставленные задачи охватывают все ключевые этапы научной работы – от анализа современного состояния проблемы и развития теоретических основ кластерно-ассоциатной модели до ее математического обоснования, определения энергетических характеристик вязкого течения и экспериментальной проверки. Цель и задачи исследования логически взаимосвязаны, последовательно реализованы и в полном объеме отражены в полученных результатах и выводах диссертации.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) полностью взаимосвязаны.	Диссертация отличается единством замысла, логичностью построения и последовательностью изложения научного материала. Все разделы являются завершенными, взаимосвязанными и содержат самостоятельные выводы, отражающие результаты соответствующего этапа исследования. Последовательный переход от анализа современного состояния проблемы и существующих моделей вязкости к развитию кластерно-ассоциатной теории, разработке математической модели, ее сопоставлению с уравнением Френкеля и последующей экспериментальной проверке обеспечивает целостность исследования. Теоретические положения органично дополняются результатами математического моделирования и анализа экспериментальных данных, что позволило довести полученные научные результаты до уровня практического применения при прогнозировании вязкости расплавов и моделировании металлургических процессов.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и	Проведенный в диссертации сравнительный анализ современных теоретических подходов к описанию вязкости расплавов позволил выявить их

		оценены по сравнению с известными решениями: 1) критический анализ есть.	основные достоинства и ограничения, а также обосновать необходимость дальнейшего развития кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния. Автором показано, что существующие модели во многих случаях ограничены областью применимости, используют эмпирические параметры, не имеющие достаточного физического обоснования, и не обеспечивают надежного прогнозирования вязкости в широком диапазоне температур. На этом фоне предложенная кластерно-ассоциатная модель, основанная на концепции хаотизированных частиц, взаимодополняемости с уравнением Френкеля и определении энергии активации и удельной энергии активации вязкого течения, представляется теоретически обоснованной, логически завершенной и перспективной для решения фундаментальных и прикладных задач металлургии.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) полностью новые.	Научные результаты и положения, представленные в диссертационной работе, обладают научной новизной. Научная новизна исследования заключается в развитии кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния применительно к расплавам сложных неорганических веществ и металлических сплавов, разработке обобщенной модели температурной зависимости вязкости на основе степени ассоциации и агрегации кластеров, а также в обосновании взаимодополняемости кластерно-ассоциатной модели и уравнения Френкеля. Впервые определены значения удельной энергии активации вязкого течения расплавов, установлены закономерности изменения степени ассоциации кластеров и предложен подход к прогнозированию вязкости расплавов на основе фазовых диаграмм состояния и термодинамических характеристик исследуемых систем.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые.	Выводы диссертационной работы основаны на результатах выполненных теоретических исследований, математического моделирования и

		анализа экспериментальных данных, что подтверждает их научную обоснованность и достоверность. Автором сформулированы новые положения о природе вязкости расплавов, обоснована взаимодополняемость кластерно-ассоциатной модели и уравнения Френкеля, определены энергия активации и удельная энергия активации вязкого течения, а также выявлены закономерности изменения степени ассоциации кластеров и их связи с вязкостными характеристиками расплавов. Полученные выводы существенно расширяют современные представления о механизмах формирования вязкости и создают научную основу для прогнозирования свойств расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем.
	5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными? 1) полностью новые.	Предложенные в диссертации научные решения отличаются новизной, теоретической обоснованностью и практической значимостью. К ним относятся разработка кластерно-ассоциатной модели температурной зависимости вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем, обоснование комплексного использования кластерно-ассоциатной модели и уравнения Френкеля для определения удельной энергии активации вязкого течения, а также установление количественной связи между вязкостью расплавов и их фазовыми диаграммами состояния. Практическая ценность полученных результатов подтверждается публикацией результатов исследования в рецензируемых научных изданиях, получением свидетельства об авторском праве, внедрением результатов в учебный процесс и перспективностью их использования при моделировании и оптимизации металлургических процессов. Это свидетельствует о практической значимости полученных результатов и возможности их использования при моделировании металлургических процессов.

