

**ОТЗЫВ**  
**официального рецензента на диссертационную работу Сатбаевой Зарины Аскарбековны**  
**«Структурообразование в легированных сталях при электролитно-плазменном поверхностном упрочнении» на соискание**  
**степени доктора философии (PhD)**  
**по специальности 6D060400 – «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>Диссертация на тему «Структурообразование в легированных сталях при электролитно-плазменном поверхностном упрочнении» (дата утверждения: Протокол №2 от 25 октября 2018 года, дата корректировки: Протокол №3 от 28 октября 2021 года) на дату утверждения соответствуют приоритетному направлению развития науки «Энергетика и машиностроение».</p> <p>Диссертация Сатбаевой З.А. выполнена в рамках научно-исследовательского проекта по грантовому финансированию на 2018-2020 гг., договор №98 от 05.03.2018 г., по теме: AP05134936 «Разработка технологии электролитно-плазменной поверхностной закалки для повышения долговечности тяжело-нагруженных зубчатых колес», финансируемого Комитетом науки МНиВО РК.</p>
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта</u> /не раскрыта	Диссертационная работа вносит существенный вклад в науку в области материаловедения и физики конденсированного состояния. В работе разработан новый способ упрочнения легированных сталей,



			<p>который осуществляется в электролите на основе водного раствора карбоната натрия и карбамида путем локального плазменного воздействия на поверхность обрабатываемого материала при подачи напряжения между обрабатываемым материалов и жидким электролитным катодом 320В в течении 2 сек и охлаждения при отключении напряжения за счет теплоотвода вглубь материала и воздействия направленного потока электролита, находящийся в циркуляционном режиме. Впервые получены систематизированные экспериментальные данные о влиянии электролитно-плазменного поверхностного упрочнения на структуру, фазовый состав и трибологические свойства конструкционных легированных сталей 40ХН, 34ХН1М, 20Х2Н4А. Впервые установлены морфологические особенности тонкой структуры и количественные параметры дислокационной структуры легированной стали 34ХН1М до и после электролитно-плазменной поверхностного упрочнения.</p>
3.	Принцип самостоятельности	<p>Уровень самостоятельности:  1) <b>Высокий;</b>  2) Средний;  3) Низкий;  4) Самостоятельности нет.</p>	<p>В работе приведено большое количество экспериментальных и теоретических результатов, которые были получены при непосредственном и активном участии соискателя. Диссертант самостоятельно решал существенные и конкретные задачи, важные для успешной работы коллектива по реализации прикладных задач, а также лично представлял свои результаты в ряде международных конференций. Дополнительным показателем высокого уровня самостоятельности диссертанта, служат публикации в отечественных и зарубежных научных изданиях, где он является автором корреспондентом.</p>
4.	Принцип	4.1 Обоснование актуальности диссертации:	<p>В настоящее время для поверхностного</p>



внутреннего  
единства

- 1) **Обоснована;**
- 2) Частично обоснована;
- 3) Не обоснована.

термического упрочнения стальных изделий в промышленности широко применяют высокочастотную, газопламенную, плазменную, электроннолучевую и лазерную обработку. При этом из всех существующих способов упрочнения по своим технико-экономическим показателям находит широкое и эффективное применение плазменное поверхностное упрочнение. Одним из разновидностей плазменного поверхностного упрочнения является электролитно-плазменное упрочнение. Основной отличительной особенностью метода электролитно-плазменного упрочнения является меньшая стоимость, доступность технологического оборудования и расходных материалов, большие размеры упрочненной зоны и высокая скорость охлаждения по сравнению с традиционными методами плазменного поверхностного упрочнения. Сущность его заключается в термических фазовых и структурных превращениях, происходящих при быстром концентрированном нагреве рабочей поверхности детали плазменным воздействием с последующим быстрым охлаждением за счет теплоотвода вглубь материала и воздействия проточного электролита на нагретой поверхности материала. Образующиеся при этом структуры закалочного типа обладают высокой твердостью, износостойкостью и сопротивлением разрушению.

