

Письменный отзыв официального рецензента
на диссертационную работу Даутбекова Мерхата Курметовича, выполненную на тему:
«Повышение коррозионной стойкости поверхностей нагрева котлов за счет нанесения покрытий на основе Cr₃C₂-NiCr» на
соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07103 – «Теплоэнергетика»»

№ 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: 1) <u>Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы).</u> 2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы). 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно – технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	Диссертационная работа является результатом научных изысканий, проведенных в рамках грантовых проектов Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК: AP09261164 (2021–2023 гг.) по повышению коррозионной стойкости элементов котлов и проекта «Жас ғалым» AP22683418 (2024–2026 гг.), направленного на продление срока службы деталей энергетического оборудования
2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта	Результаты диссертационного исследования расширяют фундаментальные знания в области теплоэнергетики и инженерии поверхностей, способствуя развитию научных подходов к управлению структурой и свойствами защитных слоёв. В диссертации установлены значимые закономерности фазовых переходов и структурных превращений в покрытиях системы Cr₃C₂-NiCr в зависимости от технологических режимов детонационного напыления, что позволяет целенаправленно управлять их жаростойкостью и износостойкостью. Полученные результаты имеют важное значение для развития научных основ защиты металлов от высокотемпературной коррозии и эрозии в агрессивных средах. Разработанная математическая модель теплофизического состояния многослойных труб и установленные зависимости интенсивности отказов от характеристик покрытий создают

		теоретическую базу для дальнейшего проектирования элементов энергетических котлов с повышенным эксплуатационным ресурсом и надёжностью.
3.	Принцип самостоятельности	Автором выполнен основной объём экспериментальных и аналитических исследований, включая разработку технологии формирования градиентных покрытий Cr₃C₂-NiCr, подготовку образцов, проведение структурных, фазовых, механических и трибологических исследований, а также обработку и интерпретацию результатов. Совместно с научными консультантами были определены цели и задачи работы, при этом анализ данных и формулировка научных положений выполнены докторантом лично. Соискателем проведено математическое моделирование теплофизического состояния труб, выполнены натурные исследования на действующем энергетическом оборудовании и выявлены наиболее подверженные износу зоны котла. Проведённые испытания подтвердили эффективность защитных покрытий в условиях высокотемпературной эксплуатации. Достоверность результатов обеспечивается использованием современных методов исследования, воспроизводимостью экспериментов, статистической обработкой данных и публикацией результатов в рецензируемых международных изданиях. Полученные результаты имеют как научную, так и практическую значимость для повышения надёжности и ресурса энергетического оборудования. Уровень самостоятельности: 1) Высокий; 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет
4.	Принцип внутреннего единства	Актуальность диссертационного исследования определяется необходимостью повышения долговечности и эксплуатационной надёжности труб пароперегревателей энергетических котлов, функционирующих в условиях интенсивного высокотемпературного коррозионного и эрозийного воздействия. Работа направлена на выявление закономерностей деградации металла в зависимости от условий эксплуатации и оценку эффективности защитных покрытий Cr₃C₂-NiCr. Полученные результаты расширяют научные представления о процессах разрушения поверхностей нагрева и служат основой для прогнозирования остаточного ресурса труб, а также 'разработки технических решений, направленных на повышение надёжности, безопасности и экономической эффективности работы энергетического оборудования. 4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) Обоснована; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована. 4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) Отражает;

	2) Частично отражает; 3) Не отражает	механизмов высокотемпературной коррозии труб поверхностей нагрева энергетических котлов, исследования свойств защитных покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ и оценки их влияния на эксплуатационную надёжность оборудования. Структура диссертации отличается логичностью и обеспечивает взаимосвязанное представление теоретических аспектов, экспериментальных результатов и разработанных математических моделей, предназначенных для прогнозирования ресурса труб в условиях длительной эксплуатации.
	4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) <u>соответствуют</u>; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют	Цель диссертационной работы заключается в повышении коррозионной стойкости, эксплуатационной надёжности и срока службы труб поверхностей нагрева энергетических котлов посредством применения защитных покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ и разработки научно обоснованных моделей прогнозирования их остаточного ресурса. Поставленные в работе задачи логически вытекают из цели исследования и полностью соответствуют тематике диссертации. Их последовательное решение позволило получить новые результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью, которые легли в основу основных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы.
	4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны</u>; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует	Все разделы диссертационной работы логически взаимосвязаны и последовательно раскрывают основные аспекты исследуемой проблемы. Структура исследования обеспечивает поэтапное изложение теоретических положений, методов и методик исследования, результатов экспериментальных работ, а также их научной интерпретации. Анализ полученных данных выполнен на основе современных научных подходов с использованием критической оценки результатов и их сопоставления с данными отечественных и зарубежных исследований, что способствует обоснованности сформулированных выводов и научных положений.
	4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть</u>; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует.	Основные выводы диссертационной работы отличаются обоснованностью и базируются на результатах комплексных теоретических и экспериментальных исследований. При обработке и интерпретации полученных данных соискателем использовались методы сравнительного и критического анализа, что позволило обеспечить достоверность результатов, выявить основные закономерности исследуемых процессов и сформулировать научно обоснованные выводы, соответствующие поставленным цели и задачам исследования.

