

# ИНТЕГРИРОВАННАЯ В ОДЕЖДУ КИБЕРФИЗИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ

**В.Б. Казанцев**

*ННГУ им. Н.И. Лобачевского*  
Нижний Новгород, 603950, Гагарина пр., 23  
E-mail: vkazan@unn.ru

**А.С. Пимашкин**

*ННГУ им. Н.И. Лобачевского*  
Нижний Новгород, 603950, Гагарина пр., 23  
E-mail: pimashkin@neuro.nnov.ru

**Ключевые слова:** умная одежда, электромиография, анализ активности мышц.

**Аннотация:** В докладе представлена разработка интерфейса регистрации сигналов и управления на основе поверхностной миографии. Аппаратно-программный комплекс, состоящий из 8 каналов регистрации миографических сигналов и 8 каналов информационной (вибро-) стимуляции интегрирован в эластичную одежду («умная одежда» – майка, брюки, шорты) с помощью технологии тянущихся проводов и электродов их проводящей резины. Миокоستم позволяет регистрировать сигналы в процессе выполнения упражнений, обеспечивая он-лайн визуализацию и запись на носимые (телефон) или стационарные устройства (ноутбук, ПК). Базовое ПО комплекса обеспечивает вычисление базовых статистических характеристик сигналов, включая средние параметры активации мышц. ПО может дорабатываться пользователем самостоятельно или разработчиками по заказу в зависимости от конкретной задачи. Комплекс может быть также доработан для использования функциональной электростимуляции. Миокоستم тестировался в процессе базовой общефизической подготовки, а также подготовки спортсменов – прыгунов на лыжах с трамплина, футболистов, баскетболистов и гребцов. Миокоستم позволяет выявить последовательности активации различных мышц при выполнении технически сложных упражнений.

## 1. Введение

Объективный мониторинг мышечной активности с помощью носимой поверхностной электромиографии (ЭМГ) позволяет оптимизировать комплекс спортивных упражнений и ускоряет достижение спортивных навыков (Lynn, S.K. et al., 2018). Несколько лабораторий также разработали «умный текстиль» с использованием технологии ЭМГ (Giminiani, R.D. et al., 2020; Kim S. et al., 2020) и реализовали его в компрессионных рубашках и шортах (Aquino, J.M., & Roper, J.L., 2018). В данной работе представлен комплекс одежды для мониторинга, визуализации активности мышц человека с помощью интегрированных электромиографических (ЭМГ) сенсоров.

## 2. Описание системы

Миокостюм состоит из костюма с интегрированными датчиками ЭМГ для регистрации силы напряжения мышц, датчиками положения, вибромоторами для осуществления обратной связи и микрокомпьютером для сбора, обработки и передачи данных на внешние устройства. Во время физической нагрузки система из восьми сенсоров регистрирует миографические сигналы напряжения интересующих мышц, а беспроводное устройство передает данные на внешние устройства (Компьютер, смартфон, планшет или очки дополненной реальности) для визуализации сигналов и хранения для последующей обработки (рис. 1А). Внешнее устройство в реальном времени вычисляет степень напряжения мышц и отображает в графическом виде, где сила напряжения кодируется цветом от зеленого (расслаблено) до красного (сильно напряжена) (Рис. 1Б). Таким образом человек получает понятную информацию и может мгновенно скорректировать свои действия. Также система тактильной вибростимуляции отдельных мышц может информировать о состоянии мышц, что может быть использовано для обучения и корректировки движениям. Пороговые алгоритмы позволяют при превышении у выбранных мышц определенного значения потенциала формировать вибростимуляцию для поддержания тонуса в заданных рамках или информирования последовательности действий группе мышц. Такой подход позволяет обучить эталонному движению, ранее записанному в программе комплекса и следить за прогрессом ошибок во время многократного использования одежды.

