

**Письменный отзыв официального рецензента на диссертационную работу
Рахметовой Перизат Маратқызы
на тему: «Разработка и исследование системы обнаружения внутритрубных
дефектов на основе машинного зрения для мобильных роботов»
по специальности «6D071600 – Приборостроение».**

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
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</u> <u>рамках проекта или целевой</u> <u>программы,</u> <u>финансируемого(ой) из</u> <u>государственного бюджета</u> (указать название и номер проекта или программы); 2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы); 3) диссертация соответствует	Диссертационная работа Рахметовой Перизат Маратқызы, представленная на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D071600 – Приборостроение», представляет собой завершённое научное исследование, посвящённое актуальной проблеме по разработке высокоэффективной интеллектуальной системы обнаружения дефектов трубопроводов с применением технологий машинного зрения. Данное исследование соответствует направлениям развития науки и проводилось в рамках грантового финансирования по научному проекту ИРН № AP19679380 «Разработка и проектирование внутритрубного мобильного робота для инспекций с элементами искусственного интеллекта», и научному проекту грантового финансирования по программе «Жас Ғалым» ИРН №AP22685781 «Разработка системы управления манипулятором с применением компьютерного зрения для повышения гибкости и автоматизации процессов».

		приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит/не</u> вносит существенный вклад в развитие науки, а ее важность <u>хорошо раскрыта/не</u> раскрыта.	Диссертационная работа вносит существенный вклад в развитие науки в области приборостроения, направлена на создание интеллектуальных диагностических систем, сочетающих современные методы машинного зрения, мобильной робототехники и сенсорных технологий, что способствует повышению эффективности и надёжности технического контроля трубопроводной инфраструктуры. Важность темы исследования хорошо раскрыта. Диссертант обосновал применение технологий машинного зрения и интеллектуальной обработки данных, представив решение, способное повысить точность и автоматизацию контроля трубопроводов.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <u>высокий</u> ; 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	Уровень самостоятельной работы диссертанта представляется высоким. Диссертант самостоятельно провёл обширный анализ существующих методов неразрушающего контроля и машинного зрения, обосновал выбор подхода и предложил оригинальные алгоритмы обработки изображений. Диссертант лично участвовал в разработке и реализации программно-аппаратной системы, включая моделирование, сбор данных и экспериментальную апробацию.

4.	Принцип единства	внутреннего	4.1	Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>обоснована</u> ; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Актуальность диссертации представлена обоснованно. Диссертант ясно указывает на значимость своевременного обнаружения внутритрубных дефектов, особенно коррозии, как одного из главных факторов разрушения трубопроводных систем, от которых зависит функционирование критической инфраструктуры. Показано, что традиционные методы неразрушающего контроля, такие как ультразвуковой, магнитный и радиографический, имеют ряд существенных ограничений – высокую стоимость, необходимость остановки трубопровода, сложность интерпретации результатов. В этой связи применение машинного зрения и методов искусственного интеллекта представляется современным, эффективным и экономически оправданным решением. Актуальность усиливается отсутствием в существующих системах мобильных роботов надежных алгоритмов обработки изображений, способных точно обнаруживать дефекты от коррозии в реальном времени.
			4.2	Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>отражает</u> ; 2) частично отражает; 3) не отражает.	Содержание диссертационной работы в полной мере соответствует заявленной теме и раскрыто всесторонне и последовательно. Диссертант обоснованно подчеркивает научную и практическую значимость задачи обнаружения внутритрубных дефектов, особенно коррозионного происхождения, акцентируя внимание на важности её решения для обеспечения безопасности и надежности трубопроводных систем. В диссертации рассматриваются современные подходы к автоматизированному неразрушающему контролю, особое внимание уделено применению машинного зрения и алгоритмов обработки изображений. Представлены разработанные диссертантом методы первичной и вторичной обработки цифровых