6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах? Да.	Все основные выводы диссертационной работы основаны на убедительных теоретических и экспериментальных доказательствах. Достоверность полученных результатов подтверждается развитием кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния, математическим моделированием температурной зависимости вязкости, сопоставлением разработанной модели с уравнением Френкеля, а также сравнением расчетных зависимостей с экспериментальными и справочными данными для расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем. Высокая степень согласованности расчетных и экспериментальных результатов подтверждает обоснованность предложенной модели и корректность полученных научных выводов.
----	---------------------------------	--	---

7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) да. 7.2 Является ли тривиальным? 2) нет. 7.3 Является ли новым? 1) да. 7.4 Уровень для применения? 3) широкий. 7.5 Доказано ли в статье? 1) да.	7.1 Положения диссертационной работы подтверждены результатами теоретических исследований, математического моделирования, сопоставлением разработанной кластерно-ассоциатной модели с уравнением Френкеля, а также сравнением расчетных зависимостей с экспериментальными и справочными данными по вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем. Полученные результаты подтверждают адекватность предложенной модели и достоверность сформулированных научных положений. 7.2 Представленные положения не являются тривиальными, поскольку основаны на дальнейшем развитии кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния, обосновании взаимодополняемости кластерно-ассоциатной модели и уравнения Френкеля, определении энергии активации и удельной энергии активации вязкого течения, а также установлении новых закономерностей формирования вязкости расплавов. 7.3 Каждое положение диссертации содержит элементы научной новизны и вносит вклад в развитие теории жидкого состояния вещества. Особый научный интерес представляют разработанная модель температурной зависимости вязкости, количественное описание процессов образования и ассоциации кластеров, определение энергетических характеристик вязкого течения и установление связи вязкости металлических сплавов с фазовыми диаграммами состояния. 7.4 Полученные результаты имеют широкие перспективы практического применения. Разработанная модель может использоваться при прогнозировании вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем, математическом моделировании высокотемпературных металлургических процессов, оптимизации режимов плавки, литья и рафинирования, а также при исследовании новых многокомпонентных
----	---	---	---

			расплавов, что подтверждено экспериментальной проверкой модели на шлаковой системе и сопоставлением расчетных и экспериментальных данных. 7.5 Основные положения диссертации прошли необходимую апробацию и нашли отражение в научных публикациях автора, включая статьи в международных рецензируемых изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, статьи в журналах, рекомендованных КОКСНВО МНВО Республики Казахстан, материалы международных и отечественных научных конференций, а также свидетельство об авторском праве. Полученные результаты внедрены в учебный процесс, что подтверждает их научную и практическую значимость.
8.	Принцип достоверности: достоверность источников и представляемой информации	8.1 Выбор методологии основан или методология достаточно подробно описана: 1) да.	Методология исследования основана на комплексном подходе, сочетающем современные методы теоретического анализа, математического моделирования и обработки экспериментальных данных. В работе использованы анализ отечественной и зарубежной научной литературы, положения концепции хаотизированных частиц, вероятностный подход к описанию процессов образования кластеров, математическое моделирование температурной зависимости вязкости, а также сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных по вязкости расплавов. Методология исследования подробно изложена и убедительно показывает, что выбранные методы полностью соответствуют цели работы и обеспечивают достоверность полученных научных результатов.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научного исследования и вычислительной техники. Автором выполнено математическое моделирование температурной зависимости вязкости расплавов, обработка и систематизация экспериментальных и справочных данных, сопоставление расчетных зависимостей с опубликованными

		1) да.	экспериментальными результатами, а также анализ адекватности разработанной кластерно-ассоциатной модели. Комплексное применение теоретических и вычислительных методов позволило получить достоверные результаты и обосновать закономерности изменения вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем.
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием: 1) да.	Теоретические положения, разработанная кластерно-ассоциатная модель и выявленные закономерности подтверждены результатами сопоставления расчетных и экспериментальных данных. Автор выполнила проверку предложенной модели на расплавах сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем, что показало высокую степень согласованности расчетных и экспериментальных значений вязкости. Полученные результаты подтверждают достоверность разработанной модели, корректность принятых теоретических положений и возможность ее использования для прогнозирования вязкости расплавов в широком диапазоне температур.
		8.4 Важные утверждения подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу? 1) да.	Все основные научные положения и выводы диссертационной работы подтверждены ссылками на современные отечественные и зарубежные научные источники. Автором использованы фундаментальные и прикладные исследования в области физики жидкого состояния, металлургии, физико-химии расплавов, термодинамики, статистической физики, теории вязкости, а также работы, посвященные экспериментальному исследованию вязкости сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем. Использованные литературные источники являются актуальными и соответствуют современному уровню развития науки, что придает полученным результатам дополнительную научную обоснованность и достоверность.

