

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.111.03, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова», Министерства науки и высшего
образования Российской Федерации
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 5 сентября 2022 г., № 4

О присуждении Редникову Сергею Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Развитие методологии диагностирования и разработка технических решений для повышения эффективности эксплуатации металлургических машин» по специальности 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (металлургия) принята к защите 21.04.2022 г. (протокол заседания № 3) диссертационным советом Д 212.111.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 717/нк от 09.11.2012г.

Соискатель Редников Сергей Николаевич, 12.11.1972 года рождения, диссертацию на соискание учёной степени, кандидата технических наук «Совершенствование теплогидравлических процессов в каналах насадок доменных воздухонагревателей» защитил в 1998 году по специальности 05.16.02 - металлургия черных металлов в диссертационном совете Д-053.13.04 Южно-Уральского государственного университета.

Редников С.Н. работает доцентом кафедры «Гидравлика, гидрология и управление водными ресурсами» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева», г. Москва.

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» на кафедре «Машины и технологии обработки давлением и машиностроения».

Научный консультант – доктор технических наук Закиров Дильфат Минияхметович.

Официальные оппоненты:

1. Артюх Виктор Геннадиевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», профессор Высшей школы «Механика и процессы управления», г. Санкт-Петербург;

2. Горбатюк Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», кафедра «Инжиниринг технологического оборудования», г. Москва;

3. Столбов Валерий Юрьевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», заведующий кафедрой «Вычислительная математика, механика и биомеханика (ВММБ)» г. Пермь, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула, в своем положительном отзыве, подписанном Воротилиным Михаилом Сергеевичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» и Анцевым Александром Витальевичем, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Сварка, литье и технология конструкционных материалов» указала, что диссертация Редникова Сергея Николаевича на тему «Развитие методологии диагностирования и разработка технических решений для повышения эффективности эксплуатации металлургических машин» выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям, установленным в п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842).

Диссертация Редникова С.Н. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований решена актуальная научная проблема, заключающаяся в развитии научных основ методологии первичного диагностирования и оценке технического состояния основного и вспомогательного оборудования металлургических предприятий, имеющая важное хозяйственное значение, что соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней». Автор диссертации, Редников Сергей Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (металлургия).

Соискатель имеет 52 публикации по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях – 26, 6 – в изданиях, индексируемых в Scopus, 2 монографии. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах. К наиболее значимым публикациям относятся:

1. Редников, С.Н. Использование комплексного подхода при первичной диагностике металлургического оборудования / С.Н. Редников // Наука и бизнес: пути развития. - 2022. - №2(128). - С. 55-58.

2. Редников, С.Н. Роль первичного диагностирования металлургических агрегатов в обеспечении эффективной эксплуатации на производстве / С.Н.

Редников // Современные наукоемкие технологии- 2021. - № 10. - С. 83-87.

3. Редников, С.Н. Анализ использования тепловизионных методов диагностики металлургического оборудования / С.Н. Редников, Д.М. Закиров, С.И. Платов, Н.Н. Огарков // Перспективы науки. - 2018. №11(110). - С. 14-18.

4. Rednikov, S. Integrated Diagnostic Method Analysis of Use in the Inspection of Rolling Mills / S. Rednikov, E. Akhmedyanova, K. Akhmedyanova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2020. 969(1). 012077

5. Rednikov, S. Effective diagnostics of metallurgical equipment / S. Rednikov, E. Akhmedyanova, K. Akhmedyanova, D. Toymurzin // Proceedings - 2020 Global Smart Industry Conference, GloSIC 2020. - 2020. - P. 151-156. 9267858

Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Авторский вклад соискателя объемом 5,6 п.л. в опубликованные работы общим объемом 12,7 п.л.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все отзывы положительные):

1. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет», г. Омск, д.т.н. Кузнецова В.Н.;

2. ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, д.т.н. Сидельников С.Б.;

3. АО НПО «БелМаг», г. Магнитогорск, д.т.н. Гун И.Г.;

4. ООО «СИБУР» г. Москва, руководитель учебно-методологического направления Э.В. Гладков;

5. ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, к.т.н. Столяров А.Ю.;

6. ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск, д.т.н. Щерба В.Е.;

7. ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, д.т.н. Дудкин М.М.;

8. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г.