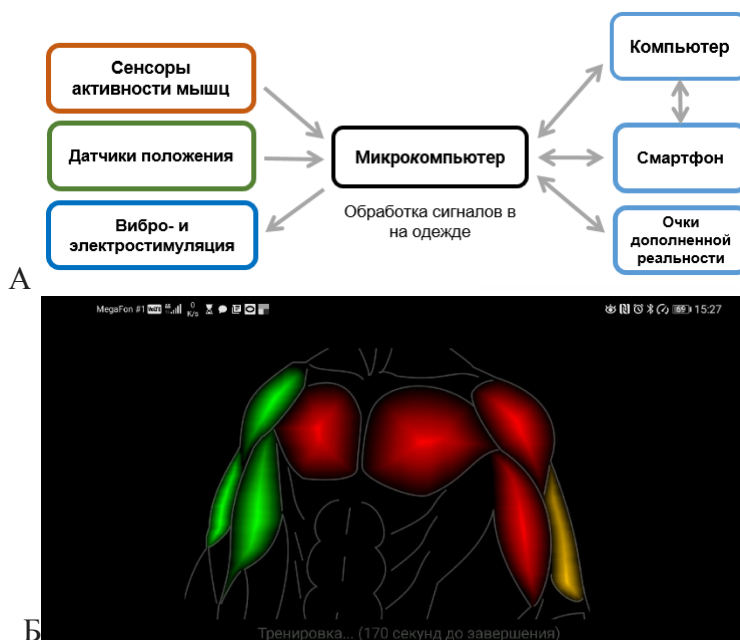
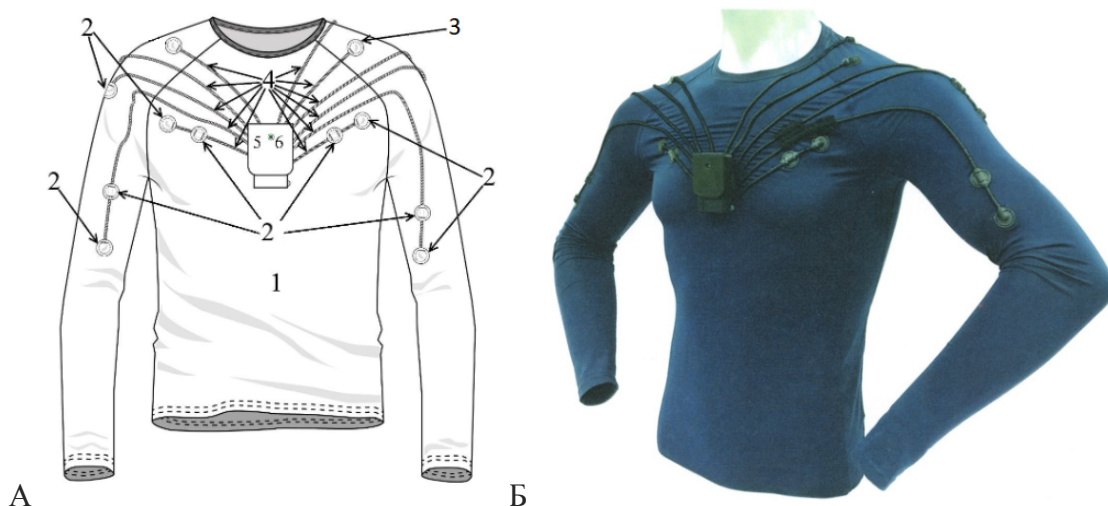


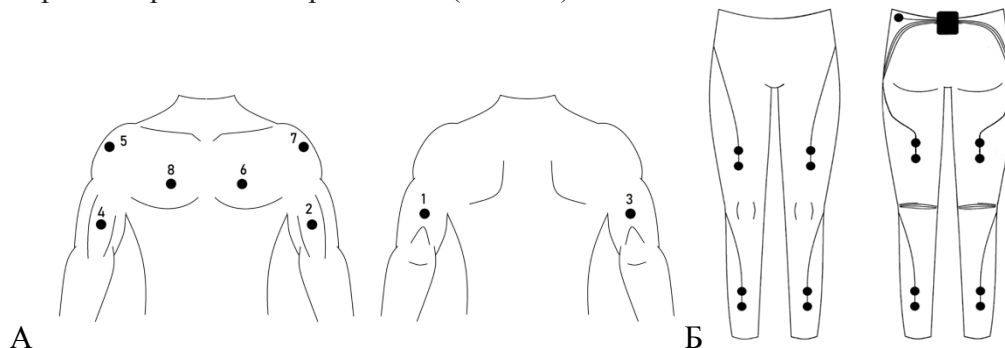
Рис. 1. Функциональная схема Умной одежды.

Одежда представляет собой компрессионное белье, с интегрированными сенсорами, съемным блоком сбора сигналов и растяжимым соединительными трубками с проводами (рис. 2). Ткань одежды должна содержать на менее 15% эластана для обеспечения плотного контакта электродов при растяжении и выполнении упражнений. Для создания сенсоров использовался полимерный материал на основе токопроводящей резины, применяемый многократно для медицинских процедур электростимуляции (Fiab PG-706, Италия). Сенсоры располагались на внутренней стороне одежды и непосредственно контактировали с кожей человека. Вибромоторы располагались на внешней стороне одежды.