			изображений, а также алгоритмы кластеризации, направленные на повышение точности классификации дефектов. Работа включает описание архитектуры аппаратно-программного комплекса, экспериментальные исследования и количественную оценку полученных результатов, что подтверждает прикладной характер и достоверность выполненного исследования. Тем самым все компоненты диссертационной работы – от теории до практики – последовательно раскрывают тему и обеспечивают её глубокое понимание.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) <u>соответствуют</u>; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют.	Цель и задачи исследования полностью соответствуют теме диссертационной работы. В качестве цели диссертантом обозначено повышение точности системы обнаружения внутритрубных дефектов от коррозии на основе технологий машинного зрения и обработки цифровых изображений, что отражает как научную, так и прикладную значимость исследования. Поставленные задачи охватывают все ключевые аспекты диссертационного исследования. Проведен аналитический обзор существующих методов обнаружения дефектов, что позволило обосновать выбор используемых подходов. Разработана собственная система обнаружения дефектов от коррозии и предложен алгоритм кластеризации, направленный на улучшение точности идентификации дефектов. Проведена экспериментальная апробация разработанной системы, подтвердившая её эффективность.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:	Все разделы диссертации логично взаимосвязаны и выстроены в строгой последовательности. Представлен обзор методов контроля дефектов и обоснован выбор машинного зрения. Разработаны алгоритмы первичной и вторичной

		1) <u>полностью взаимосвязаны</u>; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	обработки изображений с применением методов MobileNetv2 и DBSCAN, обеспечивающие высокую точность обнаружения. Экспериментальная апробация на мобильной платформе с камерой RealSense и системой Jetson ORIN NX подтвердила практическую значимость работы. Все положения последовательно реализуют научную цель исследования.
		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.	Предложенные диссертантом новые решения, включая принципы и методы обработки изображений, научно аргументированы и подтверждены результатами критического анализа существующих подходов. В диссертации чётко обозначены ограничения традиционных методов неразрушающего контроля, что послужило обоснованием для разработки собственной методологии. Проведено сопоставление с известными решениями, продемонстрированы преимущества предложенных алгоритмов по точности, устойчивости к шуму и применимости в условиях реального времени.
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%).	Научные результаты и положения, представленные в диссертации, являются полностью новыми и обладают оригинальностью. Диссертантом разработан алгоритм первичной обработки изображений с дефектами от коррозии, отличающийся от известных подходов использованием модифицированного метода Кэнни и сверточной нейронной сети MobileNetv2, адаптированной для работы в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Кроме того, впервые предложен алгоритм вторичной обработки и кластеризации изображений на основе метода DBSCAN, адаптированный для задач внутритрубного контроля.

			Полученные результаты подтверждены экспериментальной апробацией и демонстрируют высокую точность выявления дефектов. Все положения, выносимые на защиту, обладают научной новизной и представляют собой значимый вклад в область интеллектуальных систем технической диагностики.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Выводы диссертации являются полностью новыми и отражают оригинальные результаты, полученные в ходе самостоятельного исследования. Диссертантом сформулированы обоснованные и конкретные выводы, вытекающие из проведенного анализа, разработки и апробации системы обнаружения внутритрубных дефектов. Новизна заключается в предложении эффективных алгоритмов цифровой обработки изображений и их интеграции с мобильной роботизированной платформой для инспекции трубопроводов в реальном времени.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Представленные в диссертации технические и технологические решения являются полностью новыми и обоснованными. Диссертант разработал оригинальную архитектуру системы обнаружения внутритрубных дефектов, включающую модуль машинного зрения, алгоритмы обработки изображений, кластеризации и встраиваемую вычислительную платформу Jetson ORIN NX. Применение сверточной нейронной сети MobileNetv2 и алгоритма DBSCAN в рамках мобильной роботизированной платформы обеспечивает высокую точность (до 93%) при снижении вычислительной нагрузки, что делает систему эффективной для реального применения. Технологические решения адаптированы под условия ограниченного доступа и отсутствия стабильного сигнала GPS, что усиливает практическую значимость. Следовательно, представленные

