

# Повышение эффективности телемедицины с помощью инновационных носимых биотехнологий: удаленная оценка глазного дна для улучшенного мониторинга зрительного здоровья с применением смартфонов и искусственного интеллекта

Али Маея

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Alimayya1357@gmail.com

**Аннотация.** Данная статья представляет собой исследование инноваций в области носимых биотехнологий в телемедицине, с акцентом на удаленной оценке фундуса для улучшенного мониторинга зрительного здоровья. Мы демонстрируем биотехнические аспекты нового носимого комплекса, подчеркивая его роль в развитии теоретических и статистических аспектов телемедицины. В статье обсуждается потенциальное воздействие данной инновации на создание телекоммуникационных систем для медицинских приложений, особенно в офтальмологии. Кроме того, прослеживается путь развития носимого аппаратно-программного комплекса, выделяя его приложения в телемедицине.

**Ключевые слова:** телемедицина, носимые биотехнологии, оценка глазного дна, зрительное здоровье, мониторинг, офтальмология, телекоммуникационные системы, смартфоны, искусственный интеллект

## I. ВВЕДЕНИЕ

Телемедицина стремительно развивается, предлагая новые возможности для дистанционного оказания медицинской помощи. По данным Министерства здравоохранения и социальных служб США (HHS), использование телемедицины резко возросло за последние годы. Статистика показывает, что количество посещений теле-здравоохранения в США увеличилось на 175 % с 2019 по 2020 год, при этом только в марте 2020 года наблюдался рост на 3,421 %. Этот рост обусловлен несколькими факторами, включая удобство, экономию времени и средств, а также растущую доступность технологий [1, 2].

Однако традиционные методы телемедицины имеют свои ограничения, особенно в области специализированных исследований, таких как офтальмология. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), во всем мире насчитывается около 2,2 млрд человек с нарушениями зрения/слепотой, из которых по меньшей мере 1 млрд случаев можно было бы предотвратить или вылечить при раннем выявлении и

лечении. Традиционные осмотры глаз требуют личного присутствия пациента у врача-офтальмолога, что может быть затруднительным для людей, проживающих в отдаленных районах с ограниченным доступом к специалистам (особенно в развивающихся странах), или для людей с ограниченной мобильностью. [3]

В этом контексте инновационные носимые биотехнологии открывают новые горизонты для телемедицины, позволяя проводить удаленную оценку состояния здоровья пациента. Одним из наиболее перспективных применений является разработка носимых устройств для анализа глазного дна (fundus), которое предоставляет важную информацию о здоровье сетчатки и других структур глаза. Исследования, опубликованные в журнале Nature [3] «A foundation model for generalizable disease detection from retinal images» что изображения глазного дна, полученные с помощью смартфонов, могут быть использованы для диагностики различных глазных заболеваний, таких как диабетическая ретинопатия и глаукома, с высокой точностью. [4]

Диабетическая ретинопатия является ведущей причиной слепоты у взрослых трудоспособного возраста в США, согласно оценкам Американской академии офтальмологии [5]. Исследования показывают, что использование телеофтальмологии, основанной на изображениях глазного дна, может привести к значительному снижению случаев невыявленной диабетической ретинопатии, особенно среди пациентов с высоким риском.

Данная работа посвящена изучению того, как носимые биотехнологии, в частности, устройства для анализа глазного дна, могут повысить эффективность телемедицины, особенно в области офтальмологии. Мы рассмотрим биотехнические аспекты нового носимого комплекса, его разработку, а также перспективы его применения для улучшения мониторинга здоровья глаз с использованием смартфонов и искусственного интеллекта.