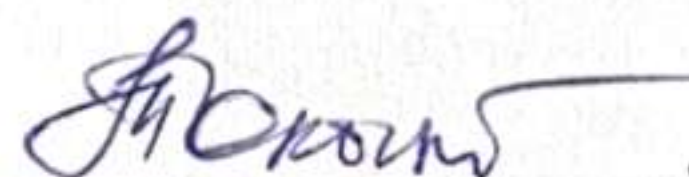
		8.5 Используемые источники литературы достаточны для литературного обзора? 1) достаточны.	Использованные литературные источники формируют достаточную научную основу для всестороннего анализа современного состояния исследуемой проблемы. Автором рассмотрены труды отечественных и зарубежных ученых, посвященные физике жидкого состояния, физико-химии расплавов, металлургии, термодинамике, статистической физике, теории вязкости, кластерным моделям жидкости, а также результаты экспериментальных исследований вязкости сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем. Широкий охват научных публикаций позволил объективно оценить существующие подходы, выявить их ограничения и обосновать необходимость дальнейшего развития кластерно-ассоциатной теории жидкого состояния. Все использованные литературные источники являются актуальными, непосредственно относятся к теме исследования и обеспечивают высокий уровень научной обоснованности диссертационной работы.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) да.	Диссертация имеет существенное теоретическое значение, поскольку в ней получило дальнейшее развитие кластерно-ассоциатное представление о жидком состоянии вещества применительно к вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов. Разработанная модель позволяет количественно описывать температурную зависимость вязкости на основе процессов образования и ассоциации кластеров, обосновывает взаимодополняемость кластерно-ассоциатной модели и уравнения Френкеля, а также обеспечивает определение энергетических характеристик вязкого течения. Полученные результаты имеют важное значение для дальнейшего развития теории жидкого состояния, исследования физико-химических свойств расплавов и совершенствования методов математического моделирования металлургических процессов.

10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое.	Автор диссертационной работы демонстрирует умение последовательно и аргументированно излагать научный материал, логично обосновывать выдвигаемые положения и формулировать научные выводы. Диссертация написана грамотным научным языком, содержит достаточное количество таблиц, рисунков, графиков и расчетных данных, обеспечивающих наглядность представленных результатов. Иллюстративный материал способствует лучшему восприятию разработанных теоретических положений, результатов математического моделирования и их сопоставления с экспериментальными данными, подтверждая достоверность сформулированных выводов. Высокий уровень академического изложения свидетельствует о глубоком понимании автором вопросов физики жидкого состояния, физико-химии расплавов, металлургии и методов математического моделирования.
11.	Замечания к диссертации		Вместе с тем представляется целесообразным в дальнейшем расширить экспериментальную проверку разработанной кластерно-ассоциатной модели на более широком круге многокомпонентных металлургических систем, что позволит дополнительно подтвердить универсальность предложенного подхода. Указанное замечание не снижает научной ценности диссертации и не влияет на ее общую положительную оценку.
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)		Научный уровень статей докторанта по теме исследования полностью соответствует теме диссертационной работы, а их содержание отражает проведенные теоретические и практические исследования. Количество публикаций и уровень научных публикаций соответствуют требованиям, предъявляемым к научным работам уровня доктора философии (PhD). Основные положения диссертации отражены в статьях, опубликованных в изданиях, входящих в базу данных Scopus: «Relationship between temperature dependence of viscosity of Cu-Sn alloys and phase diagram of state» // Non-Ferrous Metals (Russia), 2023. – Vol. 54, Issue 1. – P. 49-54., входящего в базу данных Scopus, процентиль - 41; «Cluster-associate viscosity model of tin chloride in comparison with the Frenkel model» // Heat Transfer (USA), 2024. – Vol. 53, Issue 2. – P. 495-511, входящего в базу данных Scopus, процентиль – 82. Также результаты опубликованы в шести статьях в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК, и в восьми публикациях в сборниках международных научно-практических конференций. По результатам исследования получено свидетельство о внесении

