

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный
университет»

доктор технических наук, доцент

Д.И. Симисинов

2026 г.

М.П.



О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию Николаева Михаила Юрьевича на тему: «Автоматизированная система комплексного неразрушающего контроля состояния стальных грузоподъемных канатов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

1. Актуальность темы диссертации

Актуальность диссертационного исследования обусловлена необходимостью автоматизации контроля технического состояния стальных грузоподъемных канатов, поскольку периодические обследования не всегда позволяют своевременно и объективно выявлять развивающиеся дефекты и повреждения. Автоматизированный контроль имеет особое значение для повышения безопасности и надёжности эксплуатации подъемно-транспортного оборудования, так как снижает зависимость результатов проверки от человеческого фактора, ускоряет процесс диагностики и создаёт предпосылки для непрерывного мониторинга состояния канатов. Это особенно важно для горнодобывающих предприятий, шахтных подъемных установок, клетевых систем и канатных дорог, где стальные канаты являются ответственными элементами, а их повреждение может привести к нарушению работы оборудования и возникновению опасных производственных ситуаций.

Стальные канаты, применяемые в грузоподъемных механизмах, в процессе работы постоянно находятся под влиянием переменных нагрузок и неблагоприятных внешних факторов. На их техническое состояние воздействуют трение, коррозионные процессы, химически активные среды и постепенное накопление усталостных повреждений. В результате в канате могут формироваться дефекты, часть которых заметна при внешнем

ОТЗЫВ

ВХ. № 9 - 464 от 04.09.26
АУ УС

осмотре, а часть развивается внутри и длительное время остаётся неочевидной. Отсутствие своевременного контроля таких повреждений повышает риск отказа каната, нарушения работы оборудования, финансовых потерь и возникновения опасности для работников.

Традиционные способы контроля состояния канатов, основанные преимущественно на ручной визуальной инспекции, имеют существенные ограничения, связанные с субъективностью оценки, зависимостью результата от квалификации специалиста, ограниченной скоростью диагностики и невозможностью надежного выявления внутренних повреждений. Магнитные методы неразрушающего контроля позволяют обнаруживать внутренние и внешние дефекты по изменению магнитного поля, однако также не являются универсальным решением и требуют совершенствования в части интерпретации сигналов, устойчивости к помехам и повышения достоверности диагностических решений.

В связи с этим актуальным является переход от разрозненного применения отдельных методов контроля к автоматизированным системам комплексной диагностики, объединяющим различные по физической природе измерительные каналы. Предложенное в диссертации сочетание оптического контроля, реализуемого средствами технического зрения, и магнитометрического контроля позволяет повысить полноту выявления дефектов грузоподъёмных канатов, обеспечить контроль как поверхностных, так и внутренних повреждений, а также снизить вероятность пропуска опасных состояний.

Дополнительную актуальность работе придает использование методов машинного обучения, нейросетевого анализа изображений, обработки профиля толщины каната и синхронной обработки данных оптической и магнитометрической подсистем. Такой подход соответствует современным направлениям развития автоматизированного неразрушающего контроля, интеллектуальной промышленной диагностики и мониторинга технического состояния технологического оборудования.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к автоматизированному контролю состояния стальных грузоподъёмных канатов, с применением системы технического зрения, магнитометрического канала и методов машинного обучения для повышения достоверности мониторинга состояния элементов технологического оборудования.

Можно выделить следующие решения, обладающие научной новизной:

- научно обосновано применение системы технического зрения для автоматизированного контроля состояния стальных грузоподъёмных канатов. В отличие от традиционного визуального осмотра, предложенный подход предусматривает автоматическое распознавание дефектов и повреждений канатов с использованием сверточной нейронной сети

и предварительной обработки видеоданных, что повышает устойчивость распознавания к изменению внешних условий съемки;

- предложен метод обнаружения и классификации дефектов стальных грузоподъемных канатов на основе анализа последовательности изменений его наблюдаемого диаметра. Научная ценность данного результата заключается в том, что изменения геометрического профиля каната рассматривается как информативный диагностический признак, позволяющий выявлять изменения формы и размеров поперечного сечения, связанные с эксплуатационными повреждениями;