## II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### A. Обзор исследований по носимым устройствам и системам в телеофтальмологии

Обзор исследований по носимым устройствам и системам в телеофтальмологии подчеркивает значительный потенциал таких инноваций в области диагностики и мониторинга заболеваний глаз. Исследования показывают, что носимые и имплантируемые биосенсоры для непрерывного мониторинга внутриглазного давления обеспечивают врачам возможность выявлять глаукому на ранних стадиях. Это важно, так как глаукома является одной из ведущих причин слепоты, и ранняя диагностика способствует своевременному лечению и предотвращению ухудшения зрения. [6–7]

Другие исследования показывают, что смартфоны с функцией фундоскопии могут использоваться для скрининга диабетической ретинопатии, что особенно важно в регионах с ограниченным доступом к офтальмологическому оборудованию. Это демонстрирует, как технологии могут повысить доступность офтальмологической помощи, особенно для людей, живущих в удаленных районах или сельской местности. [8]

Также стоит отметить разработку программ телемедицины, которые позволяют проводить скрининг, диагностику, мониторинг и лечение различных заболеваний глаз у детей на расстоянии. Это существенно улучшает доступ к офтальмологической помощи для детей, особенно тех, кто живет в удаленных районах или нуждается в специализированном вмешательстве. [9, 10]

Кроме того, исследование «Home Monitoring of Age-Related Macular Degeneration» подчеркивает важность домашнего мониторинга возрастной макулярной дегенерации с использованием устройств мониторинга, что открывает новые перспективы для реального времени контроля состояния заболевания и раннего выявления его прогрессирования. [11]

Носимые устройства также могут быть использованы для домашнего мониторинга возрастной макулярной дегенерации (ВМД). Хотя это направление требует дальнейших исследований, перспективы использования носимых устройств для самостоятельного отслеживания состояния зрения в домашних условиях представляются многообещающими.

### B. Разработка концепции носимого аппаратно-программного комплекса (НАПК) глазного дна

Этапы разработки НАПК глазного дна включают в себя несколько ключевых этапов. Первый этап включает изучение глаза и сетчатки, включая их анатомию и методы фундоскопии и диагностики заболеваний. Это обеспечивает основу для разработки устройства, позволяя определить основные параметры и требования к НАПК. Затем происходит выбор аппаратных компонентов и дизайн устройства, включая оптические и электронные компоненты, необходимые для обеспечения высокой точности и функциональности устройства.

Второй этап связан с интеграцией алгоритмов управления и искусственного интеллекта. Это включает разработку алгоритмов для точного определения зрачка и локализации сетчатки, а также алгоритмов управления для обеспечения стабильного положения глаза в поле зрения камеры. Эти алгоритмы играют ключевую роль в обеспечении точности и надежности работы НАПК.

На третьем этапе происходит захват изображения сетчатки, его обработка и анализ. Здесь разрабатываются алгоритмы для улучшения качества изображения, удаления шумов и артефактов, а также для автоматического выявления патологий глазного дна. Это позволяет получить точные данные о состоянии глаза и провести дифференциальную диагностику заболеваний.

Этапы разработки НАПК глазного дна представляют собой сложный процесс, включающий в себя как технические, так и методологические аспекты. Однако успешная реализация этой концепции обещает значительно улучшить диагностику и мониторинг заболеваний глаза, повысив доступность и качество офтальмологической помощи.

## III. АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ

ТАБЛИЦА I. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ НОСИМЫХ УСТРОЙСТВ В ТЕЛЕОФТАЛЬМОЛОГИИ

Исследование	Заболевание	Методы
Advancements in Wearable and Implantable Intraocular Pressure Biosensors for Ophthalmology: A Comprehensive Review	Глаукома	Носимые и имплантируемые биосенсоры ВГД
Diabetic Retinopathy Screening Using Smartphone-Based Fundus Imaging in India	Диабетическая ретинопатия	Смартфон с функцией фундоскопии
Wearable and Implantable Intraocular Pressure Biosensors: Recent Progress and Future Prospects	Глаукома	Носимые и имплантируемые биосенсоры ВГД
Предполагаемый НАПК глазного дна	Различные заболевания глазного дна (глаукома, диабетическая ретинопатия и др.)	- Интеграция алгоритмов ИИ для анализа изображения сетчатки и любое модель ИИ для диагностики и оценки глазного дна

**Преимущества НАПК:** Многофункциональность: НАПК может использоваться для диагностики различных заболеваний глазного дна, устраняя необходимость применения отдельных устройств для каждого заболевания.

**Автоматический анализ изображения:** Алгоритмы ИИ могут обеспечить быстрый и объективный анализ изображения сетчатки, снижая зависимость от квалификации врача.

Потенциально более высокая точность: Интеграция различных методов диагностики (анализ изображения, измерение давления и т. д.) может привести к более точной диагностике по сравнению с другими методами.

