

УДК 535.3, 535.5, 681.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛА В СИСТЕМЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Хлынов Р.Д. (ИТМО, Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН), Рыжова В.А. (ИТМО)
Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Рыжова В.А. (ИТМО)

Введение. Функциональная ближняя инфракрасная спектроскопия (фБИКС) является неинвазивной нейровизуализационной технологией, которая использует диффузно отраженное от тканей коры головного мозга излучение ближнего инфракрасного диапазона для изучения нейронной активности. Принцип работы метода основан на использовании источников, оптическое излучение от которых проникает в ткани коры головного мозга и претерпевает изменения после взаимодействия с составляющими гемоглобина в кровеносных сосудах. Затем приемник оптического излучения регистрирует исходящий от мозговой ткани свет и эти изменения анализируются. Количество источников и приемников оптического излучения, а также особенности монтажа определяются на основе априорных знаний о паттерне активации для данных стимулов [1].

Технология спектральной нейровизуализации предоставляет исследователям возможность в реальном времени отслеживать изменения активности мозга во время выполнения различных задач, что может быть особенно актуально, например, при изучении неврологических и психологических заболеваний. Однако, несмотря на свои преимущества, технология фБИКС еще не приобрела активного применения в медицинской сфере, по сравнению с такими методами нейровизуализации, как функциональная магнитно-резонансная томография и электроэнцефалография [2].

На сегодняшний день существует проблема, связанная с тем, что полученные с помощью фБИКС данные могут быть искажены различными факторами, такими как неоднородная структура тканей, колебания артериальной и венозной крови, двигательные артефакты, а также шумы, возникающие в результате контроля окружающей среды.

Разработка и использование современных методов моделирования преобразования сигналов при прохождении через элементы схемы системы позволит учесть влияние ряда факторов на точность и воспроизводимость спектральных данных, что представляется важным для повышения доверия к результатам фБИКС [3]. Однако, некоторые аспекты как аналитического, так и физического моделирования остаются недостаточно изученными и требуют дальнейшего анализа.

Анализ существующих подходов показывает, что многообразие моделей, использующихся для представления процессов фБИКС, отчасти объясняется сложностью механизмов взаимодействия оптического излучения с биологическими тканями. Многие исследования фокусируются больше на статистическом анализе данных, чем на моделировании процессов, что может приводить к потере важной информации о динамике мозговых процессов.

Основная часть. Для решения задач, связанных с преобразованием сигнала в системе фБИКС, необходима разработка комплексного подхода, который включает в себя создание математической модели преобразования сигнала и ее физического подтверждения.

При создании математической модели преобразования сигнала в системе фБИКС прежде всего уделяется внимание объекту исследования, молекулярным свойствам биотканей, так как различные компоненты могут по-разному взаимодействовать с инфракрасным излучением. При проникновении оптического излучения в ткани головного мозга после взаимодействия с гемоглобином в кровеносных сосудах происходят изменения, которые необходимо учитывать. В этом контексте использование спектроскопических данных для построения моделей может быть значительно улучшено за счет применения адаптивных алгоритмов обработки данных, которые подстраиваются под конкретные условия исследования.

Моделирование преобразования сигнала в схеме системы также предполагает учет параметров элементной базы. Исследование вариантов использования в схеме различных

типов источников света и фотоприемников играет ключевую роль в повышении чувствительности и надежности системы фБИКС. Особенности конструкторской реализации и монтажа этих элементов также могут влиять на качество сбора данных. При этом важно учитывать спектральные характеристики электронных компонентов, стабильность сигналов и уровень шумов.

Сравнительный анализ источников оптического излучения, используемых в современных системах фБИКС показал, что для обеспечения безопасности проведения измерений, а также исключения стимуляции тканей коры головного мозга излучением от когерентных источников наиболее целесообразно использовать светодиоды мощностью до 1мВт. В результате исследования преимуществ и недостатков фотоприемников, используемых в системах фБИКС, было установлено, что наиболее распространенными при построении распределенных структур являются фотодиоды, однако визуализация изменений гемодинамического ответа может быть реализована и с помощью многоэлементных матричных приемников.

Важным аспектом при обработке и анализе данных является использование методов машинного обучения и алгоритмов интерпретации полученных сигналов. В ряде работ показано, что применение алгоритмов на основе нейронных сетей может существенно улучшить качество спектроскопического анализа, снизив шум и искажения сигналов [4].

Таким образом, исследование преобразования сигналов в системе фБИКС с использованием имитационного и физического моделирования позволяет вырабатывать более точные и надежные решения для диагностики патологий и изучения нейронной активности, расширяя границы научных исследований в медицинской области.

Выводы. Проведенные исследования подчеркивают важность комплексного подхода в решении проблем моделирования преобразования сигнала в системе фБИКС. Результаты могут быть использованы в различных областях, начиная от клинической практики и заканчивая основными научными исследованиями, позволяя улучшить восстановление нейрофизиологических данных и их интерпретацию. Рекомендуется проведение дополнительных испытаний для проверки предложенных методов в реальных условиях. Практическое внедрение этих подходов в клинические исследования или научные эксперименты может помочь в более глубоком понимании процессов, происходящих в мозге человека, а также в улучшении диагностики и мониторинга различных неврологических заболеваний.

Список использованных источников:

1. Lyu B., Pham T., Blaney G. et al. Domain adaptation for robust workload level alignment between sessions and subjects using fNIRS // *Journal of Biomedical Optics*. – 2021. – Т. 26. – №. 2. – С. 022908-022908.
2. Yen C., Lin C. L., Chiang M. C. Exploring the frontiers of neuroimaging: a review of recent advances in understanding brain functioning and disorders // *Life*. – 2023. – Т. 13. – №. 7. – С. 1472.
3. Asllanaj F., Contassot-Vivier S., Hohmann A. et al. Light propagation in biological tissue // *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. – 2019. – Т. 224. – С. 78-90.
4. Zhang W., Kasun L. C., Wang Q. J. et al. A review of machine learning for near-infrared spectroscopy // *Sensors*. – 2022. – Т. 22. – №. 24. – С. 9764.