Анализ характеристик существующих способов и технологий модифицирования поверхности конструкционных сталей показывает, что задача разработки ресурсосберегающего способа поверхностного электролитно-плазменного упрочнения стальных деталей промышленного, инструментального и машиностроительного назначения с преимущественно



			<p>высоким сроком службы является современной и актуальной.</p> <p>Таким образом, актуальность работы <b>обоснована</b> во введении и первой главе диссертации, где представлен обзор современной научно-технической литературы, на основе которого выявлены и определены направления дальнейших исследований. В этой связи актуальность выполненной автором диссертационной работы не вызывает сомнений.</p>
		<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>Отражает;</b></li> <li>2) Частично отражает;</li> <li>3) Не отражает.</li> </ol>	<p>Приведенные в диссертации анализ современной научно-технической литературы, описание материалов и методов экспериментальных исследований, а также проведенный анализ экспериментальных данных полностью отражают тему диссертации.</p>
		<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>соответствуют;</b></li> <li>2) частично соответствуют;</li> <li>3) не соответствуют.</li> </ol>	<p>Цель и задачи полностью соответствуют теме диссертации и в полной мере раскрывают все аспекты исследования.</p>
		<p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>полностью взаимосвязаны;</b></li> <li>2) взаимосвязь частичная;</li> <li>3) взаимосвязь отсутствует.</li> </ol>	<p>Все разделы и научные положения в диссертационной работе логически взаимосвязаны, обладают единством идей, цели, задач и полученных результатов исследований.</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"> <li>1) <b>критический анализ есть;</b></li> <li>2) анализ частичный;</li> <li>3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов.</li> </ol>	<p>По каждой главе диссертации сделаны выводы, в которых содержится критический анализ и собственное мнение соискателя по рассматриваемым вопросам. Решения, принципы и методы, предложенные автором в данной работе аргументированы и подтверждены в соответствии с основными научными методами исследования.</p>



5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <p>1) <b>полностью новые;</b></p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Научные результаты и положения диссертационной работы являются новыми, что подтверждается успешным опубликованием 4 статей в рецензируемых зарубежных научных журналах, входящих в базы данных компаний Web of Science и Scopus, 3 статей в рецензируемых печатных изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНиВО РК.</p>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) <b>полностью новые;</b></p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Выводы диссертации основаны на всестороннем анализе полученных результатов исследований с привлечением результатов и выводов других авторов. При этом сформулированные в диссертации выводы касаются только собственных результатов исследований и являются полностью новыми.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p>1) <b>полностью новые;</b></p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Новизна и обоснованность технических и технологических решений подтверждается наличием патентов на полезную модель РК «Способ закалки стальных изделий» (полезная модель №4891 от 28.04.2020г.) и «Установка для плазменного поверхностного упрочнения деталей из стали и чугуна» (№5354 от 04.09.2020г.).</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>Все основные выводы, приведенные в заключении, сформулированы на основе экспериментальных исследований. Они не противоречат основным положениям физики твердого тела. Выводы полностью подтверждают положения диссертационной работы.</p>



7. Основные положения, выносимые на защиту

Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:

7.1 Доказано ли положение?

**1) доказано;**

2) скорее доказано;

3) скорее не доказано;

4) не доказано

7.2 Является ли тривиальным?

1) да;

**2) нет**

7.3 Является ли новым?

**1) да;**

2) нет

7.4 Уровень для применения:

1) узкий;

2) средний;

**3) широкий**

7.5 Доказано ли в статье?

**1) да;**

2) нет

Все три основных положения, вынесенных на защиту, доказаны экспериментально, с применением современных методов исследования.

Элементы тривиальности в диссертационной работе отсутствуют. Все найденные закономерности и особенности изученных процессов рассматривались не упрощенно, а с позиции современных знаний в области физики твердого тела и материаловедения.

Основные положения, выносимые на защиту, являются результатом детального анализа новых/оригинальных экспериментальных данных, полученных автором. Ранее подобные положения и результаты исследований по теме диссертации не были кем-либо описаны.

