

ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу
Орман Индиры Мәлікқызы на тему «Разработка алгоритмов и программного обеспечения для определения электромагнитных параметров включения в подстилающей среде», предоставленную на соискание степени
доктора философии (PhD) по образовательной программе
«8D06101 – Информатика, вычислительная техника и управление»

№ 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) диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы); 2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы); <u>3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).</u>	Тема диссертационного исследования напрямую отвечает приоритетным государственным задачам, озвученным в Послании Главы государства «Казахстан в эпоху искусственного интеллекта: цифровая трансформация» от 8 сентября 2025 года. Разработка специализированных алгоритмов глубокого обучения и авторского программного обеспечения для автоматизированной интерпретации данных дистанционного зондирования выступает практическим воплощением стратегического курса страны на цифровую интеграцию и интеллектуализацию процессов неразрушающего контроля инфраструктуры.
2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта.	Работа вносит значительный вклад в развитие методов неразрушающего контроля и геофизики. Внедрение передовых методов глубокого обучения (в частности, архитектуры LSTM) для предиктивного мониторинга структурного состояния дорожных одежд, а также разработка строгого математического аппарата для решения обратных коэффициентных задач

			<p>геоэлектрики в частотной области (без использования ресурсоемких итерационных оптимизационных алгоритмов) предоставляют науке новый высокоэффективный инструментарий. Важность исследования подробно и аргументированно раскрыта автором во введении и профильных разделах, где убедительно показана острая практическая и научно-техническая необходимость в своевременном выявлении скрытых подповерхностных дефектов для повышения безопасности, долговечности транспортной инфраструктуры и снижения затрат на ее обслуживание.</p>
3.	Принцип самостоятельности	<p>Уровень самостоятельности:</p> <p>1) <u>высокий</u>;</p> <p>2) средний;</p> <p>3) низкий;</p> <p>4) самостоятельности нет.</p>	<p>Докторантом Орман И.М. самостоятельно выполнен весь основной объем теоретической, экспериментальной и практической работы. Высокий уровень самостоятельности подтверждается личным проведением масштабных полевых испытаний методом зондирования с использованием георадара «Лоза-В» на подготовленном полигоне , а также реализацией лабораторных экспериментов по определению корреляционной зависимости диэлектрической проницаемости от влажности грунта. Соискатель самостоятельно разработала алгоритмы обработки данных и написала программный код на языке Python , что подтверждается получением свидетельства о государственной регистрации прав на объект авторского права №65240 на разработанную программу для ЭВМ. Кроме того, личный вклад автора в полной мере отражен в подготовке и публикации серии научных статей в рецензируемых изданиях, включая журналы первого квартеля базы Scopus.</p>
4.	Принцип внутреннего единства	<p>4.1 Обоснование актуальности диссертации:</p> <p>1) <u>обоснована</u>;</p>	<p>Актуальность исследования детально и убедительно обоснована во введении . Автором объективно</p>

		<p>2) частично обоснована;</p> <p>3) не обоснована.</p>	<p>показано, что для обеспечения безопасности, долговечности и снижения эксплуатационных затрат инфраструктурных объектов (дорожных одежд, строительных конструкций) критически необходимы передовые технологии неразрушающего контроля, среди которых ведущую роль играет метод георадиолокации (GPR). Более того, актуальность работы прочно увязана с решением государственных стратегических задач, изложенных в Послании Главы государства «Казахстан в эпоху искусственного интеллекта: цифровая трансформация» (от 8 сентября 2025 года) , поскольку диссертация предлагает практические инструменты для цифровой интеграции и автоматизированной (интеллектуальной) интерпретации геофизических данных.</p>
		<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p>	<p>Содержание работы в полной мере раскрывает заявленную тему «Разработка алгоритмов и программного обеспечения для определения электромагнитных параметров включения в подстилающей среде». В диссертации последовательно изложены все заявленные аспекты:</p> <p>1) разработаны численные алгоритмы для решения обратной задачи геоэлектрики (расчет диэлектрической проницаемости и проводимости) с использованием аналитического аппарата уравнений Максвелла ;</p> <p>2) предложены и протестированы передовые алгоритмы глубокого обучения (в частности, архитектура LSTM) для мониторинга состояния сред ;</p> <p>3) результаты алгоритмизации успешно реализованы в виде готового программного обеспечения для ЭВМ, функционал которого подробно описан в работе и</p>
		<p>1) отражает;</p>	
		<p>2) частично отражает;</p>	
		<p>3) не отражает.</p>	