5.	Принцип новизны научной	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Основные положения, выносимые на защиту, являются научно обоснованными и подтверждаются результатами экспериментальных исследований, натурных испытаний, математического моделирования и расчётов. Представленные результаты обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, направленной на повышение надёжности и продление срока службы поверхностей нагрева энергетических котлов. 1. Установлены закономерности высокотемпературной коррозии и износа труб ширмового и потолочного пароперегревателей в зависимости от температурных режимов, состава агрессивной среды и эксплуатационных факторов, что позволило определить наиболее подверженные деградации участки оборудования. 2. Подтверждена эффективность защитных покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$, обеспечивающих формирование устойчивого барьерного слоя, снижающего интенсивность коррозионных процессов и замедляющего окисление поверхности труб в условиях высокотемпературной эксплуатации. 3. Разработана математическая модель прогнозирования коррозионного износа и остаточного ресурса труб поверхностей нагрева, учитывающая влияние температурных нагрузок, кинетики деградации материала и защитного действия покрытия на скорость разрушения металла. 4. Определены рациональные параметры применения покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$, обеспечивающие повышение коррозионной стойкости, снижение скорости износа и увеличение эксплуатационного ресурса труб энергетических котлов.
5.2 Выводы диссертации являются новыми?		1) полностью новые; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%);</u> 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Основные выводы диссертационной работы базируются на результатах комплексных экспериментальных исследований, выполненных в соответствии с поставленными целью и задачами. Интерпретация полученных данных осуществлялась на основе их всестороннего анализа, сопоставления экспериментальных результатов с литературными источниками и оценки выявленных закономерностей. Ключевые результаты исследования являются научно обоснованными, достоверными и подтверждены совокупностью экспериментальных, расчётных и аналитических методов, что обеспечивает высокую степень аргументированности сформулированных выводов.
5.3	Технические, технологические,		Предложенные в диссертационной работе технические решения по

	экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) полностью новые; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%);</u> 3) не новые (новыми являются менее 25%)	повышению долговечности труб поверхностей нагрева энергетических котлов основаны на результатах экспериментальных исследований, включающих оценку коррозионной стойкости, механических свойств и эксплуатационных характеристик покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$, а также на данных математического моделирования процессов деградации металла. Полученные результаты согласуются с данными отечественных и зарубежных исследований и подтверждают эффективность применения разработанных покрытий для повышения надёжности, увеличения ресурса и снижения эксплуатационных затрат энергетического оборудования.
6.	Обоснованность основных выводов	При анализе результатов исследований соискателем применялся комплексный подход, основанный на обработке и интерпретации экспериментальных данных, полученных в ходе металлографических, коррозионных и механических испытаний, а также на их сопоставлении с результатами математического моделирования и данными научной литературы. Сформулированные выводы отличаются логической последовательностью, научной обоснованностью и подтверждаются совокупностью проведённых исследований. Выявленные закономерности деградации металла труб поверхностей нагрева и установленное влияние защитных покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ на их эксплуатационные характеристики подтверждают научную новизну и практическую значимость выполненной диссертационной работы.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	7.1 Доказано ли положение? Положение 1: доказано. Положение 2: доказано. Положение 3: доказано. Все положения, выносимые на защиту, доказаны экспериментально и могут быть повторены в случае необходимости другими исследователями. 7.2 Является ли тривиальным? Положение 1: нет. Положение 2: нет. Положение 3: нет. Все положения, выносимые на защиту, не являются тривиальными, поскольку основаны на комплексном исследовании процессов высокотемпературной коррозии и экспериментальном обосновании эффективности защитных покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ в условиях эксплуатации