**Положение №1.** Разработанный способ электролитно-плазменного поверхностного упрочнения легированных сталей. Разработанный новый способ упрочнения легированных сталей, который осуществляется в электролите на основе водного раствора карбоната натрия и карбамида путем локального плазменного воздействия на поверхность обрабатываемого материала при подачи напряжения между обрабатываемым материалов и жидким электролитным катодом 320В в течении 2 секунд и быстрого охлаждения при отключении напряжения за счет теплоотвода вглубь материала и воздействия направленного потока электролита на нагретую поверхность, позволяет получить модифицированный поверхностный слой толщиной ~0,5-1,5 мм состоящий из  $\alpha'$ -фазы,  $\gamma$ -фазы и карбида  $M_3C$ .

Первое положение **доказано**, положение **не является тривиальным**, является **новым** и имеет **широкий уровень применения** для повышения срока



службы стальных деталей.

Первое положение **доказано** в статьях и полученных патентами:

1. Rakhadilov B.K., **Satbayeva Z.**, Bayatanova L.B., Kilyshkanov M.K., Kalibayev K.A., Kochneva A.K. Influence of Electrolyte-Plasma Surface Hardening on the Structure And Properties of Steel 40HN / Journal of Physics: Conference Series. – V. 1393 (2019) 012119 (процентиль по CiteScore – 17);

2. Rakhadilov B., **Satbayeva Z.**, Baizhan D. Effect of electrolytic-plasma surface strengthening on the structure and properties of steel 40KhN, METAL-2019. – p. 950-955.

3. Рахадиллов Б.К., Степанова О.А., Сагдолдина Ж.Б., **Сатбаева З.А.** Патент на полезную модель «Способ закалки стальных изделий», №4891 от 28.04.2020г.;

4. Рахадиллов Б.К., Сагдолдина Ж.Б., **Сатбаева З.А.** Патент на полезную модель «Установка для плазменного поверхностного упрочнения деталей из стали и чугуна», №5354 от 04.09.2020г.

**Положение №2.** Модифицирование микроструктуры и свойств легированных сталей при электролитно-плазменном поверхностном упрочнении. После электролитно-плазменной поверхностной закалки в зависимости от степени легированности сталей твердость в среднем у хромоникелевых и хромоникельмолибденовых сталей увеличивается в 1,5-2 и ~3 раза, а также параметр износостойкости имеет определенную зависимость от содержания углерода в сталях, так значения износостойкости сталей марки 40ХН, 34ХН1М и 20Х2Н4А увеличились в 10 раз, ~6 раз и 3,5 раза соответственно, по сравнению с исходными образцами.



Второе положение **доказано**, положение **не является тривиальными**, является **новым** и имеет **широкий уровень применения** для совершенствования технологии получения износостойких покрытий на основе МАХ-фаз.

Второе положение **доказано** в статьях:

1. B. Rakhadilov, V. Buranich, **Z. Satbayeva**, Zh. Sagdoldina, R. Kozhanova, and A. Pogrebnyak The cathodic plasma electrolysis hardening of the chromium-nickel steel // Journal of Materials Research and Technology. - V. 9(4). – 2020. - P. 6969-6976 (*процентиль по CiteScore – 68, квартиль по данным Journal Citation Reports – 1, IF = 5.289*);

2. **Z.A. Satbayeva**, B.K. Rakhadilov, Zh.B. Sagdoldina, M.K. Kylyshkanov, D.R. Bayzhan Change in the structure and properties of structural chromium-nickel steels after electrolyte-plasma hardening // News of national academy of science of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 4(448), 2021, С. 76-82;

3. Rakhadilov B.K., **Satbayeva Z.A.**, Kozhanova R.S, Baizhan D.R., Rakhadilov M.K., Botabayeva G.B. Influence of electrolytic-plasma hardening modes on structure and hardness of 0.34Cr-1Ni-Mo-Fe steel // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials, 4(4), 2020, P. 327-335;

4. **Сатбаева З.А.**, Байжан Д.Р., Кенесбеков А.Б. «Особенности структурообразования в стали 40ХН при электролитно-плазменном поверхностном упрочнении». 11-ый Международный симпозиум "Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы, сварка». – 2019. – С. 76-86.