		защищен свидетельством о государственной регистрации прав на объект авторского права №65240 .
	4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:	Цель диссертационной работы - разработка алгоритмов и программного обеспечения для определения электромагнитных параметров включений в подстилающей среде - дословно раскрывает и конкретизирует заявленную тему исследования. Поставленные для достижения этой цели задачи логично декомпозируют проблему: от первичной обработки георадарных данных и определения глубины залегания до разработки аналитического метода расчета параметров и применения моделей глубокого обучения. Таким образом, наблюдается полное соответствие.
	1) <u>соответствуют;</u>	
	2) частично соответствуют;	
	3) не соответствуют.	
	4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:	В структуре работы прослеживается строгая и последовательная инженерно-математическая логика. Исследование закономерно переходит от обзора фундаментальных основ георадиолокации и сбора экспериментальных данных (первый раздел) к методике их первичной обработки и определению корреляции между влажностью и диэлектрической проницаемостью (второй раздел). Подготовленная база данных затем служит основой для обучения и тестирования предиктивных моделей машинного обучения (третий раздел). В завершающем, четвертом разделе , логическая цепочка замыкается строгим математическим аппаратом - калибровкой функции источника и выводом рекуррентных формул на основе аналитического решения уравнений геоэлектрики.
	1) <u>полностью взаимосвязаны;</u>	
	2) взаимосвязь частичная;	
	3) взаимосвязь отсутствует.	
	4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:	Соискатель не просто декларирует новые подходы, но и подвергает их глубокому и всестороннему критическому анализу в сравнении с существующими аналогами. Наиболее показательно это отражено в

		<p>1) критический анализ есть;</p> <p>2) анализ частичный;</p> <p>3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов;</p> <p>4) анализ отсутствует.</p>	<p>третьем разделе, где автор тестирует и сопоставляет 7 различных архитектур машинного и глубокого обучения . Проведен критический разбор, почему, например, метод стохастического градиентного спуска (SGD) и стандартный градиентный бустинг хуже справляются с задачами мониторинга временных рядов деградации дорог , и аргументированно доказано превосходство архитектуры долгой краткосрочной памяти (LSTM). Кроме того, аргументировано преимущество предложенного автором аналитического решения обратной задачи перед классическими ресурсоемкими итерационными оптимизационными методами.</p>
5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <p>1) полностью новые;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Все выносимые на защиту научные положения и результаты обладают полной новизной. Соискателем впервые разработаны методы определения глубины залегания объектов на основе экспериментальных исследований методом зондирования георадаром «Лоза-В». Абсолютно новым является метод решения обратной задачи по определению диэлектрической проницаемости и проводимости включений на основе аналитического решения уравнения геоэлектрики в частотной области, что позволило исключить применение ресурсоемких итерационных оптимизационных алгоритмов. Также разработана новая методика мониторинга на основе глубокого обучения.</p>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) полностью новые;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Выводы диссертационного исследования отражают получение принципиально новых знаний. В частности, на основе комплексного анализа сделан новый вывод о превосходстве архитектуры глубокого обучения LSTM (с метриками $RMSE = 3.01$ и $CC = 0.92$) в</p>

			<p>прогнозировании структурного состояния подповерхностных слоев дорожных конструкций по сравнению с другими ML-моделями. Новым является вывод, описывающий экспериментально установленную корреляционную зависимость между диэлектрической проницаемостью и влажностью подстилающего грунта. В выводах также закреплено создание новых рекуррентных формул для определения параметров среды.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p>	<p>Предложенные в работе технологические и технические решения являются новыми и строго обоснованными. Автором разработан уникальный программный модуль для ЭВМ «Программа определения глубины залегания подповерхностных объектов методом георадиолокационного зондирования» (новизна подтверждена свидетельством о государственной регистрации прав на объект авторского права №65240). Внедрение предложенной модели на базе LSTM в системы управления дорожной инфраструктурой и концепции «умного города» представляет собой передовое технологическое и управленческое решение для транспортных агентств. Предложенный метод калибровки функции источника георадара позволяет обходить ограничения закрытого заводского программного обеспечения, что также является новым и эффективным техническим решением.</p>
		<p>1) полностью новые;</p>	
		<p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p>	
		<p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	
6.	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (квалитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).</p>	<p>Основные выводы диссертационной работы базируются на строгом физико-математическом аппарате (аналитические решения уравнений электродинамики для слоистых сред) и надежно подтверждаются результатами численного моделирования, а также</p>

