

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра инноватики

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА  
КРОВОСНАБЖЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентов 4 курса 4111 группы  
направления 27.03.05 «Инноватика»  
института физики

Ненашева Данилы Андреевича  
Аверина Михаила Алексеевича

Научный руководитель,  
доцент, к.ф.-м.н.  
должность, уч. степень, уч. звание

  
подпись, дата

Д.Н. Браташов  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,  
к.ф.-м.н., доцент  
должность, уч. степень, уч. звание

  
подпись, дата

Е.М. Ревзина  
инициалы, фамилия

Саратов 2023

**Введение.** Хроническое нарушение мозгового кровообращения является фактором риска развития инсульта и других болезней. Традиционные методы диагностики, такие как магнитно-резонансная томография или компьютерная томография, часто требуют значительных временных и финансовых затрат, а также специализированного оборудования, что делает их недоступными для малых медицинских учреждений и может ограничить доступ к таким услугам для людей, находящихся в более уязвимом социальном положении, а также с ограниченной мобильностью.

В свете этих данных становится очевидной необходимость в исследовании, разработке и внедрении новых доступных методов мониторинга состояния мозгового кровообращения для своевременного выявления нарушений кровоснабжения головного мозга. Наиболее многообещающим методом для решения данной проблемы является технология fNIRS.

Целью выпускной квалификационной работы является планирование проекта, который включает в себя этапы разработки и продвижения портативного неинвазивного устройства для мониторинга кровоснабжения головного мозга методом fNIRS.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть теоретические основы технологии fNIRS;
2. Изучить инструменты анализа данных fNIRS и методы устранения артефактов сигнала;
3. Составить бизнес-план проекта и представить его ожидаемые результаты;
4. Разработать рендер-модель устройства, а также визуальную концепцию интерфейса мобильного приложения для взаимодействия с устройством;
5. Создать лендинг страницы для продвижения продукта;
6. Провести оценку деятельности проекта, сформулировать выводы и рекомендации для позиционирования устройства fNIRS.

Дипломная работа занимает 91 страницы, имеет 34 рисунка и 18 таблиц.

Обзор составлен по 8 информационным источникам.

Во введение рассматривается актуальность работы, определены объект и предмет работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой ознакомление с теоретическими основами технологии fNIRS.

Во втором разделе работы проводится планирование проекта с учетом бизнес-аспектов и расчет экономических показателей будущей деятельности.

Третий раздел работы посвящен этапам разработки устройства, включая моделирование, создание макетов и разработку лендинг страницы продукта.

### **Основное содержание работы**

*В первой главе – «Основы метода fNIRS»* – описывается принцип работы метода fNIRS и его аппаратно-программное устройство, рассматриваются его основные преимущества и недостатки по сравнению с конкурирующими методами мониторинга кровообращения головного мозга, а также области применения в науке и медицине.

Метод функциональной ближней инфракрасной спектроскопии (fNIRS) основан на использовании света в инфракрасном диапазоне для измерения изменений в оптической плотности гемоглобина в головном мозге. Во время активности мозга происходит изменение кровотока и оксигенации в соответствующих областях мозга. Когда нервные клетки активируются, они требуют больше кислорода, что приводит к увеличению кровоснабжения в этой области. Следовательно, активированные области мозга имеют увеличенную оксигенацию.

Принцип работы метода fNIRS заключается в излучении инфракрасного света определенной длины волны через ткани головы и регистрации отраженного света. Излучение состоит из двух компонентов: света, поглощенного оксигенированным гемоглобином ( $\text{HbO}$ ) и дезоксигенированным гемоглобином ( $\text{HbR}$ ). Оксигенированный гемоглобин поглощает свет с иной интенсивностью, нежели дезоксигенированный гемоглобин. Детекторы,

расположенные на поверхности головы, регистрируют отраженный свет и измеряют его интенсивность. Затем с помощью специальных алгоритмов и методов обработки данных можно определить изменения в концентрации оксигенированного и дезоксигенированного гемоглобина, а следовательно, и изменения в кровоснабжении головного мозга [1].

По сравнению с другими неинвазивными методами нейровизуализации, у fNIRS имеется несколько важных характерных особенностей: портативность, бесшумность работы, простота в эксплуатации и относительно низкая стоимость. Также fNIRS имеет более высокую частоту дискретизации (около 10 Гц) по сравнению с МРА и относительно более высокое пространственное разрешение (10-20 мм) в сравнении с ЭЭГ/МЭГ.

Однако у метода fNIRS имеются и недостатки, такие как: ограниченное пространственное разрешение, светочувствительность к глубине (приблизительно 1,5 см) и зона охвата. Измерения на основе fNIRS ограничены корой головного мозга, поэтому данная технология не подходит для обнаружения более глубоких структур мозга.