	1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	энергетического оборудования. 7.3 Является ли новым? Положение 1: да. Положение 2: да. Положение 3: да. Все положения, выносимые на защиту, являются новыми и ранее не представленными в работах. Основные положения и выводы основаны на результатах экспериментальных работ. 7.4 Уровень для применения: Положение 1: широкий. Положение 2: широкий. Положение 3: широкий. Результаты исследования имеют широкий уровень применения и могут быть использованы на тепловых электростанциях, промышленных котельных установках, а также в организациях, занимающихся проектированием, эксплуатацией и ремонтом энергетического оборудования. Предложенные технические решения направлены на повышение надежности, долговечности и экономической эффективности работы котельных агрегатов. 7.5 Доказано ли в статье: Основные положения, выносимые на защиту доказаны, результаты лежащие в основе данных положений опубликованы в научных статьях и тезисах международных конференций.
Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) <u>да</u>; 2) нет	В диссертационной работе подробно представлена методология экспериментальных исследований, включающая подготовку образцов из стали 12Х1МФ и образцов с защитным покрытием Cr₃C₂-NiCr, проведение коррозионных, механических и металлографических испытаний, а также методы обработки и анализа полученных данных. Описаны используемое оборудование, режимы нанесения покрытий и параметры испытаний, что свидетельствует о системном и последовательном подходе к организации экспериментальной части исследования. Выбранные методы исследования являются научно обоснованными и

		полностью соответствуют цели и задачам диссертационной работы. Комплексное применение экспериментальных методов, математического моделирования и анализа эксплуатационных данных позволило всесторонне изучить процессы высокотемпературной деградации труб поверхностей нагрева, оценить эффективность защитных покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ и получить достоверные результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью для энергетической отрасли. Реализация целей и задач диссертационного исследования осуществлялась с использованием современных методов анализа, включая растровую электронную микроскопию, энергодисперсионный анализ, рентгенофазовый анализ, металлографические исследования, коррозионные испытания и математическое моделирование. Комплекс применённых методов позволил исследовать структуру и свойства покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$, оценить закономерности высокотемпературной коррозии труб поверхностей нагрева и определить эффективность защитных покрытий в повышении их долговечности и надёжности. Основные выводы диссертационной работы базируются на результатах экспериментальных исследований, выполненных с использованием общепринятых и современных методов научного исследования. Выявленные закономерности высокотемпературной деградации металла труб поверхностей нагрева и установленное влияние покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ на повышение коррозионной стойкости и эксплуатационной надёжности согласуются с существующими теоретическими представлениями и данными научной литературы. Это подтверждает достоверность полученных результатов, обоснованность сформулированных выводов, а также их научную новизну и практическую значимость для повышения ресурса энергетического оборудования. Интерпретация результатов исследования выполнена на основе комплексного подхода, включающего анализ экспериментальных данных, выявление основных закономерностей и их сопоставление с результатами отечественных и зарубежных научных исследований. Проведённый сравнительный анализ позволил объективно оценить степень научной новизны и практической значимости полученных результатов, а также подтвердить эффективность применения защитных покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ для повышения коррозионной стойкости, эксплуатационной надёжности и долговечности труб поверхностей нагрева энергетических котлов.
	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	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
	8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> / частично подтверждены / не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу	

		8.5 Использованные источники литературы <u>достаточно</u> /не достаточно для литературного обзора	Все используемые литературные источники являются научными статьями или главами в монографиях, освещающих результаты проведенных исследований. Количество и качество используемых источников литературы достаточно для описания проблематики исследований и обзора.
		9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u> ; 2) нет	Полученные результаты проведенных исследований, а также их интерпретация способствовали углублению теоретических представлений о механизмах высокотемпературной газовой и электрохимической коррозии, протекающих на поверхности котельной стали 12Х1МФ с нанесенными детонационными покрытиями Cr₃C₂-NiCr. Установленные закономерности позволили описать кинетику окисления и коррозионной деградации, а также определить определяющую роль фазового состава и градиентного строения в сдерживании процессов разрушения защитных слоев в условиях воздействия температур до 970°C и агрессивных сред радиационно-конвективных участков котла. Полученные результаты расширяют научные представления о закономерностях изменения свойств композиционных металлокерамических покрытий и являются значимым дополнением к методам оптимизации характеристик поверхностей нагрева ТЭС с целью существенного повышения их жаростойкости, эксплуатационной надежности и долговечности
Принцип практической ценности		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u> ; 2) нет	В работе научно обоснована и экспериментально подтверждена технология получения градиентных слоев системы Cr₃C₂-NiCr за счет варьирования объема заполнения детонационного ствола в диапазоне 57–73%. Способ получения таких износостойких покрытий защищен патентом Республики Казахстан № 36690. В ходе исследования был разработан метод и лабораторный стенд (на базе стандартов ASTM G76-04 и ASTM G211-14), позволяющий имитировать агрессивные условия (температура до 900 °С, эрозийные частицы Al₂O₃, солевой туман Na₂SO₄), максимально приближенные к работе радиационно-конвективных участков котла. В диссертации приведены результаты длительных испытаний образцов из стали 12Х1МФ в действующем котле БКЗ-320-140-2 при температуре порядка 970 °С. Экспериментально доказано, что защитное покрытие блокирует диффузию кислорода и агрессивных сред, благодаря чему прочностные характеристики стали после эксплуатации оказались выше, чем у незащищенных образцов: условный предел текучести выше на 1,9 %, а предел прочности - на 2,1 %. Результаты работы с сентября 2024 года