			технические и технологические решения обладают высокой степенью оригинальности и практической ценности. Новизна заключается как в применении современных методов машинного обучения и машинного зрения, так и в интеграции этих подходов в мобильную роботизированную систему, адаптированную к сложным условиям эксплуатации.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (куолитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Все основные выводы диссертационного исследования основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах и обладают высокой степенью обоснованности. Диссертант последовательно подкрепляет свои выводы теоретическим анализом, практической реализацией и количественной оценкой эффективности предложенных решений. Полученные экспериментальные результаты подтверждают заявленные гипотезы и демонстрируют научную состоятельность каждого заключения. Дополнительным подтверждением служит апробация результатов на международных конференциях и публикации в рецензируемых научных изданиях, включая статью в журнале, входящем в базу данных Scopus, и публикации в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в науке и высшем образовании РК.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u> ; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано;	7.1 Две научные положения, выносимых на защиту, доказаны экспериментально. Доказано 7.2 Элементы тривиальности в диссертационной работе отсутствуют. Нет 7.3 Является новым Да 7.4 Уровень для применения

	5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u>; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новым? 1) <u>да</u>; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u>; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u>; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность	Широкий 7.5 Доказано Да
--	---	--

		положения в статье невозможно.	
8.	Принцип достоверности. Достоверность источников предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии обоснован или методология достаточно подробно описана: 1) да; 2) нет.	Выбор методологии в диссертации диссертанта является обоснованным и достаточно подробно описан. Диссертант ясно сформулировал цель и задачи исследования, на основании которых обосновал применение методов машинного зрения, алгоритмов цифровой обработки изображений и машинного обучения. В частности, аргументирован выбор сверточной нейронной сети MobileNetv2 для первичной обработки и метода DBSCAN для кластеризации дефектов от коррозии, что обусловлено требованиями к точности и эффективности в условиях ограниченных вычислительных ресурсов мобильной роботизированной платформы. Методологический подход включает последовательные этапы сбора, обработки, анализа и верификации изображений, а также экспериментальную проверку предложенной системы.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и дефектов. Обработка данных осуществлялась с методик обработки и использованием специализированного аппаратного обеспечения (Jetson ORIN NX), а также с применением программных средств для автоматизированной интерпретации изображений и оценки точности работы системы. Такой подход соответствует современному уровню развития интеллектуальных диагностических систем и подтверждает высокий научно-технический уровень выполненного исследования.	Диссертант применил передовые алгоритмы машинного зрения и машинного обучения, включая сверточные нейронные сети (MobileNetv2) и кластеризацию DBSCAN, адаптированные для анализа изображений внутритрубных дефектов. Обработка данных осуществлялась с использованием специализированного аппаратного обеспечения (Jetson ORIN NX), а также с применением программных средств для автоматизированной интерпретации изображений и оценки точности работы системы. Такой подход соответствует современному уровню развития интеллектуальных диагностических систем и подтверждает высокий научно-технический уровень выполненного исследования.

		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) да; 2) нет.	Теоретические выводы, разработанные модели, выявленные взаимосвязи и закономерности в диссертационной работе доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием. Диссертант не только обосновал выбор методов и алгоритмов на теоретическом уровне, но и реализовал их в виде функциональной системы на мобильной роботизированной платформе. Проведена экспериментальная апробация, включающая сбор и анализ изображений внутритрубных дефектов, обработку данных с помощью разработанных алгоритмов и количественную оценку точности обнаружения дефектов (до 93%). Полученные экспериментальные результаты согласуются с теоретическими предпосылками и подтверждают научную состоятельность сделанных выводов.
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u>/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Важные утверждения в диссертационной работе подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу. Диссертант опирается на современную международную и отечественную научную базу, включая публикации в рецензируемых изданиях, работы по машинному зрению, методам неразрушающего контроля, мобильной робототехнике и алгоритмам обработки изображений. В тексте диссертации представлены ссылки на авторитетные источники, такие как IEEE, AIP Publishing и научные статьи, отражающие последние достижения в исследуемой области.
		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u>/не достаточны для литературного обзора.	Используемые источники литературы в диссертационной работе являются достаточными по объему и содержанию для раскрытия темы исследования. В списке литературы приведено 101 наименование, включающее как современные отечественные, так и зарубежные публикации,