- предложен комплексный метод детектирования дефектов грузоподъемных канатов, сочетающий оптический и магнитометрический методы неразрушающего контроля и обеспечивающий возможность выявления как поверхностных дефектов, регистрируемых подсистемой технического зрения, так и внутренних повреждений, определяемых по данным магнитометрического канала;

- разработаны принципы синхронизации и согласования данных оптической и магнитометрической подсистем, обеспечивающие формирование интегрального диагностического решения в едином контуре автоматизированного контроля.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается последовательной логикой исследования, включающей анализ современного состояния методов неразрушающего контроля стальных грузоподъемных канатов, постановку научно-технической задачи, разработку технических и алгоритмических решений, проведение экспериментальных исследований и оценку применимости предложенных подходов к задачам автоматизированного контроля.

Теоретическая часть работы основана на рассмотрении стального грузоподъемного каната как ответственного объекта контроля, функционирующего в условиях циклического нагружения, износа, коррозии, вибраций и воздействия внешней среды. Автором обоснована необходимость расширения состава диагностических признаков за счет автоматизированной обработки изображений поверхности каната, анализа последовательности изменений наблюдаемого диаметра грузоподъемного каната и применения магнитометрического контроля для выявления внутренних повреждений.

Достоверность результатов, связанных с разработкой подсистемы технического зрения, подтверждается использованием современных методов цифровой обработки изображений, сверточных нейронных сетей, размеченных изображений и экспериментальной оценкой качества распознавания поверхностных дефектов. В работе показано, что алгоритм обработки

изображений на основе сверточной нейронной сети обеспечивает обнаружение и классификацию поверхностных дефектов стальных грузоподъемных канатов с достоверностью от 80 до 89 % в зависимости от типа повреждения.

Обоснованность метода анализа изменений наблюдаемого диаметра каната каната подтверждается тем, что автор использует геометрически интерпретируемые признаки, отражающие изменения поперечного сечения по длине каната. Применение алгоритма градиентного бустинга позволяет осуществлять автоматическое обнаружение и классификацию поверхностных дефектов с достоверностью от 88 до 93 %.

Достоверность результатов комплексного контроля подтверждается сопоставлением данных оптического и магнитометрического каналов, их синхронизацией и согласованием в едином координатном представлении. Показано, что комплексный алгоритм синхронной обработки данных магнитометрической подсистемы и подсистемы технического зрения позволяет осуществлять оперативный контроль внутренних и поверхностных дефектов с достоверностью от 86 до 98 % в зависимости от типа повреждения.

Следует отметить, что автором использован комплекс взаимодополняющих методов исследования: анализ научно-технической литературы, экспериментальные исследования на специально созданных стендах, методы геометрической оптики, магнитометрического неразрушающего контроля, цифровой обработки сигналов и изображений, а также методы машинного обучения. Применение такого набора методов соответствует характеру поставленных задач и обеспечивает как теоретическую, так и практическую обоснованность полученных результатов.

Практическая достоверность полученных результатов дополнительно подтверждается апробацией основных положений работы на научных конференциях, публикацией результатов исследования в рецензируемых научных изданиях, наличием свидетельства о государственной регистрации базы данных и актом внедрения результатов диссертационной работы. В работе в достаточной степени обоснованы научные положения, выводы и рекомендации.

4. Научные результаты, их ценность

Научная значимость диссертации подтверждается ее вкладом в развитие теории и практики автоматизированного контроля, технического зрения и промышленной диагностики стальных грузоподъемных канатов.

Одним из значимых результатов является обоснование и разработка подхода к автоматизированному выявлению поверхностных дефектов канатов с использованием системы технического зрения и сверточной нейронной сети. Ценность данного результата заключается в возможности снижения субъективности контроля, характерной для

традиционного визуального осмотра, а также в повышении оперативности распознавания дефектов в автоматизированном режиме.

