

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

на диссертационную работу Базарбекова Икрама Медеулы на тему «Исследование моделей и методов искусственного интеллекта для диагностики заболеваний с нарушением когнитивных функций», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D06102 – «Компьютерная и программная инженерия»

№ 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	<p>1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:</p> <p>1) <u>диссертация</u> выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы);</p> <p>2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы);</p> <p>3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).</p>	<p>Тематика диссертационной работы согласуется с приоритетами государственного научного финансирования: исследование реализовано в рамках проекта «Жас ғалым» (ИРН AP25796437) «Разработка интеллектуальной системы диагностики когнитивных нарушений на основе методов машинного обучения и анализа моторики письма». Работа направлена на создание интеллектуальных инструментов медицинской диагностики и соответствует задачам Концепции развития искусственного интеллекта в Республике Казахстан на 2024-2029 годы в части разработки ответственных систем поддержки врачебных решений.</p>
2.	Важность для науки	<p>Работа <u>вносит/не вносит</u> существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта/не раскрыта</u>.</p>	<p>Диссертационная работа вносит весомый вклад в область применения методов искусственного интеллекта для ранней диагностики нейродегенеративных заболеваний. Научная значимость обусловлена разработкой гибридной архитектуры CNN-BiLSTM, обеспечивающей АУС 0,963 и Recall 0,930, что существенно оригинальная гибридная архитектура CNN-BiLSTM для диагностики болезни Альцгеймера по кинематике почерка. Достигнут АУС 0,963 при Recall 0,930, что превышает показатели как классических методов</p>

		<p>МО (SVM, RF, LR, k-NN), так и однокомпонентных и гибридных нейросетевых архитектур (LSTM, LSTM+Attention, Transfomer). Важность работы убедительно раскрыта через анализ ограничений существующих клинических методов диагностики осетевых архитектур (LSTM, LSTM with Attention, Transfomer).</p>
<p>3. Принцип самостоятельности</p>	<p>Уровень самостоятельности:</p> <p>1) <u>высокий</u>;</p> <p>2) <u>средний</u>;</p> <p>3) <u>низкий</u>;</p> <p>4) самостоятельности нет.</p>	<p>Диссертационная работа характеризуется высоким уровнем самостоятельности. Соискатель самостоятельно осуществил проектирование и сборку аппаратного прототипа Smart Rep, организовал и провёл клинический эксперимент с участием 215 испытуемых, разработал алгоритмы предобработки сигналов, реализовал все сравнимые модели машинного обучения и глубокого обучения, а также выполнил их экспериментальную верификацию. Во всех публикациях соискателю принадлежит ведущая роль в постановке задач и подготовке основного текста.</p>
<p>4. Принцип внутреннего единства</p>	<p>4.1 Обоснование актуальности диссертации:</p> <p>1) <u>обоснована</u>;</p> <p>2) <u>частично обоснована</u>;</p> <p>3) <u>не обоснована</u>.</p>	<p>Актуальность диссертационной работы обоснована. Глобальный рост заболеваемости деменцией, прогнозируемое ВОЗ утроение числа пациентов с БА к 2050 году, а также объективные ограничения существующих диагностических методов, такие как высокая стоимость нейровизуализации, инвазивность биохимических маркеров и недостаточная чувствительность когнитивных тестов на ранних стадиях формируют чёткую научную проблему. Особую значимость представляет акцент на доклинической стадии заболевания, поскольку структурные изменения мозга предшествуют клиническим симптомам на несколько лет, ранняя диагностика открывает возможности для своевременного терапевтического вмешательства.</p>

	<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <p>1) <u>отражает</u>;</p> <p>2) частично отражает;</p> <p>3) не отражает.</p>	<p>Содержание диссертации полностью соответствует заявленной теме. Каждый из четырёх разделов представляет законченный этап исследования: от теоретического анализа и разработки сенсорного устройства сбора данных до формирования обучающих данных и экспериментальной проверки моделей. Все разделы построены в логические взаимосвязи, отражают поставленные цели и обеспечивают целостность изложения и соответствуют принятой структуре диссертационных исследований в области компьютерной и программной инженерии.</p>
	<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:</p> <p>1) <u>соответствуют</u>;</p> <p>2) частично соответствуют;</p> <p>3) не соответствуют.</p>	<p>Цель исследования хорошо сформулирована и раскрыта через шесть конкретных задач, охватывающих полный цикл от обзора литературы и разработки устройства до формирования датасета, статистического анализа, аугментации и экспериментальной валидации моделей. Каждая задача имеет измеримый результат и логически связана с общей целью работы, что свидетельствует о методологической зрелости исследования.</p>
	<p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p> <p>1) <u>полностью взаимосвязаны</u>;</p> <p>2) взаимосвязь частичная;</p> <p>3) взаимосвязь отсутствует.</p>	<p>Внутреннее единство диссертации соблюдено в полной мере. Все четыре раздела образуют единую исследовательскую цепочку: теоретическое обоснование выбора объекта исследования (раздел Rep (раздел 2)). Раздел 2 описывает разработанное устройство Smart Rep, данные которого являются входными для всех последующих алгоритмов. В разделе 3 на основе собранных сигналов строится 18-канальный признаковый вектор, разрабатывается метод аугментации и формируется обучающий датасет. В разделе 4 описывается обучение и сравнение моделей ИИ.</p>