Новокузнецк, д.т.н. Никитин А.Г.;

9. ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, д.т.н. Мазур И.П.;

10. ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого», г. Тула, д.т.н. Лукиенко Л.В.;

11. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС», г. Москва, д.т.н. Зиновьев А.В.;

12. ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», г. Москва, д.т.н. Лавриненко В.Ю.;

13. ООО «НПО ГАКС-АРМСЕРВИС», г. Пенза, д.т.н. Сейнов С.В.;

14. Конструкторское бюро «Арматура» филиал АО «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева», г. Ковров, д.т.н. Халатов Е.М.

В отзывах на диссертацию и автореферат содержатся следующие замечания:

- На наш взгляд для моделирования поведения жидких рабочих сред комплекс, опирающийся на вязкопластические модели, не совсем подходит для решения задач с учётом химически превращений.

- Требуется пояснения, что автор вкладывает в понятие эффективность диагностирования.

- Насколько можно судить по реферату, работа не содержит оценки возможных перспектив проведённых автором исследований в автоматизированные системы управления производством продукции.

- В автореферате отсутствует оценка взаимного влияния предлагаемых методик, интегрированных в процесс первичного диагностирования агрегатов.

- В автореферате на стр.13 в формуле №1 отсутствует описание параметра «S».

- Из текста автореферата не ясно, каким образом при проведении комплексной диагностики оценивается остаточный ресурс при наличии разных расчётных значений, полученных по результатам применения различных методов.

- В системе уравнений теплопроводности использованы значения теплопроводности, теплоёмкости и т.д., из текста автореферата, не ясно принимались ли эти значения постоянными при проведении расчёта, или производилась коррекция?

- Как соискатель оценивает практическую трудоемкость реализации схемы первичной диагностики (рис. 2 автореферата) в производственных условиях?

- Соискатель предлагает для оценки состояния диагностируемого объекта использовать метод распределения тепловых полей, излучаемых объектом. А как при этом соискатель учитывает взаимное влияние тепловых полей от рядом расположенных высоконагретых металлургических машин?

- В автореферате не приведены технологические режимы оборудования, при которых проводились промышленные эксперименты, по оценке остаточного ресурса.

- В автореферате отсутствует информация о полученных значениях разнотвёрдости покрытия кристаллизатора (стр. 27).

- При изложении модели оценки поведения рабочих сред в элементах оборудования указано, что было проведено моделирование на суперкомпьютере, однако результаты не приведены.

- Из текста автореферата не ясно, на сколько повышается точность расчетных параметров при использовании модифицированной модели по сравнению с существующими программными средствами.

- Осталось неясным, какие допущения приняты автором при математическом моделировании состояния рабочих сред в зазорах высоконагруженных систем металлургического оборудования.

- Не указаны направления и перспективы дальнейших исследований по теме диссертации.

- Автор серьезное внимание уделяет, при оценке состояния металлургических машин и агрегатов, влиянию изменения характеристик пар трения, параметров рабочих сред и смазочных материалов, но не указывает каковы параметры этих

сред и материалов, каковы условия работы пар трения, т.е. какова область предпочтительного использования полученных результатов. Что понимается нагружением высокой интенсивностью.

- При описании предлагаемой методики оценки состояния элементов с использованием анализа объемного распределения полей температуры желательно было бы указать, с какой точностью удастся контролировать температуру в этой зоне, сравнить с имеющимися данными.

- Целесообразно было бы более подробно указать технико-экономическую эффективность предложенных технических решений и методик. В частности, раскрыть достигнутый экономический эффект в размере 20873 тыс. руб.

- Не совсем понятно, какое отношение к теме диссертационной работы, связанной с диагностированием тяжелонагруженных узлов металлургических машин (прокатных станов, прессов и т.п.) имеют исследования по усовершенствованию конструкции тупиковой горелки ванн горячего цинкования.

- На рис. 13 автореферата значения скоростей рабочей среды тупиковой горелки не читаются, кроме того в автореферате нет описания их влияния на оптимальные геометрические параметры процесса.