Удобство использования: предполагается, что НАПК будет носимым устройством, хорошо спроектированным для удобного использования пациентами в домашних условиях.

Автоматизированная фундоскопия: НАПК разрабатывается для проведения автоматизированной фундоскопии (фотографирования глазного дна) без вмешательства врача.

Телемедицинские возможности: НАПК может быть интегрирован с телемедицинскими платформами, позволяя пациентам получать консультации офтальмологов дистанционно.

Ограничения НАПК: Находящаяся на стадии разработки технология: НАПК пока находится на концептуальной стадии и требует проведения клинических испытаний для подтверждения эффективности и безопасности.

Необходимость регуляторного одобрения: перед применением на практике НАПК потребуется одобрение регулирующих органов. Потенциальная стоимость: Стоимость НАПК на данный момент неизвестна, но она может быть выше, чем стоимость других методов.

Предполагаемый НАПК глазного дна обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами исследования глазного дна, такими как многофункциональность, автоматический анализ изображения, удобство использования и возможность проведения автоматизированной фундоскопии. Однако, НАПК находится на стадии разработки, и необходимы дальнейшие исследования для подтверждения его эффективности и безопасности.

#### *А. Новаторский НАПК для Телеофтальмологии*

Наши инновации в разработке НАПК глазного дна преодолевают ограничения, с которыми сталкиваются другие методы диагностики глазных заболеваний. Например, существующие методы, такие как оценка внутриглазного давления с помощью носимых устройств, могут иметь ограничения в точности по сравнению со стандартными методами. Также для использования некоторых методов, например, смартфон-основанной фундоскопии для скрининга диабетической ретинопатии, требуется участие офтальмологов и передача изображений. Наш НАПК глазного дна предоставляет решение для этих проблем, обеспечивая точные измерения параметров глаза и автоматический анализ данных, что делает его более эффективным и удобным инструментом для телеофтальмологии.

В отличие от других методов, наш НАПК глазного дна предназначен для диагностики различных заболеваний глазного дна, таких как глаукома, диабетическая ретинопатия и другие. Благодаря своей доступности и низкой стоимости, он обеспечивает возможность многим людям, особенно в отдаленных районах и сельской местности, получить раннюю диагностику и доступ к офтальмологической помощи. Кроме того, наш НАПК поддерживает телемедицину,

позволяя проводить дистанционные консультации и обмен медицинскими данными.

Технические особенности предлагаемого НАПК глазного дна делают его готовым адаптироваться к новейшим технологиям и моделям искусственного интеллекта для диагностики и оценки медицинских изображений сетчатки. Это позволяет нам расширять его функциональность и повышать его эффективность в области телеофтальмологии.

#### IV. РЕЗУЛЬТАТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ:

Разработка концепции НАПК глазного дна представляет собой инновационный подход к диагностике и мониторингу заболеваний глаза в рамках телеофтальмологии. Использование такого устройства с интеграцией смартфонов и алгоритмов искусственного интеллекта позволит значительно улучшить доступность офтальмологической помощи и обеспечить раннюю диагностику и лечение глазных заболеваний в удаленных и сельских районах.

Технические особенности НАПК глазного дна, такие как многофункциональность, автоматический анализ изображения и удобство использования, делают его перспективным инструментом для телеофтальмологии. Он представляет собой значимый шаг в развитии этой области медицины и может стать ключевым средством для сбора медицинских ретинальных изображений для дальнейших исследований в медицине с использованием искусственного интеллекта.

Реализация концепции НАПК глазного дна имеет потенциал повысить эффективность телеофтальмологии, обеспечивая улучшенное медицинское наблюдение и мониторинг заболеваний глаза в удаленных и малообслуживаемых районах. Это также может способствовать расширению применения телемедицины и использованию искусственного интеллекта в медицинских исследованиях, что приведет к улучшению качества офтальмологической помощи и результатов лечения для всех людей, особенно тех, кто сталкивается с недостатком специалистов и медицинских центров в отдаленных районах.