	<p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <p>1) <u>критический анализ</u> есть;</p> <p>2) анализ <u>частичный</u>;</p> <p>3) анализ <u>представляет собой не</u> собственные мнения, а цитаты других авторов;</p> <p>4) анализ <u>отсутствует</u>.</p>	<p>Предложенные решения всесторонне аргументированы и сопоставлены с известными аналогами. В разделе 1 выполнен детальный критический разбор методов диагностики БА по данным МРТ, ПЭТ, ЭЭГ, МЭГ и сенсоров с явным указанием ограничений каждого класса методов, что создаёт убедительную научную мотивацию для предложенного подхода на основе кинематики почерка. В разделе 4.2 количественно показана недостаточность классических алгоритмов МО (AUC 0,62–0,76) при работе с кинематическими временными рядами — их результаты служат базовым уровнем сравнения и наглядно демонстрируют ограниченность подходов, основанных на статическом представлении данных. В разделах 4.3–4.4 проведено последовательное сравнение четырёх нейросетевых архитектур на единой тестовой выборке с использованием идентичного протокола валидации: для каждой архитектуры обоснованы её преимущества и ограничения, а гибридная CNN-BiLSTM показала наилучшие результаты (AUC 0,963, Recall 0,930), превзойдя все исследованные аналоги. Таким образом, автор не ограничивается декларированием новизны, а подкрепляет каждое предложенное решение численными сравнениями с альтернативными подходами.</p>
<p>5. Принцип научной новизны</p>	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <p>1) <u>полностью новые</u>;</p> <p>2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u>;</p> <p>3) <u>не новые (новыми являются менее 25%)</u>.</p>	<p>Научные результаты диссертационной работы являются частично новыми. К числу оригинальных относятся гибридная архитектура CNN-BiLSTM применительно к классификации ИМУ-кинематики почерка при БА; 18-канальное признаковое пространство из производных и интегральных характеристик ИМУ-сигналов; метод аугментации на основе Time Warping и Jittering для клинических временных рядов. Базовые архитектурные</p>

	<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) <u>полностью новые</u>;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>компоненты и метрики оценки являются общепринятыми, что не умаляет новизны их конкретного применения и экспериментальной верификации в данном контексте.</p> <p>Полученные в ходе исследования результаты представляют собой значимый научный вклад в развитие методологии применения методов глубокого обучения для диагностики нейродегенеративных заболеваний по кинематическим параметрам графомоторной активности. Выводы о диагностической значимости параметров рывка, скорости письма и углового ускорения установлены на оригинальной клинической выборке ($N = 215$), подтверждены статистически ($p < 0,05$) и не являются воспроизведением ранее известных результатов. Совокупность ключевых выводов верифицирована в рецензируемых публикациях уровня Q1, индексируемых в Scopus и Web of Science, что подтверждает их достоверность.</p>
<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p>1) <u>полностью новые</u>;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Технические решения, предложенные в диссертации, являются полностью новыми и практически обоснованными. Комплекс включает три взаимосвязанные оригинальные разработки: мобильное сенсорное устройство Smart Pen на базе MPU-9250 (100 Гц, 6 DOF), обеспечивающее объективную регистрацию кинематики письма в клинических условиях; алгоритм синтеза обучающих данных, воспринимодящий физиологические паттерны тремора и брадикинезии посредством стохастической инжекции шума и нелинейной деформации временной шкалы; гибридную нейросетевую архитектуру CNN-BiLSTM, реализующую сквозное обучение от сырого сигнала до диагностического решения.</p>	