- В тексте автореферата указано, что для моделирования исследуемых процессов выбраны различные современные программные комплексы, например, на стр. 21, Ansys, COSMOS Flo Works, однако не оговорены условия их применения для выполненных расчетов, а результаты их использования (см. рис. 7) не читаемы.

- На странице 13 автореферата, в описании системы дифференциальных уравнений не ясно, принимались ли теплопроводность, теплоёмкость как константы или использовалась их коррекция на температуру, поскольку это значительно сказывается на точности модели.

- Из текста автореферата не ясно, какими численными методами решались системы дифференциальных уравнений разработанных математических моделей.

- Автореферат несвободен от ошибок и опечаток (см. стр. 7 название пакета «ANSYS»; стр. 12 уравнение, к сожалению, без номера, начальное значение не может быть, как Dx ; в системе уравнений 1 отсутствует обозначение

- В пятой главе при физическом моделировании процессов влияния загрязнителей на гидродинамику движения жидких сред в качестве загрязнителя использовался магнетит. Проверялись ли результаты на других видах оксидов железа?

- В шестой главе работы отмечено, что «Анализ термограмм группы насосов, фиксировал критическое повышение температуры насоса №1 на 7 °С при увеличенной усреднённой температуре силовых обмоток его электродвигателя (по сравнению с насосами №2 и 3). Данные свидетельствовали о значительной потере ресурса насоса и внутренних утечках, дальнейшее наблюдение показало отказ насоса №1 спустя 2100 часов...». Какая ошибка в определении остаточного ресурса по сравнению с реальным отказом была выявлена?

- В автореферате не высказано мнение автора по поводу развития новых, перспективных направлений исследований в области диагностики состояния оборудования и технологических процессов металлургии.

- Во второй главе (с. 12 автореферата) из текста не ясно, какие одновременно проводимые процедуры диагностики обладают более высокой точностью выявления дефектов при диагностировании.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известными систематическими исследованиями и научными работами по разработке методологических основ проектирования, созданию нового оборудования, теоретическим и экспериментальным исследованиям и повышению эффективности процедур диагностирования оборудования, в том числе с устройствами, оснащёнными силовыми электрогидравлическими приводами, результаты которых представлены в ведущих рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана** методология комплексной оценки состояния элементов металлургических агрегатов, позволяющая повысить точность выявления остаточного ресурса металлургических машин и агрегатов и сократить материальные затраты;

- **предложены** методы теоретических и экспериментальных исследований процессов, протекающих в зазорах 2-100 мкм при динамическом изменении давления с учётом диэлектрической проницаемости среды между контактирующими поверхностями в высоконагруженных элементах металлургических агрегатов;

- **сформулированы** основные принципы первичного безразборного диагностирования тяжело нагруженных узлов металлургических машин и агрегатов, отличающиеся от известных наличием корректирующих коэффициентов, повышающих точность прогнозов остаточного ресурса;

- **расширена** база данных по отказам оборудования и создана новая методика исследований гидравлических характеристик рабочих сред, используемых в высоконагруженных системах агрегатов, отличающаяся степенью воспроизводимости результатов расчетов для условий металлургических предприятий;

- **доказано**, что давление 35 МПа и время выдержки индустриального масла И-30 значительно влияют на диэлектрическую проницаемость в зазорах 10 мкм и меньше;

- **введены** показатели эффективности процедур диагностирования.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

- **доказана** применимость разработанных концептуальных моделей анализа и оптимизации первичной оценки состояния оборудования на основе комплексного подхода;

- **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** современные методы математического моделирования, в том числе численный метод конечных элементов с применением специализированных

программных комплексов, статистический анализ, опытно промышленные экспериментальные методики с получением результатов, обладающих новизной;

- **изложена** методология оценки состояния элементов металлургических агрегатов путём расчётного определения объемного распределения полей температур с использованием тепловизионного контроля, позволяющая локализовать зону критических дефектов;

- **получены** новые научные знания, описывающие влияние смазочного материала, используемого в высоконагруженных элементах металлургических агрегатов, позволяющие уточнять критические параметры функционирования машин с учётом специфики накопления продуктов износа и изменения геометрических параметров зон трения, как в малых зазорах 2-100 мкм, так и в зазорах свыше 100 мкм;

- **установлены** рациональные значения диапазонов нагружения рабочих жидкостей и смазывающих материалов, используемых в элементах металлургических агрегатов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **разработаны** методы, позволяющие сократить время первичных диагностических мероприятий на 34-52 % при комплексной диагностике элементов металлургических машин.