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Носимый аппаратно-программный комплекс (НАПК) глазного дна представляет собой революционный подход к диагностике и мониторингу заболеваний глаз в телеофтальмологии. Благодаря своей многофункциональности, возможности автоматического анализа изображений сетчатки ИИ и удобству использования, НАПК обещает стать эффективным инструментом для дистанционного осмотра глаз и телемедицинских консультаций. Это позволит значительно повысить доступность офтальмологической помощи в underserved areas (недостаточно обслуживаемых районах). Более того, НАПК способен захватывать высококачественные изображения сетчатки, что открывает путь для дальнейшего развития технологий искусственного интеллекта в области диагностики и лечения заболеваний глаз. Для максимизации потенциала данного изобретения рекомендуется провести клинические испытания для подтверждения его эффективности и безопасности. Исследования экономически выгодных процессов

производства сделают НАПК доступным для большего числа людей. Будущие версии комплекса могут быть оснащены дополнительными функциями, такими как измерение внутриглазного давления, для обеспечения более комплексной оценки здоровья глаз. Интеграция с передовыми алгоритмами ИИ, специально разработанными для анализа параметров сетчатки, позволит ставить еще более точные диагнозы. В конечном счете, НАПК глазного дна имеет все возможности стать революционным инструментом в телеофтальмологии, обеспечивая высококачественную помощь людям, независимо от их местоположения. Преодолевая ограничения традиционной офтальмологической практики, НАПК прокладывает путь к будущему, где телемедицина играет ключевую роль в поддержании здоровья глаз для всех.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] “Why use telehealth? | Telehealth.NHS.gov [Электронный ресурс]. URL: <https://telehealth.nhs.gov/patients/why-use-telehealth> (дата обращения: 23.03.2024).
- [2] Gajarawala S.N., Pelkowski J.N. Telehealth Benefits and Barriers // *The Journal for Nurse Practitioners*. 2021. № 2 (17). С. 218–221.
- [3] Eye care, vision impairment and blindness [Электронный ресурс]. URL: [https://www.who.int/health-topics/blindness-and-vision-loss#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/blindness-and-vision-loss#tab=tab_1) (дата обращения: 23.03.2024).
- [4] A foundation model for generalizable disease detection from retinal images / Nature [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06555-x> (дата обращения: 23.03.2024).
- [5] Tseng V.L. [и др.]. Compliance with the American Academy of Ophthalmology Preferred Practice Pattern for Diabetic Retinopathy in a resident ophthalmology clinic // *Retina (Philadelphia, Pa.)*. 2010. № 5 (30). С. 787–794.
- [6] Wu K.Y. [и др.]. Advancements in Wearable and Implantable Intraocular Pressure Biosensors for Ophthalmology: A Comprehensive Review // *Micromachines*. 2023. № 10 (14). С. 1915.
- [7] Yang C. [и др.]. Wearable and Implantable Intraocular Pressure Biosensors: Recent Progress and Future Prospects // *Advanced Science (Weinheim, Baden-Wuerttemberg, Germany)*. 2021. № 6 (8). С. 2002971.
- [8] Wintergerst M.W.M. [и др.]. Diabetic Retinopathy Screening Using Smartphone-Based Fundus Imaging in India // *Ophthalmology*. 2020. № 11 (127). С. 1529–1538.
- [9] Developing a pediatric ophthalmology telemedicine program in the COVID-19 crisis | Request PDF [Электронный ресурс]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/344138909\\_Developing\\_a\\_pediatric\\_ophthalmology\\_telemedicine\\_program\\_in\\_the\\_COVID-19\\_crisis](https://www.researchgate.net/publication/344138909_Developing_a_pediatric_ophthalmology_telemedicine_program_in_the_COVID-19_crisis) (дата обращения: 23.03.2024).
- [10] Esposito S. [и др.]. Use of Telemedicine Healthcare Systems in Pediatric Assistance at Territorial Level: Consensus Document of the Italian Society of Telemedicine (SIT), of the Italian Society of Preventive and Social Pediatrics (SIPPS), of the Italian Society of Pediatric Primary Care (SICuPP), of the Italian Federation of Pediatric Doctors (FIMP) and of the Syndicate of Family Pediatrician Doctors (SIMPeF) // *Journal of Personalized Medicine*. 2023. № 2 (13). С. 198.
- [11] Yu H.J. [и др.]. Home Monitoring of Age-Related Macular Degeneration // *Ophthalmology. Retina*. 2020.