		внедрены в учебный процесс Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева для подготовки специалистов по программе «Теплоэнергетика»	Исследованные закономерности создают теоретическую и технологическую базу для повышения долговечности поверхностей нагрева ТЭС, позволяя эффективно противостоять совокупному воздействию коррозии и эрозии в экстремальных условиях
10.	Качество написания и оформления	9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%) Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Текст диссертационной работы изложен в соответствии с требованиями научного стиля, отличается логичностью построения, последовательностью изложения материала и аргументированностью представленных положений. Основные выводы и результаты исследования сформулированы корректно, являются обоснованными и базируются на результатах проведённых теоретических, расчётных и экспериментальных исследований. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание степени доктора философии (PhD), а её содержание свидетельствует о высоком уровне владения соискателем современными методами и методологией научного исследования.
11.	Замечания диссертации	к	При всестороннем анализе представленной на рецензирование диссертационной работы Даутбекова Мерхата Курметовича у рецензента возник ряд вопросов уточняющего характера, связанных с необходимостью дополнительного раскрытия отдельных аспектов исследования. Указанные вопросы могут быть разьяснены соискателем в ходе защиты диссертации и не требуют внесения изменений в её содержание. 1. При разработке математической модели прогнозирования остаточного ресурса труб учитывались температурные нагрузки и скорость коррозионного износа. Рассматривалась ли возможность включения в модель дополнительных факторов, таких как циклические тепловые нагрузки, изменение состава продуктов сгорания топлива или неравномерность распределения температур по поверхности труб? 2. Исследования выполнены на трубах ширмового и потолочного пароперегревателей котла БКЗ-320-140-2. Насколько полученные результаты могут быть распространены на другие типы энергетических котлов, отличающиеся параметрами пара, температурным режимом и видом используемого топлива? 3. В работе обоснована эффективность покрытия $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$. Рассматривались ли альтернативные композиционные покрытия или многослойные системы защиты, и каковы перспективы их применения по сравнению с исследованным покрытием с точки зрения эксплуатационных характеристик и экономической эффективности?
12.	Научный уровень статей докторанта по		Основные результаты диссертационного исследования прошли необходимую апробацию и опубликованы в научных изданиях различного уровня. По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, включая 2 статьи в международных

	теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, а также 5 статей в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Кроме того, результаты исследования представлены в 4 публикациях материалов международных научных конференций. По результатам выполненных исследований получен патент Республики Казахстан на изобретение. Все опубликованные работы непосредственно связаны с тематикой диссертации, отражают её основные научные положения и подтверждают достоверность и практическую значимость полученных результатов.
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	В заключение следует отметить, что представленная работа Даутбекова Мерхата Курметовича на соискание степени доктора философии (PhD) является завершённым научным исследованием, обладающим научной новизной, теоретической и практической значимостью. В работе получены новые результаты в области исследования процессов высокотемпературной коррозии труб поверхностей нагрева энергетических котлов, обоснована эффективность применения защитных покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ и разработаны математические модели прогнозирования остаточного ресурса элементов котельного оборудования. Полученные результаты имеют важное практическое значение для повышения надёжности, долговечности и экономической эффективности эксплуатации энергетического оборудования, а также могут быть использованы при проектировании, модернизации и ремонте котельных агрегатов тепловых электростанций и промышленных энергетических установок. Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD), а её автор продемонстрировал высокий уровень подготовки, владение современными методами научных исследований и способность самостоятельно решать актуальные научно-технические задачи. На основании изложенного считаю, что Даутбеков Мерхат Курметович заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07103 – «Теплоэнергетика».

Официальный рецензент:
PhD, доцент, Директор института энергетики,
НАО «Казахский агротехнический
исследовательский университет имени
С.Сейфуллина» (г. Астана, Республика Казахстан)



А.К. Мергалимова