6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы <u>основаны/не</u> основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы.	Основные выводы диссертации опираются на надёжную доказательную базу. Достоверность экспериментальных результатов обеспечена протоколом GroupKFold ($k = 5$) с полной субъектной изоляцией, исключаяющей утечку данных между пациентами. Итоговые оценки получены исключительно на реальных клинических данных ($N = 215$) по стандартным метрикам: Accuracy, Precision, Recall, F1 и AUC-ROC. Статистическая значимость межгрупповых различий по кинематическим параметрам подтверждена при $p < 0,05$. Полученные результаты согласуются с данными опубликованной статьи в журнале Sensors (Q1, процентиль 80, Scopus), что дополнительно подтверждает их достоверность.
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) <u>доказано</u>;</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) <u>да</u>;</p> <p>2) <u>нет</u>;</p> <p>3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.</p> <p>7.3 Является ли новым?</p> <p>1) <u>да</u>;</p> <p>2) <u>нет</u>;</p> <p>3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.</p>	<p>Все четыре научных положения являются доказанными, нетривиальными и новыми; каждое из них обладает средним уровнем применимости в области медицинской диагностики и разработки интеллектуальных систем поддержки врачебных решений. Доказанность положений подтверждена экспериментально на верифицированной клинической выборке ($N = 215$) с применением строгого протокола субъектной изоляции. Результаты опубликованы в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science: Sensors 2026 (Q1) и Biomedical Signal Processing and Control 2024 (Q1), а также в материалах конференций IEEE и изданиях перечня ККСНВО РК.</p> <p>Положение 1 (Smart Pen): доказано; нетривиально; новое; средний уровень применимости; доказано в статье (ACDSA 2025).</p> <p>Положение 2 (18-канальный признаковый вектор): доказано; нетривиально; новое; средний уровень применимости; доказано в статье (BSPC 2024).</p>

	<p>7.4 Уровень для применения:</p> <p>1) узкий;</p> <p>2) средний;</p> <p>3) широкий;</p> <p>4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.</p> <p>7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>1) да;</p> <p>2) нет;</p> <p>3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.</p>	<p>Положение 3 (метод синтеза данных): Доказано; нетривиально; новое; средний уровень применимости; доказано в статье (Sensors 2026). Положение 4 (CNN-BiLSTM, AUC 0,963): Доказано; нетривиально; новое; средний уровень применимости; доказано в статье (Sensors 2026).</p>
<p>8. Принцип достоверности.</p>	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:</p> <p>1) да;</p> <p>2) нет.</p>	<p>Методология диссертации тщательно обоснована и подробно описана на протяжении всей работы. Методологическая база включает сбор и анализ кинематических данных с инерциальных измерительных модулей, методы цифровой обработки сигналов, численное дифференцирование и интегрирование для извлечения производных кинематических признаков, стохастическое моделирование паттернов для аугментации данных, а также методы глубокого обучения на основе рекуррентных и трансформерных архитектур. Выбор каждого инструмента сопровождается теоретическим обоснованием: частота дискретизации 100 Гц обоснована теоремой Котельникова применительно к спектру патологического тремора (4-12 Гц); применение фильтра Баттерворта с zero-phase filtering аргументировано необходимостью сохранения временной привязки событий; использование оптимизатора Adam обосновано его адаптивным масштабированием шага при оптимизации рекуррентных архитектур на</p>
<p>Достоверность источников и предоставляемой информации</p>		

		<p>защитлённых медицинских данных; протокол GroverKGold с субъектной изоляцией обоснован как единственно корректный способ исключения утечки данных на уровне пациентов. Ключевые утверждения подкреплены ссылками на актуальные источники из изданий, индексируемых в Scopus и Web of Science (132 публикации, преимущественно Q1-Q2), органично встроенными в текст.</p>
	<p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:</p>	<p>Инструментарий исследования соответствует современному уровню вычислительной науки и компьютерных технологий. Первичные данные получены с помощью авторского аппаратного прототипа Smart Rep на базе инерциального модуля MPU-9250 с частотой дискретизации 100 Гц. Реализация выполнена на языке Python с применением актуальных специализированных библиотек: PyTorch для обучения нейросетевых архитектур; scikit-learn для классических алгоритмов МО и процедуры GroverKGold-валидации; NumPy и SciPy для цифровой обработки сигналов и статистического анализа. Качество моделей оценивалось по стандартизированным метрикам (Accuracy, Precision, Recall, F1, AUC-ROC) на независимых тестовых выборках с субъектной изоляцией, что соответствует современным требованиям к верификации моделей машинного обучения в медицинских приложениях.</p>
	<p>1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u>.</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>Все теоретические положения и математические модели, представленные в диссертации, подтверждены результатами клинического эксперимента. Выборка из 215 испытуемых сформирована в партнёрской медицинской организации ТОО «Universal Brain Center» с соблюдением стандартизированного протокола тестирования и принципов Хельсинкской декларации. Межгрупповые различия по ключевым</p>
	<p>1) <u>да</u>;</p>	