		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике? 1) да.	Практическая значимость диссертационной работы заключается в возможности использования разработанной кластерно-ассоциатной модели для расчета и прогнозирования вязкости расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем в широком диапазоне температур. Полученные результаты позволяют определять энергию активации и удельную энергию активации вязкого течения, использовать фазовые диаграммы и термодинамические характеристики для оценки вязкостных свойств расплавов, а также применять разработанные зависимости при математическом моделировании и оптимизации процессов плавки, литья и рафинирования. Полученные результаты обладают высоким потенциалом практического применения при разработке новых металлургических технологий, исследовании многокомпонентных расплавов и совершенствовании процессов получения металлических материалов.
		9.3 Предложение для практики является полностью новым? 1) полностью новые.	Предложенные подходы для практического применения, представленные в диссертации, отличаются научной новизной и прикладной направленностью. Разработанная кластерно-ассоциатная модель позволяет прогнозировать вязкость расплавов сложных неорганических веществ, металлических сплавов и шлаковых систем, определять энергию активации и удельную энергию активации вязкого течения, а также использовать фазовые диаграммы состояния и термодинамические характеристики для оценки вязкостных свойств расплавов. Практическая направленность работы особенно важна, поскольку предложенный подход может быть использован при математическом моделировании, проектировании и оптимизации процессов плавки, литья и рафинирования, а также при разработке новых металлургических технологий.

		сведений в Государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом, что подтверждает научную и практическую значимость работы
13.	Решение официального рецензента	Диссертационная работа Бекбаевой Ләззәт Ақылбайқызы на тему «Развитие кластерно-ассоциатной теории жидкости применительно к вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов», представленная на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07203 – «Металлургия», выполнена на высоком научном уровне и соответствует цели и задачам исследования. Диссертационная работа является завершенным самостоятельным научным исследованием, содержащим результаты, имеющие существенное значение для развития теории жидкого состояния, физико-химии расплавов и металлургической науки. Диссертационная работа соответствует требованиям Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Республики Казахстан, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD). На основании изложенного считаю, что диссертационная работа «Развитие кластерно-ассоциатной теории жидкости применительно к вязкости расплавов сложных неорганических веществ и металлических сплавов» отличается высоким научным уровнем, завершенностью исследования и обоснованностью полученных результатов, что позволяет рекомендовать соискателя Бекбаеву Ләззәт Ақылбайқызы к присуждению ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07203 – «Металлургия».

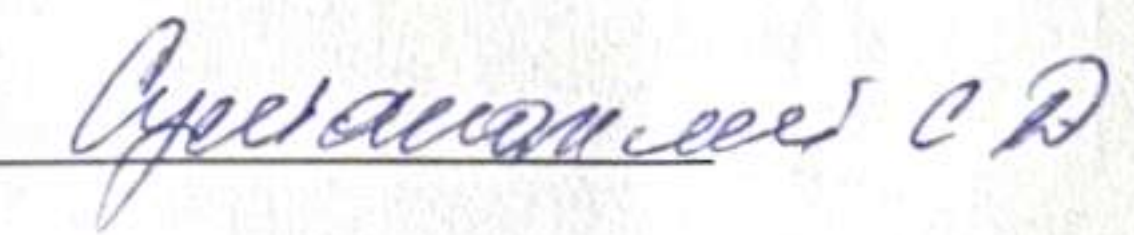
К.т.н., PhD, и.о. доцента кафедры «Химия»
 НАО «Евразийский национальный
 университет имени Л.Н. Гумилева»

 Л.Б. Толымбекова

Дата: « 07 » 08 2026 г.

М.П.

Подпись официального рецензента заверяю:

 ФИО