			<p>масштабными лабораторными и натурными геофизическими экспериментами.</p> <p>Сходимость расчетных данных с реальными радарограммами (полученными с применением сертифицированного оборудования - георадара «Лоза-В» и измерителя влажности МГ4) демонстрирует стабильно низкую погрешность в пределах 0,2–0,3 см. Кроме того, выводы об эффективности внедрения моделей глубокого обучения объективно и количественно доказаны расчетами стандартных метрик качества машинного обучения (в частности, для модели LSTM показатели составили $RMSE = 3.01$ и коэффициент корреляции $CC = 0.92$), что полностью исключает неоднозначность их трактовки.</p>
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) доказано;</p> <p>2) скорее доказано;</p> <p>3) скорее не доказано;</p> <p>4) не доказано;</p> <p>5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно.</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>1) да;</p> <p>2) нет;</p> <p>3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.</p> <p>7.3 Является ли новым?</p> <p>1) да;</p> <p>2) нет;</p>	<p>Доказано результатами натуральных экспериментов с мишенями (купол торфа, пластиковые бутылки), где расчетные данные совпали с реальной глубиной с абсолютной погрешностью всего 0,2-0,3 см.</p> <p>Создание алгоритмов для перехода от временного разреза радарограммы к глубинному геоэлектрическому разрезу требует специальной разработки интерактивных программных модулей.</p> <p>Данные методы прямо указаны автором в пункте «Научная новизна исследования».</p> <p>Разработанные методы могут широко применяться для мониторинга подповерхностных слоев дорожных конструкций, исследования строительных участков и в археологии.</p> <p>Результаты опубликованы в статье «Определения глубины залегания включения в подстилающей среде» в журнале, рекомендованном КОКСНВО МНВО РК.</p>

		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.	
8.	Принцип достоверности.	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:	Выбор методологии всесторонне обоснован и подробно раскрыт в тексте работы. Методологическая база включает применение инженерно-технических методов, математического моделирования, аналитических подходов и алгоритмов глубокого обучения (в том числе рекуррентных нейронных сетей типа LSTM).
	Достоверность источников и предоставляемой информации	1) да;	
		2) нет.	
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	
		1) да;	Соискателем применен передовой арсенал современных экспериментальных методов и компьютерных технологий. Для сбора первичных физических данных использовалось сертифицированное аппаратное обеспечение (георадар «Лоза-В», специализированный измеритель влажности МГ4). Для математической обработки, решения инверсных задач геоэлектрики и сложной интерпретации георадиолокационных профилей
		2) нет.	

			<p>применялись актуальные методы машинного и глубокого обучения (нейронные сети с архитектурой LSTM, ANN, алгоритмы градиентного бустинга).</p> <p>Кроме того, все вычислительные эксперименты, визуализация радарограмм и создание итогового программного обеспечения (на которое получено свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права №65240) реализованы с использованием современных языков программирования (в частности, Python), что полностью подтверждает высокий технологический уровень проведенного исследования.</p>
		<p>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):</p>	<p>Теоретические выводы, математические модели (в том числе аналитические решения обратных задач геоэлектрики для слоистых сред) и предложенные архитектуры глубокого обучения (LSTM) убедительно доказаны результатами натурных и лабораторных экспериментов.</p> <p>Соискатель провел масштабные полевые испытания с использованием георадара «Лоза-В» на специально подготовленных грунтовых площадках с заложенными мишенями, а также лабораторные замеры диэлектрической проницаемости в зависимости от влажности (с использованием сертифицированного прибора МГ4). Сравнение численных расчетов с реальными экспериментальными данными (радарограммами) показало высокую сходимость: погрешность алгоритмического определения глубины залегания объектов и толщины слоев составила всего 0,2–0,3 см. Это полностью подтверждает адекватность и работоспособность предложенных теоретических моделей.</p>
		<p>1) да;</p>	
		<p>2) нет.</p>	

		<p>8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.</p>	<p>Важные теоретические, методологические и практические утверждения диссертации полностью подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу. Автор опирается на обширный библиографический список (свыше 100 наименований), который включает как фундаментальные классические труды по электродинамике, теории распространения электромагнитных волн и обратным задачам геофизики, так и современные зарубежные и отечественные публикации (индексируемые в базах Scopus и Web of Science), касающиеся передовых методов машинного и глубокого обучения (в том числе моделей LSTM). Это свидетельствует о глубокой проработке предметной области и высокой достоверности теоретической базы исследования.</p>
		<p>8.5 Использованные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора.</p>	<p>Для проведения качественного и всестороннего литературного обзора соискателем проанализирован обширный список библиографических источников, включающий более 100 наименований (в том числе актуальные англоязычные статьи за последние годы). Представленная литература гармонично охватывает все аспекты междисциплинарного исследования: фундаментальные труды по теории обратных задач и электродинамике, работы по аппаратным методам неразрушающего контроля (георадиолокация), а также передовые публикации из международных баз цитирования (Scopus, Web of Science), посвященные применению нейронных сетей и глубокого обучения (в частности, архитектуры LSTM) для обработки физических данных. Количество, качество и глубина проработки использованных источников абсолютно достаточны для объективного анализа текущего</p>

