

**Письменный отзыв официального рецензента
по диссертации Ларгина Александра Васильевича
на тему «Разработка программно-аппаратных средств и метода
цифровой обработки и интеллектуального анализа сигналов
электрокардиограммы и фотоплетизмограммы для прогнозирования
уровня артериального давления», на соискание степени доктора
философии (PhD) по специальности 8D06201 – «Радиотехника,
электроника и телекоммуникации».**

№ 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); 3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно- технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	Диссертационная работа соответствует основным направлениям, определенным Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан, а именно: Раздел «Передовое производство, цифровые и космические технологии», Подпункту №7 «Информационные и вычислительные технологии»; Подпункту №9 «Искусственный интеллект». Кроме того, диссертация соответствует: Государственной программе развития здравоохранения Республики Казахстан на 2020–2025 годы, утвержденной Постановлением Правительства Республики Казахстан № 982 от 26 декабря 2019 года; Концепции развития здравоохранения Республики Казахстан до 2026 года, утвержденной Постановлением Правительства Республики Казахстан от 24 ноября 2022 года № 945; Стратегии "Казахстан-2050": Новый политический курс состоявшегося государства, утвержденной Указом Президента Республики Казахстан № 577 от 14 декабря 2012 года.
2.	Важность для науки	Работа вносит /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта /не раскрыта.	Работа вносит существенный вклад в науку, так как она предлагает новый подход в области медицинской диагностики, особенно в области неинвазивного прогнозирования параметров артериального давления (АД). Разработаны эффективные алгоритмы цифровой обработки

			<p>сигналов электрокардиограммы (ЭКГ) и фотоплетизмограммы (ФПГ), которые позволяют извлекать из синхронных сигналов значимые информационные признаки, на основе которых становится возможным прогнозировать параметры АД. Эти методы являются новыми, поскольку они не требуют использования манжет, и могут быть использованы для проведения скрининга и длительного мониторинга состояния пациента без необходимости в индивидуальной калибровке. Такое улучшение значительно расширяет возможности медицинской диагностики и мониторинга сердечно-сосудистых заболеваний.</p> <p>Важность работы хорошо раскрыта в диссертации, что подтверждается подробным описанием научной новизны, направленности на решение актуальной проблемы измерения АД, и применением современных методов цифровой обработки сигналов (ЦОС) и интеллектуального анализа данных. В диссертации показано, как использование синхронно зарегистрированных сигналов ФПГ и ЭКГ позволяет повысить точность прогнозирования АД. Важность работы также подтверждается ее практическим применением для создания компактных и интегрируемых устройств, которые могут быть использованы в носимой электронике, таких как смартфоны и фитнес-браслеты, что существенно улучшает доступность и удобство мониторинга для пациентов.</p>
3.	Принцип самостоятельности	<p>Уровень самостоятельности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) высокий; 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет. 	<p>Работа демонстрирует высокий уровень авторской самостоятельности и академической честности. Все использованные материалы сопровождаются соответствующими ссылками. По результатам исследования опубликовано 8 научных работ, включая 2 статьи в международных рецензируемых научных журналах, 3 статьи в научных изданиях, включенных в перечень, рекомендуемый для публикаций основных результатов научной деятельности, утверждаемый</p>

			уполномоченным органом, а также 3 материала на международных научных конференциях. Кроме того, получено 1 авторское право (Приложение А).
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) обоснована; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Актуальность диссертационной работы полностью обоснована, так как исследуемая проблема – прогнозирование АД с использованием современных методов цифровой обработки и интеллектуального анализа сигналов (ЭКГ и ФПГ) – является актуальной в современном медицинском приборостроении. Высокий уровень заболеваемости сердечно-сосудистыми заболеваниями, включая гипертонию, а также необходимость в ранней и точной диагностике делает проблему мониторинга АД чрезвычайно важной. Введение новых неинвазивных методов для прогнозирования и контроля уровня АД имеет большое значение для улучшения качества диагностики и лечения. Также актуальность работы подтверждается потребностью в создании доступных и эффективных инструментов для постоянного мониторинга АД, что отвечает современным требованиям медицины и здравоохранения. Эти задачи становятся особенно важными с учетом растущего числа хронических заболеваний и необходимости разработки решений, которые могут быть интегрированы в повседневную жизнь людей через носимую электронику, такие как мобильные приложения для самоконтроля.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) отражает; 2) частично отражает; 3) не отражает.	Содержание диссертации отражает тему диссертации, работа сосредоточена на разработке метода прогнозирования АД с использованием цифровой обработки и интеллектуального анализа сигналов ЭКГ и ФПГ. Все разделы исследования, включая теоретическую часть, методы обработки данных, разработку алгоритмов и экспериментальные исследования, направлены на решение поставленной задачи, связанной с улучшением точности мониторинга АД безманжетным способом.

