

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

на диссертационную работу Базарбекова Икрама Медеуұлы 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 выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы);</u></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>Диссертационная работа выполнена в рамках грантового финансирования молодых учёных по проекту «Жас ғалым» (ИРН AP25796437) «Разработка интеллектуальной системы диагностики когнитивных нарушений на основе методов машинного обучения и анализа моторики письма».</p> <p>Диссертационная работа соответствует Концепции развития ИИ в РК на 2024–2029 годы.</p>
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит/не вносит</u> существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта/не раскрыта</u> .	<p>Работа вносит существенный вклад в науку, её важность хорошо раскрыта. Предложена оригинальная гибридная архитектура CNN-BiLSTM и метод генерации синтетических данных для диагностики болезни Альцгеймера по кинематике почерка. Достигнут AUC 0,963 при Recall 0,930, что</p>

			превышает показатели классических методов машинного обучения и существующих нейросетевых архитектур (LSTM, LSTM with Attention, Transformer).
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности:	Уровень самостоятельности оценивается как высокий. Автор самостоятельно разработал аппаратный прототип Smart Pen, сформировал клиническую базу данных (N=215), реализовал алгоритмы обработки сигналов, архитектуры нейронных сетей и провёл экспериментальное исследование. Публикации оформлены при ведущем участии соискателя.
		1) <u>высокий</u> ;	
		2) <u>средний</u> ;	
		3) <u>низкий</u> ;	
4) самостоятельности нет.			
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации:	В диссертационной работе актуальность обусловлена ростом числа пациентов с болезнью Альцгеймера и других видов деменции, ограниченностью существующих методов диагностики, такие как высокая стоимость (МРТ/ПЭТ), инвазивность, лучевая нагрузка, необходимость доступных цифровых биомаркеров - всё чётко изложено во введении. В работе также сделан акцент на диагностирования ранней стадии болезни Альцгеймера, так как видимые маркеры появляются спустя семь лет после ранней стадии болезни, что дает большие возможности для предотвращения и замедления прогресса болезни.
		1) <u>обоснована</u> ;	
		2) <u>частично обоснована</u> ;	
		3) не обоснована.	
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:	Содержание диссертации соответствует поставленной тематике и последовательно излагает содержание исследования. Все разделы построены в логической взаимосвязи, отражают поставленные цели и
		1) <u>отражает</u> ;	
		2) <u>частично отражает</u> ;	
3) не отражает.			

		задачи и обеспечивают целостность изложения. Несоответствий теме диссертации не выявлено.
	4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:	Цель и задачи соответствуют тематике диссертационного исследования. Каждая задача связана с общей целью и характеризует отдельные этапы работы, включая анализ существующих работ и решений, разработку предлагаемого подхода и его экспериментальную оценку, что обеспечивает научную обоснованность и практическую полноту исследования.
	1) <u>соответствуют</u> ;	
	2) <u>частично соответствуют</u> ;	
	3) <u>не соответствуют</u> .	
	4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:	Все разделы и положения диссертации полностью взаимосвязаны. Раздел 1 формирует теоретическую базу и обосновывает выбор кинематики почерка как объекта исследования. Раздел 2 описывает разработанное устройство Smart Pen, данные которого являются входными для всех последующих алгоритмов. Раздел 3 развивает раздел 2: на основе собранных сигналов строится 18-канальный признаковый вектор, разрабатывается метод аугментации и формируется обучающий датасет. Раздел 4 описывает применение классических и нейросетевых моделей и их обучение на данных, подготовленных в разделе 3, а также проведен их сравнительный анализ который даёт ответ на исследовательский вопрос, поставленный в разделе 1.
	1) <u>полностью взаимосвязаны</u> ;	
	2) <u>взаимосвязь частичная</u> ;	
	3) <u>взаимосвязь отсутствует</u> .	

		<p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <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>Критический анализ присутствует в полном объёме. Все предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с известными аналогами. В разделе 1 проведён систематический обзор существующих методов диагностики БА на основе МРТ, ПЭТ, ЭЭГ, МЭГ и сенсорных данных с явной формулировкой ограничений каждого подхода, что создаёт аргументированную мотивацию для предложенного решения на основе кинематики почерка. В разделе 4.2 реализованы и протестированы четыре классических алгоритма машинного обучения, результаты которых (AUC 0,62–0,76) служат базовым уровнем сравнения и наглядно демонстрируют ограниченность подходов, основанных на статическом представлении данных. В разделах 4.3–4.4 выполнено 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>
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми?	Научные результаты диссертационной работы обладают новизной и актуальностью.

