

ГИБКИЙ МАГНИТНЫЙ СЕНСОР ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ **Широков А.Ф. (ИТМО)** **Научный руководитель – кандидат химических наук, Кладько Д.В. (ИТМО)**

Введение. Мышечно-скелетные расстройства (МСР) — это травмы мягких тканей, которые поражают мышцы, нервы, сухожилия, суставы и хрящи конечностей, шеи и нижней части спины [1]. МСР представляют собой серьезную проблему здравоохранения, затрагивающую значительную часть населения и приводящую к снижению трудоспособности, хроническим болям и увеличению расходов на медицинское обслуживание. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), к 2019 году 35,14% населения Земли имели те или иные МСР, причем наиболее уязвимыми группами являются люди старше 50 лет и работники физического труда [2]. Их количество быстро растет: на 12,28% с 1990 года и на 6,85% с 2002 года, что связывают с малоподвижным образом жизни и возрастными изменениями [2]. В связи с этим, ранняя диагностика и мониторинг состояния пациентов приобретают особую значимость для предотвращения хронизации патологий.

Существующие методы диагностики и мониторинга МСР, такие как рентгенография, магнитно-резонансная томография и электромиография, обладают рядом недостатков: они требуют стационарного оборудования, дорогостоящи и не всегда удобны для постоянного применения, особенно в условиях ограниченного доступа к специализированным клиникам. В последние годы активно развиваются носимые устройства для мониторинга биомеханической активности, однако большинство из них основаны на оптических или инерциальных датчиках, которые имеют ограниченную точность из-за зависимости от внешнего освещения или необходимости частой калибровки. В данной работе рассматривается разработка гибкого магнитного сенсора, который может стать эффективным инструментом для диагностики и мониторинга биомеханических нарушений благодаря сочетанию компактности и высокой чувствительности.

Основная часть. Предлагаемый сенсор представляет собой гибкий композит, состоящий из магнитотвердых микрочастиц NdFeB, внедренных в полимерную матрицу из полидиметилсилоксана (ПДМС). Использование ПДМС обеспечивает не только гибкость и устойчивость к механическим деформациям, но и биосовместимость, что критически важно для длительного ношения на коже. Сенсор работает на основе регистрации изменений магнитного поля при механической деформации материала.

В ходе исследования были изготовлены и протестированы образцы композитов с разными пропорциями NdFeB и ПДМС (20:80, 40:60, 60:40, 80:20). Оптимальным вариантом оказался состав 40:60, который обеспечил наилучший баланс между чувствительностью и механическими параметрами, такими как упругость и устойчивость к циклическим нагрузкам. Проведенные испытания показали, что изменение магнитного поля при сгибании образца на 90° составило 72 мкТл, а максимальное расстояние эффективного обнаружения сигнала сенсором достигло 20 мм.

Практическое применение сенсора было протестировано на человеке в условиях естественной двигательной активности. Образец фиксировался на различных суставах (колени, запястья, челюсть, палец), были получены следующие значения изменения магнитного поля: колено — $20 \pm 2,6$ мкТл, запястье — $33 \pm 2,4$ мкТл, челюсть — $40 \pm 1,7$ мкТл, палец — $44 \pm 2,1$ мкТл. Эти результаты подтверждают возможность использования сенсора в системах мониторинга биомеханической активности, особенно для оценки мелкой моторики и динамики суставов.

Выводы. Разработаны гибкие магнитные композиты с оптимальной геометрией и соотношением ПДМС/NdFeB, обеспечивающие высокую чувствительность при измерении изгибающих усилий. Полученные результаты открывают перспективы для создания

платформы на основе магнитных композитов для ранней диагностики МСР.

Список использованных источников:

1. Musculoskeletal Health Program // The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). - March 21, 2022

2. Prevalence rate musculoskeletal disorders, 2022, URL:
https://gateway.euro.who.int/en/indicators/rehab_5-prevalence-rate-musculoskeletal-disorders