- **созданы** диагностические комплексы, позволяющие испытывать рабочие жидкости и смазочные материалы в зоне критических нагрузок.

- **разработан**, апробирован и защищен патентами на изобретения новый вариант конструкции диагностического оборудования для определения характеристик рабочих сред и смазочных материалов, используемых в металлургических машинах, с предельным давлением функционирования до 500 МПа.

- **разработаны**, апробированы на металлургических предприятиях и защищены патентами на полезные модели системы бесконтактной диагностики механического, энергетического и гидравлического оборудования.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **эксперименты** проведены на действующем промышленном оборудовании АО «Уральская Сталь», АО «Первоуральский новотрубный завод», обработка и оценка результатов исследования проведены в соответствии со стандартными методиками; полученные результаты согласуются с опубликованными данными других исследователей;

- **теория** построена на известных теоретических положениях и не противоречит основным законам физики, механики, трибологии, теплофизики;

- **идеи базируются** на обобщении передового опыта по совершенствованию технологии и оборудования для оценки состояния оборудования металлургических производств;

- **установлено**, что результаты исследований интенсивности износа и поведения рабочих жидкостей и смазывающих материалов не противоречат результатам, представленным в независимых источниках.

Личный вклад соискателя состоит в разработке методологии первичного диагностирования, аналитических зависимостей интенсивностей отказов, в организации, проведении и непосредственном участии в теоретических, лабораторных и экспериментальных исследованиях, формулировке основных положений и выводов, опытно-промышленном опробовании и внедрении в производство разработанных новых технических и технологических решений, подготовке публикаций по выполненной работе. Все основные данные, приведенные в диссертации, получены автором лично или при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. У Вас за коэффициент эффективности принята безразмерная величина – это время, либо это экономические показатели, но Вы взяли ее безразмерной. Объясните, пожалуйста, что это за коэффициент такой и чем он хорош в использовании на практике?

2. В каких диапазонах на практике применялся этот коэффициент примерно?

3. Можно ли определить в нынешних условиях, когда это является особенно актуальным, какие конкретно разработки и результаты диссертации, научные и практические, работают на импортозамещение?

4. В названии есть методология диагностирования, дальше пункт второй научной новизны – разработана методология оценки состояния элементов. Когда мы говорим о диагностировании в контексте работы – этой у нас общее диагностирование или локальное диагностирование? Когда мы говорим «общее диагностирование», то мы оцениваем весь агрегат в целом, а когда говорим о локальном диагностировании, то мы говорим только о каких-то узлах.

5. Какие параметры диагностирования вообще конкретно рассматривались или группа параметров, 1, 2, 3?

6. На слайде 21 Вы говорили, что переходите от двухмерной к одномерной задаче, решению задачи распределения температуры, давления; вообще это как-то обосновано или уже, потом при практическом применении Вы это подтверждаете?

7. Вы разработали методику определения вязкости при высоких давлениях в масле. Как эта характеристика или как эта информация может охарактеризовать работоспособность оборудования, его остаточный ресурс или надежность, это вроде как относится к маслу, а мы говорим о диагностировании оборудования.

8. Вывод какой, что надо масло поменять или оборудование восстанавливать?

9. Поставьте, пожалуйста, слайд 34: графики как и в автореферате на рисунке 3, 3б всегда вызывает вопрос такая ситуация когда у вас идет кривая потом появляется экстремум, на этих графиках есть эти экстремумы. Вы можете

объяснить, почему они возникают? Почему значение падало, а потом начинает увеличиваться?

10. Скажите, пожалуйста, Вы развиваете авторскую методологию диагностирования или Вы базируетесь на чьей-то известной уже? Если на чьей-то известной, то чем Вы ее развиваете?

11. Именно знания теоретического характера, что очень важной для докторской диссертации, какие получены были в результате развития методологии?