Несмотря на некоторые ограничения, метод fNIRS имеет большой потенциал в научных исследованиях, клинической диагностике и индивидуализированном лечении неврологических состояний.

Основной проблемой при анализе данных fNIRS является отделение необходимого сигнала от искаженного (например, артефактов движения, физиологических артефактов, связанных с системными колебаниями). Было предложено несколько методов для устранения артефактов движения в сигнале fNIRS, ни один из которых не является идеальным, и у каждого есть свои плюсы и минусы. Некоторые методы уменьшают помехи, вызванные артефактами, с помощью сплайн-интерполяции, в то время как другие разделяют данные с помощью целевого анализа главных компонент, а затем удаляют компоненты, связанные с основными артефактами [2].

В таблице 1 представлено сравнение нескольких популярных программ с открытым исходным кодом fNIRS и их функциональных возможностей.

Таблица 1 – Список доступных (+) и недоступных (-) функций в нескольких популярных инструментах fNIRS с открытым исходным кодом.

Функции	Homer	Atlas viewer	NIRS-SPM	NIR Storm	Analyz IR	FC-NIRS	LIONI rs
Работа с пакетами	+	-	+	+	+	+	+
Коррекция движений	+	-	+	+	+	+	+
Контроль качества	+	-	+	+	+	+	+
Дизайн графического интерфейса для частичной декомпозиции артефактов/данных	-	-	-	-	-	-	+
Предварительная обработка для фильтрации MBLL	+	+	+	+	+	+	+
GLM-модель	+	-	+	+	+	-	+
Усреднение временных окон	+	-	-	+	+	-	+
Навигация по 2D-данным	+	-	-	-	+	+	-
FC меры	-	-	-	+	+	+	+
Мультимодальность (ЭЭГ-видео)	-	-	-	+	-	-	+
3D топография перекрывается МРТ	-	+	+	+	+	-	+

Было проанализировано, что устройство для мониторинга кровоснабжения головного мозга методом fNIRS состоит из нескольких компонентов, включая

источники света, детекторы, оптические волокна, а также блока управления и обработки данных. Стоит отметить, что в качестве источников света используют специальные лазерные диоды и светодиоды (для излучения света определенных длин волн) соответствующие поглощению оксигемоглобина (850 нм) и дезоксигемоглобина (735 нм).

*Во второй главе – «Бизнес-планирование проекта»* – была дана общая характеристика устройства, которое будет разработано. Ожидается, что устройство будет способно точно измерять уровень оксигенации лобной доли коры головного мозга и обеспечивать наблюдение за гемодинамическими изменениями в режиме реального времени.

В этой главе также разработан бизнес-план проекта, включающий в себя оценку финансовых показателей, стратегию маркетинга и продаж, планы по производству и коммерциализации устройства на Российском рынке. Кроме того, проведен анализ рисков с помощью матрицы рисков и PEST-анализа для разработки мер по их снижению. Цель этой главы состоит в определении коммерческой успешности и жизнеспособности проекта, а также в создании основы для дальнейшего развития и реализации идеи.

В процессе составления бизнес-плана было обнаружено, что представленный проект обладает потенциалом для коммерческого успеха, однако он также сопряжен с некоторыми рисками. Среди этих рисков можно выделить отсутствие необходимого финансирования и низкий спрос на рынке [3].

Краткое резюме разрабатываемого проекта:

1. Предприятие будет заниматься производством и реализацией медицинского оборудования;
2. Организационно-правовая форма предприятия (проекта) – индивидуальный предприниматель (ИП). При расширении масштабов проекта, рассматривается возможность преобразования его структуры в общество с ограниченной ответственностью (ООО);

3. Для осуществления нашей деятельности необходимо получить следующие ключевые разрешения: сертификат соответствия на медицинское изделия, регистрация ИП;

4. Целевые потенциальные клиенты: некоммерческие и коммерческие медицинские учреждения, спортсмены, пациенты, проходящие курс восстановления;

5. Начальные затраты для покупки оборудования – 341750 рублей, регистрация ИП – 800 рублей, расходы на ежегодное обслуживание – 45842 рублей;

6. Сделки с поставщиками и потребителями будут оформляться с помощью стандартных договоров. Трудовые отношения будут разрабатываться в соответствии с трудовым кодексом РФ [4];

7. Предприятие будет работать по упрощенной системе налогообложения;

8. Для реализации проекта будет привлечено 3 наемных рабочих: разработчик проекта, инженер-лаборант, программист;

9. Согласно плану продаж, предполагается продать 159 устройств, из которых 39 будут реализованы в 2026 году, а 120 – в 2027 году;

10. Налоговые выплаты с реализации проекта за весь период будут составлять – 2098800 рублей.