Существенную научную ценность представляет предложенный способ обнаружения и классификации дефектов грузоподъемных канатов на основе анализа изменений наблюдаемого диаметра каната. Использование последовательности изменений наблюдаемого диаметра как диагностического признака позволяет количественно описывать геометрические изменения каната, выявлять признаки истончения и формировать интерпретируемые параметры, пригодные для последующей автоматизированной классификации повреждений.

Особую ценность имеет разработанный комплексный метод контроля, объединяющий оптический и магнитометрический каналы. Его значение состоит в том, что оптическая подсистема ориентирована преимущественно на выявление поверхностных и геометрических дефектов, тогда как магнитометрический канал позволяет учитывать внутренние повреждения каната. Совместная обработка данных этих подсистем расширяет диагностические возможности системы и повышает полноту контроля.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 6 печатных работах, в том числе в 2 статьях в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, в 2 статьях в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus и 1 свидетельстве о государственной регистрации базы данных.

Таким образом, научные результаты диссертационной работы обладают теоретической и прикладной ценностью, поскольку развивают методы автоматизированной диагностики ответственных элементов подъемно-транспортного оборудования и могут быть использованы при создании современных систем промышленного неразрушающего контроля.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии научно-методических основ автоматизированного неразрушающего контроля состояния стальных грузоподъемных канатов на основе комплексного использования оптического и магнитометрического каналов, а также алгоритмов интеллектуальной обработки диагностической информации, а именно:

- обоснована возможность использования изображений поверхности каната и данных о последовательности изменений наблюдаемого диаметра в качестве источника информации о повреждениях и дефектах;

- предложен подход к анализу последовательности изменений наблюдаемого диаметра каната, позволяющий количественно описывать изменения геометрии каната и выявлять истончение;
- разработаны принципы комплексирования разнородных диагностических данных, получаемых от оптической и магнитометрической подсистем, с формированием интегрального диагностического решения;
- предложены компоновочные решения автоматизированной системы контроля состояния стальных грузоподъемных канатов;
- разработан алгоритм определения степени истончения каната и способ обнаружения и классификации дефектов на основе анализа изменений наблюдаемого диаметра каната;
- разработана база данных типовых повреждений тросов для обучения нейронных сетей, имеющая практическое значение для настройки и валидации алгоритмов автоматизированного распознавания дефектов;
- результаты диссертационной работы рекомендованы к внедрению в ООО «Лаборатория инжиниринга», что подтверждает прикладную направленность исследования.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы на объектах горнодобывающей промышленности, металлургических предприятиях, в подъемно-транспортных комплексах и других производственных системах, где эксплуатируются стальные грузоподъемные канаты. Их применение может способствовать повышению промышленной безопасности, снижению вероятности пропуска опасных дефектов, сокращению внеплановых простоев оборудования и повышению эффективности технического обслуживания.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать при разработке, модернизации и внедрении автоматизированных систем оперативного контроля состояния стальных грузоподъемных канатов, эксплуатируемых на объектах горнодобывающей промышленности, металлургических предприятиях, в подъемно-транспортных комплексах и иных производственных системах.

Предложенные автором методы обработки изображений поверхности каната с применением технического зрения и сверточных нейронных сетей целесообразно использовать при создании программно-аппаратных комплексов автоматизированного обнаружения и классификации поверхностных дефектов, включая обрывы проволок, изгибы, заломы, абразивный износ и локальные нарушения геометрии каната.

Метод анализа изменений наблюдаемого диаметра каната может быть использован в системах диагностики для количественной оценки истончения, выявления изменений поперечного сечения и формирования интерпретируемых диагностических признаков. Данный подход представляет интерес как для оперативного контроля состояния каната, так и для накопления статистики изменения его геометрических параметров в процессе эксплуатации.