12. В заключении в автореферате написано, что Ваша работа была направлена на решение важной научно-практической проблемы, позволившей повысить эффективность прогнозирования остаточного ресурса металлургических машин. Что выступало в качестве критерия оценки эффективности прогнозирования остаточного ресурса? Коэффициент как-то отнормирован по какой-то шкале? Какие он может значения принимать?

13. Четыре пункта научной новизны у Вас, так или иначе, связаны с разработкой различных способов оценки состояния оборудования: 1-ый, 2-ой, 4-ый, 6-ой пункты научной новизны, но в одном случае Вы используете слово «методика», то есть: разработана методика комплексной оценки, далее Вы используете слово «методология»: разработана методология оценки состояния, и в шестом пункте Вы называете: разработан «метод» комплексного диагностирования. В чем, в Вашем понимании, разница этих понятий: метод, методика и методология и что Вы вкладываете в их понятие в научной новизне? То есть так или иначе Вы в работе, по сути, разработали несколько методик для различных условий эксплуатации и в дальнейшем Вы это объяснили методологией, тем самым Вы заявляете именно методику?

14. У Вас везде написано, что смазочный материал диагностируется давлением 200 МПа, какие смазочные материалы? Я так понял, что под смазочными материалами вы имеете в виду гидравлические жидкости?

15. Вопрос к цифре 200 МПа, в зубчатых передачах 3000 МПа может быть?

16. Там же применяется смазочный материал определенного класса, вопрос к термину «смазочный материал», это широкое понятие. Если применить дисульфид молибдена или графит, они что не будут выдерживать такое давление?

17. Это у Вас методология на статическое или динамическое? Я имею ввиду статическое - Вы собираете массив данных, потом их обрабатываете, даете рекомендации или это идет накопление данных, грубо говоря, ИНСИТУ, то есть во времени и во времени выдаете какие-то рекомендации?

18. Какова область применения Ваших научных результатов? Кто может быть пользователем результатов, которые Вы получили?

19. Есть ли случаи внедрения Ваших научных результатов с получением экономического эффекта при производстве продукции?

20. Скажите, пожалуйста, рассматривались ли смазочные системы или системы смазки станов холодной прокатки Вашим объектом исследования?

21. Были ли предложены какие-то технические решения либо пути повышения эффективности смазочных систем или систем смазки станов холодной прокатки?

22. Во втором пункте научной новизны Вы говорите, что с использованием тепловизионного контроля, насколько эффективен принцип тепловизионного контроля, насколько это более эффективно с другими аналитическими измерительными системами?

23. Четвертый пункт практической значимости звучит так: используя разработанный математический аппарат усовершенствована конструкция тупиковой горелки, позволивший увеличить стойкость и т.д. Покажите, пожалуйста, на примере какой математический аппарат позволил это сделать и что усовершенствовано?

Соискатель Редников Сергей Николаевич ответил на замечания, задаваемые ему в ходе заседания, и привел собственную аргументацию:

Под коэффициентом экономической эффективности принималось суммарное отношение стоимости одного вида диагностики к стоимости другого вида

диагностики с учетом коэффициента выявляемости дефекта. Именно по этой причине данный коэффициент использовался безразмерным, что позволило учесть и стоимостной фактор, включая временной фактор получения диагностических мероприятий и также вероятность выявления отказа данными методами. Если за единицу принимался наиболее точный метод диагностики, на сегодняшний день – это вибрационный, 1,07 его характеристика, то предлагаемый метод первичного диагностирования, комплексная первичная методика диагностирования, за три месяца до отказа объектов показывала коэффициент эффективности, а он меняется со временем - 1,44. Увеличение безаварийного срока службы эксплуатации оборудования уже само по себе является важнейшей задачей, которая снижает нашу зависимость от импортных объектов. Плюс: методика бесконтактной токовой диагностики, основанной на отечественных комплектующих, позволила уменьшить время первичного диагностирования электрогидравлических систем. При внесении новых материалов мы можем заранее рассчитать рабочие параметры объекта еще до его физического изготовления, что позволит определить его состояние и возможность его использования в наших металлургических комплексах. Скорее диагностирование первичное и углубленное, полуузловое. Температура, а точнее внешние температурные поля с расчетом других температурных полей. Кроме этого рассматривалось токовое нагружение, токовый сигнал, а именно отклик токового сигнала. Кроме этого рассматривалась реакция на контрольное воздействие: рассматривался акустический сигнал и виброакустический сигнал – сигналы были разделены. Кроме этого рассматривался уровень загрязненности рабочих жидкостей и для ряда случаев конкретный тип загрязнителя, в частности, использовалась его концентрация - вот эти параметры я использовал. Первоначально задача ставилась как трехмерная, первоначально ее и решали как трехмерную, создавая математическую модель с нуля. Это оказалось не очень эффективно и для большинства конструкций с цилиндрической формой оказалось достаточно и двухмерной модели. Позже, уже в ходе практических работ было установлено, что для большинства практических