			состояния проблемы, выявления нерешенных задач и обоснования актуальности диссертационной работы.		
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:	Работа вносит вклад в теорию обратных и некорректных задач геоэлектрики. В частности, решена задача определения граничного условия компоненты электромагнитного поля на глубине до исследуемого объекта в неоднородной проводящей среде (где поле усложняется наличием затухания). Также разработано математическое описание функции источника, позволяющее привести математическую модель в соответствие с результатами экспериментальных исследований георадара.		
		1) да;			
		2) нет.			
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:		Разработанные алгоритмы и программное обеспечение применимы для диагностики подповерхностных слоев дорожных конструкций, строительных участков и в задачах археологии. Высокая вероятность применения подтверждается наличием двух актов внедрения: в учебный процесс ВКТУ им. Д. Серикбаева (кафедра «Транспортное строительство») и акта о внедрении программного продукта на производстве.	
		1) да;			
		2) нет.			
		9.3 Предложения для практики являются новыми:			Соискателем предложены полностью новые практические инструменты, включая авторскую программу определения глубины залегания подповерхностных объектов (подтверждено свидетельством о госрегистрации прав на объект авторского права №65240). Впервые предложена методика мониторинга и диагностики структурного состояния дорожных одежд на основе методов глубокого обучения (архитектура LSTM). Кроме того, разработан метод определения диэлектрической проницаемости на основе аналитического решения
		1) полностью новые;			
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);			
		3) не новые (новыми являются менее 25%).			

			уравнения геоэлектрики без применения ресурсоемких итерационных оптимизационных методов.
10.	Качество написания и оформления	<p>Качество академического письма:</p> <p>1) высокое;</p> <p>2) среднее;</p> <p>3) ниже среднего;</p> <p>4) низкое.</p>	<p>Текст диссертации изложен грамотным, профессиональным научным языком с соблюдением норм академического стиля.</p> <p>Работа имеет четкую и логичную структуру: она состоит из введения, четырех взаимосвязанных основных разделов и заключения.</p> <p>Сложная техническая информация и результаты экспериментальных исследований подкреплены и наглядно проиллюстрированы обширным визуальным материалом (включающим 40 рисунков и 11 таблиц), что делает текст понятным и удобным для экспертного восприятия.</p>
11.	Замечания к диссертации	<p>Расширение выборки: Необходимость тестирования разработанных алгоритмов на более крупных наборах данных, охватывающих различные климатические условия и типы дорожных конструкций.</p> <p>Прозрачность алгоритмов: Рекомендация использовать методы объяснимого искусственного интеллекта (Explainable AI) для повышения доверия инженеров и транспортных агентств к результатам автоматического выявления дефектов.</p> <p>Учет дополнительных факторов: Пожелание внедрить в математические модели температурный фактор (например, сезонное промерзание и оттаивание грунта), который критичен для резко континентального климата.</p>	
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)	<p>Представленная докторантом серия публикаций демонстрирует сбалансированное и гармоничное сочетание фундаментальных разработок (аналитические решения уравнений геоэлектрики в частотной области) и передовых прикладных ИТ-решений (рекуррентные нейронные сети LSTM, специализированные программные модули для ЭВМ). Высокий статус и широкая география публикаций Орман И.М. (от профильных казахстанских вестников до авторитетных международных журналов первого квартала с CiteScore 89%) полностью подтверждают достоверность, научную обоснованность, международное признание экспертным сообществом и высокую практическую ценность полученных диссертационных результатов.</p>	

13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Диссертационная работа Орман Индиры Мәлікқызы по своей актуальности, объему проведенных исследований, научной новизне, достоверности полученных результатов и практической значимости полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым Правилами присуждения степеней к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD). Соискатель Орман Индира Мәлікқызы безусловно заслуживает присуждения искомой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D06101 – Информатика, вычислительная техника и управление».
-----	--	---

Официальный рецензент:

**PhD, ассоциированный профессор (доцент),
Член Правления - проректор по академическим
вопросам НАО «Шәкәрім университет»**



Б. Дарибаев

21.05.2026