Об эффективности проекта свидетельствуют следующие показатели [5]:

1. Чистая прибыль за 4.5 года, руб. – 15698446;
2. Необходимость общих вложений, руб – 4000000;
3. Ставка дисконтирования, % – 7.5;
4. Сроки окупаемости общих и собственных вложений – 4.5 года;
5. Остаток денежных средств через 1.5 года работы, руб. – 1932856;
6. Общая сумма затрат на реализацию проекта, руб. – 16691544;
7. Сумма чистой прибыли за 1.5 года, руб. – 1838728;
8. Внутренняя норма доходности, % – 26;
9. Чистая приведенная стоимость, руб. – 1276273;

10. Рентабельность продукции, % – 209;
11. Рентабельность собственных средств, % – 387;
12. Общая сумма затрат на реализацию проекта за 1.5 года, руб. – - 2067144;
13. Немаловажным показателем является точка безубыточности, которая достигается к концу 2026 года после продажи 34 устройств.

На рисунке 1 приведен план движения денежный средств и всех денежных потоков проекта за 4.5 года (начало проекта – 3-й квартал 2023 года).



Рисунок 1 – Движение денежных потоков проекта

**В третьей главе – «Этапы разработки устройства fNIRS»** – описывается проделанная работа по разработке 3D макета, визуальной концепции устройства и его графического рендера, визуальной концепции интерфейса мобильного приложения для взаимодействия с данным устройством.

Сначала была создана базовая рендер-модель устройства, которая представляет его общую форму и пропорции, а также некоторые функциональные элементы

В ходе работы по 3D-моделированию была создана базовая рендер-модель устройства, отражающая его общую форму, пропорции и некоторые функциональные элементы. Последующим этапом была разработана детальная

визуальная концепция носимого портативного устройства для мониторинга кровоснабжения коры головного мозга с использованием метода fNIRS. Эта концепция включает в себя дизайн, высокополигональные текстуры, цветовые решения и технические детали архитектуры устройства. В процессе работы были проведены последовательные итерации, в ходе которых были внесены уточнения в конструкцию с целью достижения оптимального визуального результата, соответствующего требованиям проекта.

Результатом проделанной работы является создание полноценной рендер концепции устройства fNIRS (Рисунок 2).

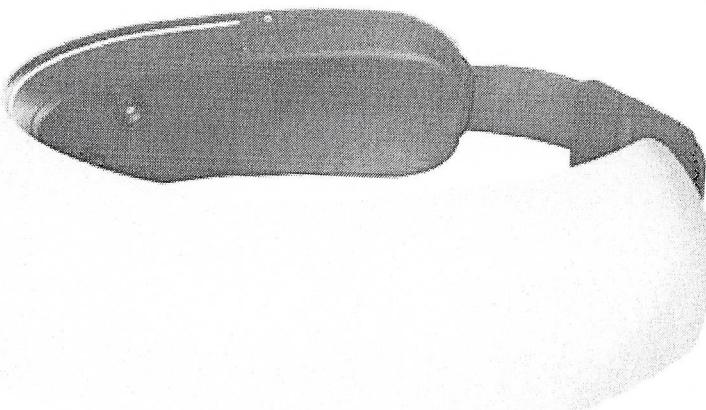


Рисунок 2 – Полноценной рендер концепции устройства fNIRS

После как модель была создана, её подготовили для процесса 3D-печати. Для этого была экспортирована в файл формата, совместимого с 3D-принтером, и произведена дополнительная настройка в программе Autodesk Fusion 360 community edition [6].

Для разработки визуальной концепции интерфейса мобильного приложения, предназначенного для взаимодействия с устройством, был выбран инструмент Figma [7]. С его помощью были произведены наброски и создан макет интерфейса, определив основные элементы, расположение кнопок, цветовую схему и общий стиль приложения. Используя возможности Figma,

были созданы интерактивные прототипы, позволяющие оценить удобство использования приложения и взаимодействия с устройством.

При разработке макета программного обеспечения для мобильных устройств были соблюдены такие требования, как удобство в навигации, привлекательный и выдержаный в одном стиле дизайн.

В рамках маркетинговой стратегии проекта была разработана лендинг страница, на которой представлены основные характеристики и преимущества нашего устройства. Для разработки сайта были использованы стандартные языки программирования и разметки, такие как HTML, CSS и JavaScript, и современные стандарты веб-разработки [8].