**Положение №3.** Морфологические особенности и



количественные параметры дислокационной структуры стали 34ХН1М до и после электролитно-плазменного поверхностного упрочнения. ЭППУ стали 34ХН1М способствует образованию тонкой структуры, состоящей из пакетного и пластинчатого мартенсита с объемными долями 60% и 40%, остаточного аустенита, цементита и сложного карбида  $M_{23}C_6$ , формирование которых, способствует повышению внутреннего напряжения сдвига от 295 МПа до 370 МПа и тем самым приводит к упрочнению поверхности материала за счет повышения скалярной плотности дислокации от  $2,20 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  до  $\rho = 3,47 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  и ее высокого значения по сравнению с избыточной плотностью дислокации, которая составляет  $\rho_{\pm} = 1,97 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  в модифицированном слое.

Третье положение **доказано**, положение **не является тривиальными**, является **новым** и имеет **широкий уровень применения** для совершенствования технологии получения износостойких покрытий на основе МАХ-фаз.

Третье положение **доказано** в статьях:

1. В. Rakhadilov, **Z. Satbayeva**, L. Zhurerova, Sh. Ramankulov, Zh. Sagdoldina Change of 0.34Cr-1Ni-Mo-Fe steel dislocation structure in electrolyte-plasma hardening // *Materials* 14(8), 2021, 1928 (*процентиль по CiteScore – 67, квартиль по данным Journal Citation Reports – 2, IF = 3.623*);

В. Rakhadilov, **Z. Satbayeva**, М. Kylyshkanov, L. Zhurerova, Zh. Sagdoldina, А. Kiykabaeva Investigation of structural mechanical and tribological properties of plasma electrolytic hardening chromium-nickel steel // *Lubricants* (*процентиль по CiteScore – 61, квартиль по данным Journal Citation Reports – 2, IF = 3.584*).



8.	Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана <b>1) да;</b> 2) нет.	При проведении исследований было обоснованно использовано лабораторное оборудование, позволяющее получать достоверные результаты, описанные во втором разделе диссертации.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: <b>1) да;</b> 2) нет.	Результаты диссертационной работы получены посредством современных методов и методик. Для изучения структурно-фазовых состояний сталей до и после упрочнения применялись следующие методы экспериментального исследования: рентгеноструктурный анализ, сканирующая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, профилометрия. Механические характеристики покрытий определялись путем измерения микротвердости. Трибологические свойства покрытий определялись измерением коэффициента трения и износа трущихся поверхностей по схеме «шар-диск», а также испытаниями на абразивное изнашивание.
		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) да; 2) нет	Полученные в ходе выполнения диссертационной работы выводы доказаны и основаны на оригинальных, полученных в рамках выполнения НИР экспериментальных данных.
		8.4 Важные утверждения <b>подтверждены</b> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	Важные утверждения подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.
		8.5 Использованные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора	Использованные источники литературы весьма достаточны и обширны для литературного обзора. В диссертации приведено 183 литературных источника.