		1) полностью новые;	<p>Научные результаты являются частично новыми. В работе предложена гибридная CNN-BiLSTM для анализа ИМУ-кинематики почерка при БА; также было приведено сравнение данного подхода с классическими методами машинного обучения и другими нейросетевыми моделями, сформирован 18-канальный признаковый вектор на основе ИМУ-данных.</p>
2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%);</u>			
3) не новые (новыми являются менее 25%).			
5.2 Выводы диссертации являются новыми?	<p>Полученные в ходе исследования результаты представляют собой значимый научный вклад и вносят 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 получены впервые на оригинальной клинической выборке (N = 215) и подтверждены статистически ($p < 0,05$), а вывод о превосходстве гибридной архитектуры CNN-BiLSTM над однокомпонентными, гибридными нейросетевыми моделями и классическими алгоритмами машинного обучения является новым экспериментально обоснованным результатом. Все ключевые выводы верифицированы в рецензируемых публикациях уровня Q1, процентиль выше 80 и не воспроизводят ранее известных результатов.</p>		
1) <u>полностью новые;</u>			
2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%);</u>			
3) не новые (новыми являются менее 25%).			

		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p>	<p>Полученные в ходе исследования результаты представляют собой значимый научный вклад и вносят вклад в область разработки неинвазивных технических средств диагностики нейродегенеративных заболеваний. В диссертации предложены три оригинальных технических решения: архитектура сенсорного устройства Smart Pen на базе инерциального модуля MPU-9250 с частотой регистрации 100 Гц, метод генерации синтетических обучающих выборок посредством стохастической инъекции шума и нелинейной деформации временной шкалы, а также гибридная нейросетевая архитектура CNN-BiLSTM для классификации биомеханических временных рядов. Каждое из перечисленных решений обосновано сравнительным анализом с известными аналогами, экспериментально валидировано на клинической выборке и защищено публикациями в рецензируемых изданиях, что подтверждает их новизну и практическую состоятельность.</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>6.</p>	<p>Обоснованность основных выводов</p>	<p>Все основные выводы <u>основаны</u>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы.</p>	<p>Все основные выводы основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах. Применена процедура GroupKFold (k=5) с изоляцией субъектов, исключая утечку данных. Оценка выполнена на реальных клинических данных (N=215). Метрики (AUC, Recall, F1, Accuracy, Precision) рассчитаны стандартными методами. Результаты согласуются с опубликованной</p>

			статьей в журнале Sensors Q1, процентиль 80 Scopus.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:	Основные положения, выносимые на защиту, являются обоснованными и обладают научной и практической значимостью; они отличаются достаточной степенью научной новизны и подтверждаются результатами, представленными в публикациях автора. Полученные результаты отражены в статьях и материалах международных конференций, включая издания, индексируемые в базах Scopus и Web of Science и относящиеся к квартилям Q1 (Sensors, 2026) и Q1 (Biomedical Signal Processing and Control, 2024), а также в статьях, включённых в перечень ККСНВО РК, и в материалах международных конференций IEEE. Все четыре научных положения доказаны экспериментально на верифицированной клинической выборке (N = 215) с применением строгого протокола субъектной изоляции, нетривиальны и обладают средним уровнем применимости в области медицинской диагностики и разработки интеллектуальных систем поддержки врачебных решений.
		7.1 Доказано ли положение?	
		1) <u>доказано</u> ;	
		2) скорее доказано;	
		3) скорее не доказано;	
		4) не доказано;	
		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) <u>средний</u> ;		
	3) широкий;		

		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 положения в статье невозможно.	
8.	Принцип достоверности.	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:	<p>Выбор методологии обоснован и подробно описан на протяжении всей диссертационной работы.</p> <p>Методологическая база исследования включает сбор и анализ кинематических данных с инерциальных измерительных модулей, методы цифровой обработки сигналов, 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); выбор оптимизатора Adam аргументирован его устойчивостью при работе с зашумлёнными временными рядами; протокол GroupKFold-валидации с субъектной изоляцией обоснован необходимостью исключения утечки данных</p>
	Достоверность источников и предоставляемой информации	1) <u>да</u> ;	
		2) нет.	

		на уровне пациентов. Достоверность источников подтверждается использованием 132 актуальных публикаций, преимущественно из изданий, индексируемых в Scopus и Web of Science.
	8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и компьютерных технологий. Реализация выполнена на языке Python с применением актуальных библиотек: PyTorch - для обучения нейросетевых архитектур; scikit-learn для классических алгоритмов и GroupKFold для валидации; NumPy и SciPy для цифровой обработки сигналов и статистического анализа. Сбор первичных данных осуществлялся с помощью разработанного аппаратного прототипа Smart Rep на базе инерциального модуля MPU-9250 с частотой 100 Гц. Качество моделей оценивалось по стандартизированным метрикам: Accuracy, Precision, Recall, F1 и AUC-ROC на независимых тестовых выборках с субъектной изоляцией, что соответствует современным требованиям к верификации моделей машинного обучения в медицинских приложениях.
	1) да;	
	2) нет.	