	<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>соответствуют;</u> 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют. 	<p>Цель и задачи соответствуют теме диссертации. При этом количество и последовательность задач обеспечивают достижение цели исследования.</p>
	<p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>полностью взаимосвязаны;</u> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует. 	<p>Все разделы и подразделы диссертации логически взаимосвязаны, четко обоснованы и характеризуются ясностью и последовательностью изложения материала. Диссертационная работа представляет собой рукопись компьютерного набора объемом 102 страницы, состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка используемых источников из 98 наименований и приложения. В тексте представлены 50 рисунков и 13 таблиц. Соискателем проделана тщательная работа по каждому разделу рассматриваемой темы, которая полностью раскрыта, решены поставленные задачи, что позволяет утверждать о достижении поставленной цели.</p>
	<p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>критический анализ есть;</u> 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует. 	<p>Критический анализ в работе подтверждается. В диссертации автор представляет аргументированные новые решения, включая: многоступенчатый алгоритм ЦОС ЭКГ и ФПГ; подход к выделению значимых информативных признаков из сигналов ФПГ и ЭКГ для оценки АД; модель классификатора, позволяющая на основе данных сигналов ФПГ и ЭКГ детектировать три уровня АД: низкое, нормальное и высокое; регрессионные модели, позволяющие прогнозировать параметры систолического, диастолического и среднего АД на основе характеристик сигналов ФПГ и ЭКГ; программно-аппаратный комплекс для прогнозирования в реальном времени параметров АД по данным сигнала ФПГ с пальца руки и сигнала ЭКГ в первом стандартном отведении, снимаемых синхронно. Эти решения обоснованы на основе анализа существующих методов и подходов, описанных в научной литературе.</p>

5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <p>1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).</p>	<p>Научные результаты и положения диссертации являются полностью новыми, так как предложенный метод прогнозирования АД с использованием цифровой обработки и интеллектуального анализа сигналов ЭКГ и ФПГ значительно отличаются от существующих решений в этой области. В работе разработаны: Многоступенчатые алгоритмы цифровой обработки сигналов, которые позволяют извлекать значимые информативные признаки для прогнозирования АД, что ранее не использовалось в такой комбинации. Методы интеллектуального анализа данных, основанные на машинном обучении, для точного прогнозирования систолического, диастолического и среднего АД, которые показывают более высокую точность по сравнению с известными методами. Программно-аппаратный комплекс для прогнозирования АД в реальном времени, который может быть использован в носимых устройствах для мониторинга и скрининга АД, что делает его практичным и полезным инструментом в медицине. Кроме того, работа предлагает совместное использование синхронных ЭКГ и ФПГ сигналов, что является новым решением для прогнозирования АД. Этот метод имеет высокую практическую значимость и был протестирован с использованием реальных данных, что подтверждает его эффективность. Таким образом, научные результаты и положения диссертации являются полностью новыми, так как они представляют собой уникальные решения, которые вносят существенный вклад в развитие методов прогнозирования АД.</p>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p>	<p>Выводы в диссертационной работе являются полностью новыми, получены автором и сформулированы в диссертации, представляют собой новые научные знания в области неинвазивного и безманжетного мониторинга АД и могут быть</p>

		3) не новые (новыми являются менее 25%).	использованы для улучшения диагностики и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</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>Технические и технологические решения, представленные в диссертации, являются новыми и обоснованными по следующим причинам:</p> <p>Разработка новых алгоритмов ЦОС для синхронных ЭКГ и ФПГ является новым техническим решением, так как такие методы не применялись в подобном сочетании. Это решение обосновано наличием научных исследований, подтверждающих эффективность синхронной регистрации и комбинированного анализа этих сигналов для точного прогнозирования АД. Алгоритмы обеспечивают высокую точность извлечения признаков и снижают влияние помех, что делает их применимыми для практического использования.</p> <p>Создание программно-аппаратного комплекса для непрерывного мониторинга АД с использованием разработанных алгоритмов является технологическим новшеством. Этот комплекс интегрирует передовые решения в области ЦОС, машинного обучения и беспроводной связи, что позволяет создавать устройства, которые могут работать в реальном времени и быть интегрированы в носимую электронику. Обоснование такого решения подтверждается достижениями в области микроэлектроники, которые позволяют эффективно обрабатывать биомедицинские сигналы и интегрировать их в компактные устройства.</p>
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы основаны /не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Все основные выводы основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах с применением соответствующего инструментария аналитических и экспериментальных исследований, а также средств автоматизации математических расчетов и визуализации результатов. В результате предложен метод прогнозирования АД на основе анализа синхронных сигналов ЭКГ и ФПГ и

		<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение? 1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно.</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.</p> <p>7.3 Является ли новым? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.</p> <p>7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.</p> <p>7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.</p>	<p>разработан программно-аппаратный комплекс, реализующий данный метод.</p> <p>Все основные положения, представленные в диссертации и выносимые на защиту:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Доказаны; 2. Не являются тривиальными; 3. Являются новыми; 4. Уровень применения широкий; 5. Доказаны в статьях автора. <p>Положение 1: Многоступенчатый алгоритм цифровой обработки ФПГ и ЭКГ, позволяющий извлекать из синхронно зарегистрированных сигналов значимые информативные признаки для прогнозирования уровня АД. Отражено в статье:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Метод автоматического детектирования характерных точек пульсовой волны. Труды Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сағынова, 2024, №1 (94), с. 508-510. DOI 10.52209/1609-1825 2024 1 498. - Анализ методов подавления сетевой наводки в задачах цифровой обработки электрокардиографических сигналов. Труды Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сағынова, 2022, №1 (92), с. 291-296. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_2_291 <p>Положения 2 и 3: Отражены в статье:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Devising a method for predicting a blood pressure level based on electrocardiogram and photoplethysmogram signals, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2022, Vol. 5, No. 2, pp. 62-74 (Scopus). https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265066. - Также отражены в авторском свидетельстве: Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом №29850 от «21» октября 2022 года. <p>Положение 4: Программно-аппаратный комплекс для прогнозирования в реальном времени параметров АД по данным сигнала ФПГ с пальца руки и</p>
--	--	---	--