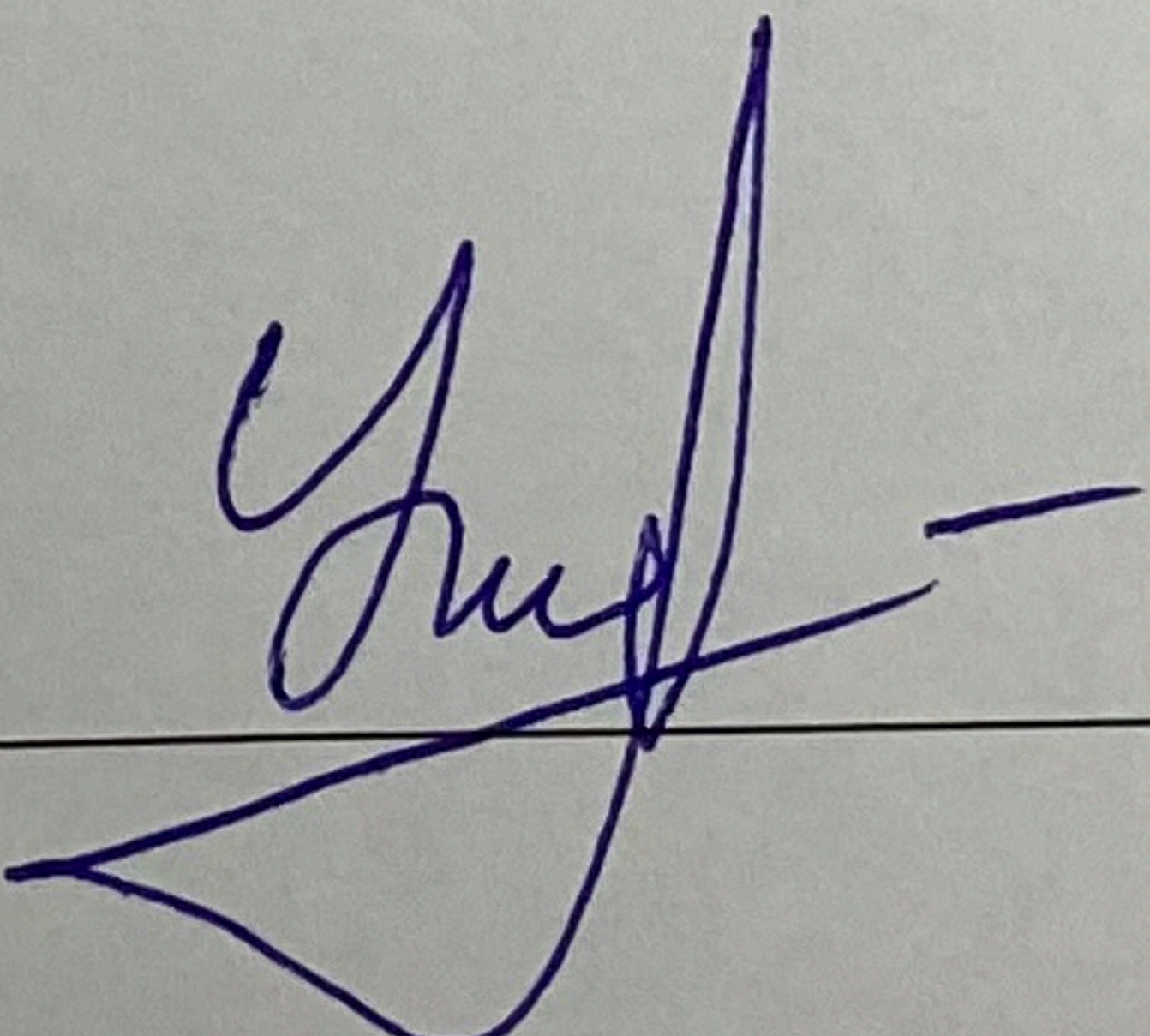


9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: <b>1) да;</b> 2) нет	Данные, полученные при реализации НИР в рамках диссертационной работы, могут быть использованы при объяснении процессов, происходящих при формировании модифицированного поверхностного слоя на конструкционных легированных сталях с улучшенными физико-механическими, трибокоррозионными свойствами.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: <b>1) да;</b> 2) нет	Диссертационная работа имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике для повышения срока службы стальных деталей, в частности зубчатых колес, работающих в условиях износа и трения.
		9.3 Предложения для практики являются новыми? <b>1) полностью новые;</b> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Степень новизны практических рекомендаций и предложений достаточно высокая. Предложения для практики являются полностью новыми.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: <b>1) высокое;</b> 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Качество академического письма высокое, работа изложена достаточно ясным научно-теоретическим текстом.

Диссертационная работа, выполненная на тему «Структурообразование в легированных сталях при электролитно-плазменном поверхностном упрочнении», представляет собой законченную исследовательскую работу, имеющую экспериментальный характер. Считаю, что работа по содержанию и оформлению соответствует всем требованиям, предъявляемым Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНиВО РК к диссертациям, а ее автор Сатбаева Зарина Аскарбековна заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по направлению подготовки кадров специальности 6D060400 – «Физика».

Официальный рецензент:

Доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры физики школы естественных, социальных и гуманитарных наук, директор лаборатории перспективных исследований материалов и лазерных технологий Назарбаев Университета



Ж.Н. Утегулов



« 3 » ноября 2022 г.

Подпись Утегулова Жандоса Нурпеисовича удостоверяю  
Старший HR менеджер Школы Естественных, Социальных и Гуманитарных Наук  
Назарбаева Университета



Ш.М. Карабалиева