Разработанный алгоритм синхронизации и согласования данных оптического и магнитометрического каналов рекомендуется применять при построении комплексных систем мониторинга технического состояния канатов. Совместная обработка данных разнородных измерительных каналов позволяет повысить полноту контроля, обеспечить выявление как поверхностных, так и внутренних повреждений, а также снизить вероятность пропуска опасных дефектов.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы организациями, занимающимися проектированием, эксплуатацией, техническим обслуживанием и диагностикой подъемно-транспортного оборудования. Отдельные положения работы целесообразно учитывать при разработке методических рекомендаций и регламентов автоматизированного контроля грузоподъемных канатов в условиях промышленных предприятий.

Разработанная база данных типовых повреждений тросов может быть рекомендована для дальнейшего пополнения и использования при обучении, тестировании и валидации нейросетевых моделей распознавания дефектов. Ее развитие позволит повысить устойчивость алгоритмов машинного обучения к разнообразию реальных эксплуатационных повреждений и условиям съемки.

Отдельные результаты диссертации могут быть использованы в образовательном процессе при подготовке специалистов по направлениям автоматизации технологических процессов, промышленной диагностики, технического зрения, машинного обучения и неразрушающего контроля.

7. Замечания и вопросы по работе

1. В работе показано, что на качество распознавания дефектов оптическим каналом влияют изменение освещенности, расстояние до объекта контроля и другие внешние условия, однако недостаточно подробно раскрыт вопрос обеспечения устойчивой работы системы технического зрения в условиях повышенной запыленности, характерной для горнодобывающих предприятий. Какие технические и алгоритмические решения предполагается использовать для снижения влияния пыли на качество изображений и достоверность диагностики?

2. В диссертации в недостаточной степени раскрыт вопрос влияния смазки на объекте контроля на достоверность обнаружения его дефектов и повреждений.

3. При определении степени истончения каната было бы целесообразно подробнее раскрыть вопрос метрологического обеспечения данного измерения: порядок калибровки камеры, оценку погрешности преобразования пиксельных координат в линейные размеры, а также влияние перспективных искажений на результат измерения.

4. Автором показана возможность выявления внутренних дефектов за счет магнитометрического канала, однако в работе недостаточно подробнее раскрыта физическая интерпретация магнитометрических признаков, используемых классификатором. Это позволило бы усилить связь между сигналами измерительной подсистемы и реальными механизмами повреждения стальных проволок каната.

5. В диссертации рассматриваются отдельные типы дефектов и диагностические категории, однако не в полной мере раскрыт вопрос ранжирования дефектов по степени опасности. Было бы полезно показать, как система различает дефекты, требующие немедленной остановки оборудования, и дефекты, допускающие продолжение эксплуатации при усиленном контроле.

6. В диссертации показана эффективность совместного применения оптического и магнитометрического каналов, однако следовало бы дополнительно рассмотреть вопрос отказоустойчивости системы. Например, как изменяется качество диагностического решения, при временном отказе одного из каналов?

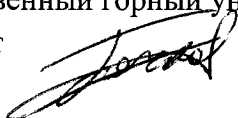
8. Заключение по диссертации

Диссертация «Автоматизированная система комплексного неразрушающего контроля состояния стальных грузоподъемных канатов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Николаев Михаил Юрьевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации **Николаева Михаила Юрьевича** обсужден и утвержден на заседании кафедры автоматики и компьютерных технологий ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», протокол № 1 от 27.08.2026 года.

Председатель заседания

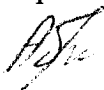
заведующий кафедрой автоматики и компьютерных технологий
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»,
кандидат технических наук, доцент



Бочков Владимир Сергеевич

Секретарь заседания

доцент кафедры автоматики и компьютерных технологий
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»,
кандидат технических наук



Абдрахманов Марат Ильдусович

Подписи к.т.н. Бочкова В. С. и к.т.н. Абдрахманова М.И.
удостоверяю.

ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА
ОТДЕЛА КАДРОВ
ЧЕРТЫКОВ



Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет»
Почтовый адрес: 620144, Уральский федеральный округ,
Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д.30
Официальный сайт: <https://www.ursmu.ru/>
E-mail: office@ursmu.ru
Тел.: +7 (343) 257-25-47