	<p>2) нет.</p>	<p>кинематическим параметрам подтверждены с уровнем значимости $p < 0,05$ методами параметрической и непараметрической статистики. Устойчивость результатов классификации обеспечена процедурой GroupKFold-валидации, исключаяющей как переобучение, так и утечку информации между субъектами.</p>
	<p>8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u>/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.</p>	<p>Ключевые утверждения диссертации подкреплены ссылками на актуальные и достоверные научные источники из изданий, индексируемых в Scopus и Web of Science (132 публикации, преимущественно Q1-Q2). Ссылки органично встроены в текст и содержательно поддерживают излагаемые утверждения, а не используются в качестве формального дополнения.</p>
	<p>8.5 Исползованные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора.</p>	<p>Исползованные источники полностью достаточны для проведения литературного обзора и охватывают все ключевые направления предметной области: нейровизуализацию, нейрофизиологические методы диагностики, анализ кинематики почерка, методы глубокого обучения для временных рядов и аугментацию медицинских данных. Полнота источниковой базы независимо подтверждена публикацией систематического обзора в журнале Biomedical Signal Processing and Control (Q1, перцентиль 91, Scopus).</p>
<p>9 Принцип практической ценности</p>	<p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:</p> <p>1) да;</p> <p>2) нет.</p>	<p>Диссертация имеет выраженное теоретическое значение. В работе доказана применимость гибридных нейросетевых архитектур класса CNN-ViLSTM для анализа многомерных кинематических временных рядов ИМУ-сигналов в задачах нейродиагностики. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что совместное использование синтетических и реальных клинических данных при условии строгой субъектной изоляции позволяет получать</p>

	<p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:</p> <p>1) <u>да</u>;</p> <p>2) нет.</p>	<p>устойчивые диагностические модели на выборках ограниченного объёма.</p> <p>Диссертация обладает высокой практической ценностью. Разработанный комплекс сенсорное устройство Smart Rep в сочетании с моделями классификации представляет собой экономически эффективное и неинвазивное решение для скрининга когнитивных нарушений в условиях первичного звена здравоохранения. Высокая чувствительность системы (Recall = 0,930) минимизирует риск пропуска патологии, что является критически важным требованием к скрининговому инструменту. Отсутствие необходимости в специализированном медицинском оборудовании обеспечивает возможность широкого практического внедрения.</p>
<p>10. Качество написания и оформления</p>	<p>9.3 Предложения для практики являются новыми:</p> <p>1) полностью новые;</p> <p>2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u>;</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Практические предложения диссертации являются частично новыми. К оригинальным относятся конструктивное исполнение сенсорного устройства Smart Rep, ориентированного на клинические условия применения, и метод синтеза обучающих данных, специально адаптированных к физиологическим особенностям патологических моторных паттернов. Методология валидации и система метрик соответствуют принятым стандартам оценки моделей машинного обучения в медицинских приложениях.</p>
	<p>Качество академического письма:</p> <p>1) <u>высокое</u>;</p> <p>2) среднее;</p> <p>3) ниже среднего;</p> <p>4) низкое.</p>	<p>Диссертационная работа написана грамотным академическим языком с чёткими и точными формулировками. Структура изложения логична и соответствует принятым стандартам оформления диссертационных исследований. Математический аппарат представлен корректно и в достаточном объёме. Иллюстративный материал - таблицы, рисунки и схемы оформлен в соответствии с</p>

		Требованиями и эффективно поддерживает текстовое изложение.
11. Замечания к диссертации	<p>Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Замечания носят рекомендательный характер. Замечания не снижают научной и практической ценности работельный характер и указывают на направления возможного развития исследования в рамках последующих научных работ.</p> <ol style="list-style-type: none">1. Для глубокого обучения 215 обучающих данных — это относительно небольшой объем. Это может привести к переобучению модели.2. На почерк могут влиять возраст, усталость, стресс, заболевания суставов, особенности письма человека и могут снизить чувствительность модели и устройства. Я считаю, что эти факторы следует учитывать при работе с моделью и устройством.3. Определение оптимальных гиперпараметров для алгоритмов машинного обучения было проведено, однако важность гиперпараметров при использовании нескольких параметров не была учтена.4. Набор данных, использованный в диссертации, имеет важное значение также для выявления сходных когнитивных нарушений и требует длительного накопления данных. Дальнейший сбор и расширение данных являются крайне важными для совершенствования модели, а полученные результаты имеют существенное значение для пациентов. В связи с этим предлагается продолжить данную работу в как исследовательский проекта. <p>Перечисленные замечания не снижают научной и практической ценности представленной работы и могут служить основой для дальнейших исследований.</p>	