			охватывающие ключевые аспекты темы, такие как методы неразрушающего контроля, машинное зрение, алгоритмы цифровой обработки изображений, мобильная робототехника и системы искусственного интеллекта. Источники актуальны, рецензируемы и охватывают как теоретическую, так и прикладную часть исследования, что подтверждает полноту проведенного анализа и глубину научной проработки проблемы.
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u>; 2) нет.	Диссертация имеет теоретическое значение. В работе диссертантом разработаны и обоснованы новые подходы к цифровой обработке изображений для задач неразрушающего контроля, включая модифицированные алгоритмы первичной и вторичной обработки, а также методы кластеризации дефектов. Полученные теоретические результаты вносят вклад в развитие научных представлений о применении методов машинного зрения и алгоритмов искусственного интеллекта в технической диагностике. Кроме того, формализованные модели и структурные решения могут служить основой для дальнейших научных исследований в смежных областях - робототехнике, интеллектуальных системах контроля и инженерной диагностике.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u>; 2) нет.	Диссертация имеет практическое значение, и полученные результаты обладают высоким потенциалом для внедрения в реальную практику. Разработанная система обнаружения внутритрубных дефектов с использованием машинного зрения и мобильной робототехнической платформы ориентирована на решение прикладных задач технической диагностики трубопроводных систем. Диссертантом проведена экспериментальная апробация прототипа,

			подтвердившая его эффективность и работоспособность в условиях, приближенных к реальным. Достигнутая точность в 93% при распознавании дефектов свидетельствует о реальной возможности использования разработанной технологии в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве, а также в системах мониторинга объектов критической инфраструктуры.
		9.3 Предложения для практики являются новыми: 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Диссертантом разработаны оригинальные технические и алгоритмические решения, которые ранее не применялись в комплексе для задач оптического внутритрубного контроля. В частности, новизна заключается в сочетании модифицированного алгоритма обработки изображений (с использованием метода Кэнни и MobileNetv2) с алгоритмом кластеризации DBSCAN, адаптированных для работы на мобильной роботизированной платформе в реальном времени. Также новыми являются принципы интеграции аппаратных и программных компонентов с учётом ограниченных вычислительных ресурсов и особенностей трубопроводной среды. Практическая реализация данной системы обеспечивает повышение точности диагностики до 93%, что подтверждает прикладную ценность и оригинальность предложений.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое</u>; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Диссертация логично структурирована, написана академическим языком и оформлена в соответствии с требованиями. Диссертант чётко формулирует основные положения и выводы, избегая двусмысленности. Представленный материал легко воспринимается и последовательно излагает ключевые аспекты исследования.
11.	Замечания к диссертации	нет	

12. Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	Научный уровень статей докторанта по теме исследования является высоким. Результаты диссертационной работы опубликованы в шести научных трудах, включая одну статью в журнале, входящем в международную базу данных Scopus, две статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в науке и высшем образовании Республики Казахстан, а также три публикации в материалах международных конференций, включая конференции под эгидой IEEE и AIP Publishing. Тематика статей напрямую связана с содержанием диссертации и охватывает ключевые положения исследования — разработку алгоритмов обработки изображений, применение машинного зрения и реализацию робототехнической платформы. Публикации демонстрируют актуальность темы, самостоятельность диссертанта и соответствие международным научным стандартам.
13. Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Диссертация рекомендуется к защите.

Решение: Диссертационная работа Рахметовой Перизат Маратқызы на тему «Разработка и исследование системы обнаружения внутритрубных дефектов на основе машинного зрения для мобильных роботов» полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Диссертант Рахметова Перизат Маратқызы заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 6D071600 – «Приборостроение».

Официальный рецензент:

РАСТАЙМЫН
Кандидат физико-математических наук, профессор,
заведующая кафедрой искусственного интеллекта и Big

Data» КазНУ им. аль-Фараби

научных кадров КазНУ им. аль-Фараби
«21» 05 2020 ж.г.



Ms

Мансурова М.Е.