		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):	Соответствие теоретических положений реальным данным верифицировано на клинической выборке N = 215, собранной в условиях партнёрской медицинской организации с соблюдением стандартизированного протокола и одобрением локального этического комитета. Статистический анализ подтвердил достоверность межгрупповых различий по кинематическим параметрам ($p < 0,05$), а экспериментальное сравнение моделей на независимых тестовых выборках с субъектной изоляцией исключило возможность завышения метрик за счёт переобучения.	
		1) <u>да</u> ;		
		2) нет.		
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Достоверность утверждений и источников подтверждается использованием 132 актуальных публикаций, преимущественно из изданий, индексируемых в Scopus и Web of Science.	
		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора.	Используемые источники более чем достаточны для литературного обзора, что также подтверждается в обзорной статье в журнале Q1 процентиль 91 Biological signal processing and control.	
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:	Диссертационная работа вносит теоретический вклад в методы DL для медицинской диагностики, обосновывает применение гибридных архитектур для кинематических временных рядов.	
				1) <u>да</u> ;
				2) нет.

		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:	Сенсорное устройство Smart Pen и модели классификации могут быть внедрены в первичное здравоохранение для скрининга болезни Альцгеймера.
		1) <u>да</u> ; 2) нет.	
		9.3 Предложения для практики являются новыми:	Предложенная в работе сенсорная система и метод аугментации оригинальны; методология кросс-валидации и метрики - стандартные.
		1) полностью новые;	
		2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u> ;	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма:	Качество академического письма высокое. Диссертация написана грамотным академическим языком, структура логична, формулировки чёткие. Математический аппарат изложен корректно. Таблицы и рисунки оформлены в соответствии с требованиями.
		1) <u>высокое</u> ;	
		2) среднее;	
		3) ниже среднего;	
		4) низкое.	
11.	Замечания к диссертации	<p>Представленная диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Замечания носят рекомендательный характер и указывают на направления возможного развития исследования в рамках последующих научных работ.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Клиническая выборка включает 215 испытуемых, что достаточно для получения статистически значимых результатов, однако расширение выборки за счёт многоцентрового сбора данных позволило бы повысить статистическую мощность исследования и обеспечить большую репрезентативность различных демографических групп. 2. В настоящем исследовании рассматривается бинарная классификация (AD/CN). Перспективным направлением является распространение подхода на многоклассовую задачу с разграничением лёгкой, умеренной и тяжёлой степени когнитивных нарушений, что повысило бы клиническую ценность системы. 3. Исследование проводилось в поперечном дизайне. Проведение лонгитюдного наблюдения за динамикой кинематических показателей у пациентов группы риска позволило бы оценить чувствительность предложенных биомаркеров к прогрессированию заболевания во времени. 	

		<p>4. Интеграция предложенного подхода в мультимодальную диагностическую систему, объединяющую кинематические, речевые и окуломоторные данные, могла бы обеспечить дополнительный прирост диагностической точности.</p> <p>Перечисленные замечания не снижают научной и практической ценности представленной работы и могут служить основой для дальнейших исследований.</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>1. Sensors 2026 (Q1, процентиль 80): высокий уровень, оригинальная постановка задачи sim-to-real адаптации для диагностики БА.</p> <p>2. BSPP 2024 (Q1, процентиль 91): систематический обзор 132 источников по методам ИИ.</p> <p>3. Вестник КБТУ 2024: предварительные результаты, достаточный уровень.</p> <p>4. IEEE ACDSA 2025: прикладной инженерный результат.</p> <p>5. Procedia CS 2025: вспомогательная публикация.</p> <p>Совокупность публикаций достаточна для защиты PhD.</p>
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	<p>Ходатайствовать перед Комитетом о присуждении Базарбекову Икраму Медеуулы степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D06102 — «Компьютерная и программная инженерия». Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD).</p>

Заключение

Представленная диссертация на соискание степени доктора философии (PhD) Базарбекова Икрама Медеуулы на тему «Исследование моделей и методов искусственного интеллекта для диагностики заболеваний с нарушением когнитивных функций», является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой, которая отвечает требованиям «Правил присуждения степеней», а ее автор заслуживает ходатайства перед Комитетом о присуждении степени доктора философии (PhD)

Официальный рецензент:

к.т.н., профессор-исследователь,
 Директор Высшей Школы Телекоммуникации
 Университет Туран



Куламбаев Бахытжан Оразалиевич

заттарға
 Начальник ОФРП
 университета «Туран»