случаев зачастую достаточно одномерной модели, которая давала бы высокую скорость реакции, практически мгновенное получение ответа. Достоверность данного метода я проверял, и данные параметры приведены в соответствующих разделах работы, посвященных моделированию снятия теплогидравлических характеристик. Для контрольных объектов достоверность до 100 секунд подтверждалась менее 1-го %, расхождение начиналось по сравнению с двухмерной и одномерной моделями при временных задержках более 100 секунд. При работах на АО «Уральская сталь» мы столкнулись с рядом отказов, которые вызывали разнотолщинность прокатного листа. Причиной разнотолщинности оказались периодические отказы системы противоизгиба валков. Они выражались в резком увеличении времени задержки на переключение силового контура. Оценка гидравлических характеристик показала, что задержка вызвана изменением скорости перемещения самого золотника, нагружаемого при этом более высоким давлением, чем среднее давление в системе, это с тем, что любой предохранитель устройства сбрасывает давление не мгновенно, а существует период скачкообразного повышения давления в системе. Более углубленное исследование показало, что при данном уровне загрязненности рабочей жидкости и данной величиной зазора резко меняется вязкость, но не в объеме, а зазоре, которая по сути дела склеивала золотники, мешая обеспечить необходимую производительность. Надо, во-первых, обеспечить масло, которое может работать в этих условиях и применять только то масло, которое это может выдерживать из-за вязкостных присадок. Не все вязкостные присадки с этим могут работать. Плюс: обеспечить минимальное количество загрязнителя в этом масле. Такой характер изменения вязкости связан с выделением тепла в ротационном вискозиметре высокого давления, который мы создали, это связано с тем, что после достижения фиксированной величины вязкости и снятия нагружения, вязкость меняется, в том числе ростом температуры и давления, то есть эти два параметра связаны между собой. Именно характер нагружения определяет наличие вот этой своеобразной галочки, которую Вы видите вот на этих данных. Это как раз связано

с поведением системы при нагреве внутренних слоев с ростом давления. Естественно, в наше время трудно создать такую методологию с нуля, естественно, я развивал дальнейшие идеи Алексеева, дальнейшие идеи Ершова, Зиновьева по диагностике соответствующих элементов. В первую очередь новым являлся расчет внутреннего распределения температур в объекте для локализации дефектов. До этого момента, как правило, ограничивались либо внешними тепловыми полями, либо использованием каждой методики отдельно. Плюс, я предложил после определения остаточного ресурса по каждому из методов отдельно оценивать на каждом временном интервале, причем вот этого как раз не было, по минимальному расчетному остаточному ресурсу существование отдельно. В результате развития методологии были получены теоретические знания, то есть, разработаны математические методы оценки взаимосвязи жидких и газообразных сред внутри самого объекта. В качестве критерия эффективности прогнозирования остаточного ресурса выступал коэффициент безразмерный, который определялся как отношение общей стоимости разрабатываемой методики оценки состояния объекта по разрабатываемой методике, оценки состояния объекта, по известной методике, умноженной на коэффициент вероятности выявления отказа. Безразмерный коэффициент. От 0 до максимально 2-х. Во-первых, методика предусматривает последовательность выполнения операций для достижения того или иного результата. Под методологией понимается комплекс методик, предлагаемых для достижения того или иного результата. Метод – это более узкое понятие, чем методика, которая рассматривает получение заданного результата при выполнении меньшего количества последовательностей. Да. Не только, под смазывающими материалами я имею в виду и гидравлические жидкости, и материалы на углеводородной основе, которые используются для пар трения высоконагруженных, у них база также индустриальное масло. Постараюсь сформулировать ответ следующим образом: для углеводородов, которые используются в промышленном исполнении, критический параметр начинается уже с давления порядка 50 МПа, в районе 1500 МПа некоторые углеводороды