Лендинг страница была разработана с учетом пользовательского опыта и ориентированности на потребности и предпочтения целевой аудитории, чтобы обеспечить максимально эффективное воздействие на посетителей, тем самым заинтересовать потенциальных клиентов.

**Заключение.** Устройство для мониторинга кровоснабжения головного мозга методом fNIRS является важным инструментом для исследования мозговой активности и ее взаимосвязи с различными физиологическими и психологическими процессами. Этот метод имеет большой потенциал в клинической практике, научных исследованиях, реабилитации, образовании и спорте. Стоит отметить, что для его дальнейшего развития и успешного применения необходимо продолжать проводить исследования, улучшать технические характеристики устройств, совершенствовать методы обработки данных и учитывать индивидуальные особенности пациентов или участников исследований.

В ходе составления бизнес-плана было обнаружено, что представленный проект имеет потенциал для достижения коммерческого успеха, а разработанное устройство обладает рядом преимуществ, включая неинвазивность, портативность и доступность по цене, что делает его подходящим для целевой аудитории. В связи с этим, открываются широкие перспективы для продвижения продукта, особенно благодаря возможности прямого взаимодействия с

конечными потребителями. На основе этих результатов можно сделать вывод, что указанные преимущества устройства fNIRS позволяют успешно занять свою нишу на рынке.

Разрабатываемое устройство представляет собой важный инструмент в реабилитации пациентов с нарушениями кровоснабжения головного мозга и хроническими заболеваниями. Оно открывает новые возможности для персонализированного лечения, наблюдения за эффективностью терапии и обеспечивает удобство и безопасность для пациентов.

На данном этапе было произведено моделирование и отпечатана модель устройства, разработана визуальная концепция интерфейса мобильного приложения, предназначенного для взаимодействия с устройством, создана лэндинг страница, обеспечивающая успешное продвижение нашего продукта и привлечение потенциальных клиентов.

В дальнейшем этапом проекта будет выполнено конструирование и разработка рабочего прототипа устройства fNIRS.

В ходе выполнения практики были получены следующие результаты:

- Установлено, что устройство для мониторинга кровоснабжения головного мозга методом fNIRS является важным инструментом для мониторинга кровоснабжения коры головного мозга;
- Разработан бизнес-план, который показал коммерческий потенциал представленного проекта и выявил преимущества устройства среди конкурентов;
- Была осуществлена разработка 3D-модели концепции устройства, а также создана визуальная концепция интерфейса мобильного приложения – это даст возможность активно продвигать продукт на ранних этапах развития проекта;
- Создана лэндинг страница в рамках маркетинговой стратегии проекта по привлечению потенциальных покупателей устройства.

## **Список использованных источников**

- 1 Huo, C. A review on functional near-infrared spectroscopy and application in stroke rehabilitation / Xu, G., Li, W., Xie, H., Zhang, T., Liu, Y., & Li, Z. // Medicine in Novel Technology and Devices. – 2021. – №11. – С.1160-1190.
- 2 Daisuke Tsuzuki, Ippeita Dan. Spatial registration for functional near-infrared spectroscopy [Электронный ресурс] // From channel position on the scalp to cortical location in individual and group analyses [Электронный ресурс] : ScienceDirect. – URL: <https://www.sciencedirect.com/> (Дата обращения 19.03.2023). – Загл. с экрана. – Яз. англ.
- 3 Как составить бизнес-план при открытии собственного дела в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс] // r21.spb.ru [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: [https://www.r21.spb.ru/files/portal\\_upload/templates/kbpspb.pdf](https://www.r21.spb.ru/files/portal_upload/templates/kbpspb.pdf) (дата обращения: 15.04.2023). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 4 Трудовой кодекс Российской Федерации. Текст с изменениями и дополнениями на 23 марта 2022 года (+ путеводитель по судебной практике) / В.А. Грановинский – М. Эсмо. 2022 г. – 869 с.
- 5 Горфинкель, В. Я. Экономика предприятия: Учебник для вузов. – В. Я. Горфинкель. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 718 с.
- 6 Fusion 360 documentation [Электронный ресурс] // справочное руководство по работе с Fusion 360 [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-1C665B4D-7BF7-4FDF-98B0-AA7EE12B5AC2> (дата обращения: 01.04.2023). – Яз. англ.
- 7 Figma design documentation [Электронный ресурс] // справочное руководство по работе с Figma [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://help.figma.com/hc/en-us/categories/360002042553-Figma-design> (дата обращения: 05.04.2023). – Яз. англ.
- 8 Прохоренок, Н. А. HTML, JavaScript, PHP и MySQL. Джентльменский набор Web-мастера / Н. А. Прохоренок. – Воронеж.: ООО «Хоганс», 2014. – 912 с.