		<p>сигнала ЭКГ в первом стандартном отведении, снимаемых синхронно.</p> <p>Отражено в статьях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Разработка измерительного устройства для оценки уровня кровяного давления по данным сигналов электрокардиограммы и фотоплетизмограммы. Вестник КазАТК, 2023, № 2 (125), с. 354-362. https://doi.org/10.52167/1609-1817-2023-125-2-354-362. - Design of a complex of medical service robots and analysis of transmission characteristics of drives. Journal of Applied Engineering Science, 2022, Vol. 20, No. 4, pp. 1242-1253 (Scopus). https://doi.org/10.5937/jaes0-38656. 	
8.	<p>Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации</p>	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:</p> <p>1) да; 2) нет.</p>	<p>Выбор методологии исследования достаточно обоснован и подкреплён достаточным количеством изученных источников.</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>1) да; 2) нет.</p>	<p>В диссертационной работе использованы современные методы научных исследований, включая методы цифровой обработки сигналов и машинного обучения, что является актуальным в области медицинского приборостроения для прогнозирования АД.</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>1) да; 2) нет.</p>	<p>Все предложенные теоретические модели и алгоритмы были подтверждены экспериментальными результатами, полученными на основе реальных данных ЭКГ и ФПГ, что демонстрирует их точность и применимость для определения АД в реальных условиях.</p>

		<p>8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u>/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.</p>	<p>В работе использована актуальная и достоверная научная литература, которая подтверждает все ключевые утверждения, включая методы ЦОС, использование машинного обучения для прогнозирования АД и применения ФПГ и ЭКГ сигналов. Все утверждения подкреплены ссылками на статьи и исследования, опубликованные в высокорейтинговых журналах в последние несколько лет.</p>
		<p>8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u>/не достаточны для литературного обзора.</p>	<p>В работе использованы достаточные и актуальные источники, которые охватывают все аспекты диссертационного исследования по разработке метода прогнозирования АД и разработке программно-аппаратного комплекса, реализующего данный метод. Многие источники относятся к высокорейтинговым и авторитетным публикациям последних лет, что подтверждает достаточность использованной литературы для глубокого и всестороннего обзора темы. Всего в работе было использовано 98 наименований источников.</p>
9	<p>Принцип практической ценности</p>	<p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u>; 2) нет.</p>	<p>Диссертация имеет теоретическое значение, так как предлагает новые алгоритмы ЦОС ЭКГ и ФПГ, а также развивает подходы в области определения АД с использованием машинного обучения. Эти теоретические разработки способствуют углублению знаний в области неинвазивных методов мониторинга АД и могут стать основой для дальнейших исследований и теоретических моделей в биомедицинской инженерии.</p>
		<p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u>; 2) нет.</p>	<p>Диссертация имеет практическое значение, поскольку предложенные алгоритмы ЦОС для ЭКГ и ФПГ, а также модели прогнозирования АД, могут быть использованы в реальных медицинских устройствах для мониторинга здоровья. Результаты исследования имеют высокий потенциал для внедрения в носимые устройства и системы для наблюдения за состоянием пациентов, что значительно улучшает диагностику и предотвращение сердечно-сосудистых заболеваний, что подтверждается разработанным</p>

			прототипом программно-аппаратного комплекса для прогнозирования параметров АД.
		9.3 Предложения для практики являются новыми: 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Все предложения для практики являются полностью новыми, так как разработанный метод прогнозирования АД, а также программно-аппаратный комплекс для реального мониторинга АД, представляют собой инновационные решения. Эти предложения открывают новые возможности для внедрения неинвазивных и точных методов диагностики и мониторинга, что значительно улучшает качество медицинских услуг и доступность для пациентов.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Качество академического письма высокое. В работе соблюдены все требования академического письма: четкая структура, высокая точность изложения, правильное использование научной терминологии и актуальных источников, ясность и логичность выводов.

Решение официального рецензента:

Рекомендую ходатайствовать перед Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан для присуждения докторанту Ларгину Александру Васильевичу степени доктора философии (PhD) по специальности 8D06201 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации».

Официальный рецензент

кандидат технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
«Робототехника и технические
средства автоматики»

Института автоматики и информационных
Технологий Казахского национального
исследовательского технического
университета им. К.И. Сатпаева
(Сәтбаев университеті), г. Алматы

Ожикенов Касымбек Адильбекович