переходят в твердое состояние. Наиболее легкие фракции без вязкостных присадок успешно могут работать до 3000 атм., выше 2000 атм. могут работать только реакции углеводородов и то при двух всего-навсего вязкостных присадках, это винипол, в частности может выдерживать это давление, но кратковременно. Другие же вязкостные присадки приводят к полимеризации, поэтому это по сути дела это предельное давление, которое развивается в мультипликационных системах. Не совсем, оно может менять фазовое состояние, при изменении фазового состояния оно теряет смазывающее свойство. Все зависит от того чем оборудован данный объект и какая форма его обслуживания применена. Если этот объект не оборудован внутренней системой самодиагностики, то это периодическая оценка состояния объекта с оценкой времени остаточного ресурса. В то же время если объект оснащен системой автоматизированного контроля то эта же методика позволит динамически рассчитывать величину ресурса, исходя из сегодняшних режимов нагружения, непрерывно, а не дискретно. В первую очередь данная работа была направлена на удовлетворение требований на уровне мастера участка, начальника цеха металлургических предприятий Российской Федерации, почему именно здесь? Поскольку методик диагностики на самом деле достаточно много и результаты, получаемые по этим методикам классической диагностики, либо вибрационной, визуально измерительного контроля – они достаточно хороши, но они требуют высококвалифицированных специалистов, в первую очередь, и зачастую дорогостоящего оборудования. Предлагается методика, которая позволяет на более упрощенном оборудовании взять пусть не все отказы, но до с70-ти % изменения состояния объекта тем самым снизить стоимость первичной диагностики и дать на низовом уровне информацию непосредственно работникам металлургического предприятия о состоянии их валков. Да, внедрение промышленное есть, оно реализовано, в диссертации акты внедрения прикреплены на странице 275, 272, 279 и эффект получен, но, в частности, внедрение было проведено на ряде предприятий и на ряде, как крупных, так и малых предприятий с различной величиной эффективности. Именно системы смазки станов холодной

прокатки только диагностировались по состоянию отказов. Повышением эффективности работы самих смазывающих систем я не занимался, я занимался ускорением выявления дефектов систем существующих, вот, в частности, Вы видите термограмму АО «Уральская сталь» отказ обратных клапанов системы непрерывной подачи смазки. Мы увеличили вероятность выявления эффектов, сократили время диагностики, чем повысили надежность работы системы. Термопарные объекты позволяют определять точно температуру с точностью до десятых долей градусов. Современные тепловизоры позволяют работать по температурным диапазонам 3-5 сотых, я работал с самым худшим вариантом 8 сотых, то есть по сравнению с термопарами и терморезисторами параметры получения температур более высокие, недостаток существует. Классическая технология такой грелки предусматривала корпус из нержавеющей стали, которая позволяла бы выдерживать достаточно высокие температуры, внутри устанавливался рассекатель, который позволял снять часть тепла за счет не только излучения, то есть передать тепло излучающей трубе за счет конвекции внутреннего движения продуктов сгорания. Настройка таких горелок осуществлялась экспериментально, то есть после сдачи их заказчику, перемещаясь по горелке относительно трубы, достигали минимума температуры выходных газов. Что требовало многократной сборки-разборки и подвески данных элементов, в результате использования анализа выходных элементов горелки по внешним тепловым полям было получено гидравлическое тепловое решение, которое в свою очередь позволило расчетным путем определить оптимальное расстояние между краем сопла горелки трубы и максимальной толщиной рассекателя.

На заседании 5 сентября 2022 г. диссертационный совет Д 212.111.03 принял решение за решение актуальной научной проблемы, заключающейся в развитии научных основ методологии первичного диагностирования и оценке технического состояния основного и вспомогательного оборудования металлургических предприятий, имеющей важное хозяйственное значение присудить Редникову Сергею Николаевичу ученую степень доктора технических наук.