**Рис. 2.** Внешний вид Умной одежды. А – основные элементы одежды с датчиками. 1– спортивная одежда, 2–сенсоры, 3–вибромоторы, 4–эластичные трубки с проводами, 5– блок сбора сигналов; Б - внешний вид костюма.

Сенсоры соединялись с блоком сбора сигналов с помощью проводов, проложенных по специально разработанной технологии внутри трубки из латекса, для обеспечения герметичности и возможности многократной стирки. Трубки могут растягиваться до 150% от изначальной длины без повреждения проложенных проводов. Сенсоры на верхней одежде располагались на следующих мышцах симметрично справа и слева: бицепс, трицепс, дельта и грудная (Рис. 3А). Также был разработан комплект одежды спортивных штанов с сенсорами, интегрированными к мышцам: квадрицепс, бицепс, переднеберцовая и икроножная (Рис. 3Б).



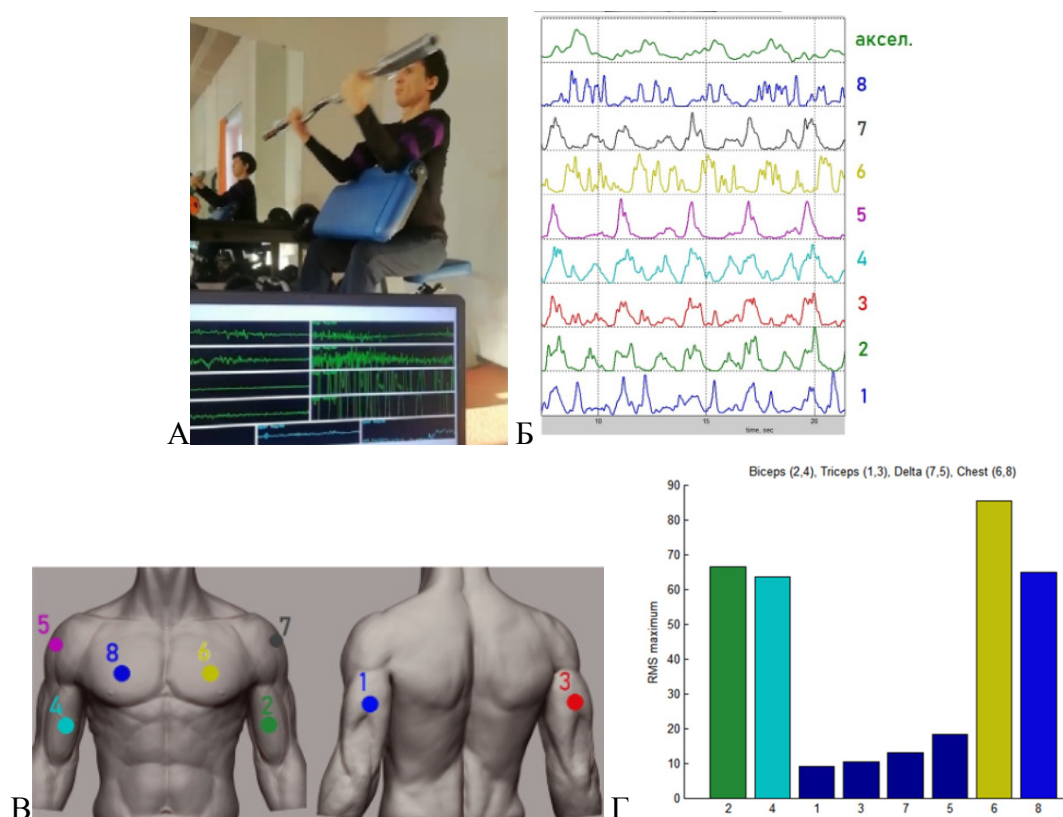
**Рис. 3.** Расположения электродов на майке (А) и штанах (Б).

### 3. Экспериментальное исследование системы

Был проведен комплекс мероприятий с упражнениями на базовых тренажерах в спортзале с использованием комплекса Умной одежды. Система позволяет оценить динамику работы различных мышц во время тренировки и оценить степень интенсивности участия каждой мышцы по отдельности.

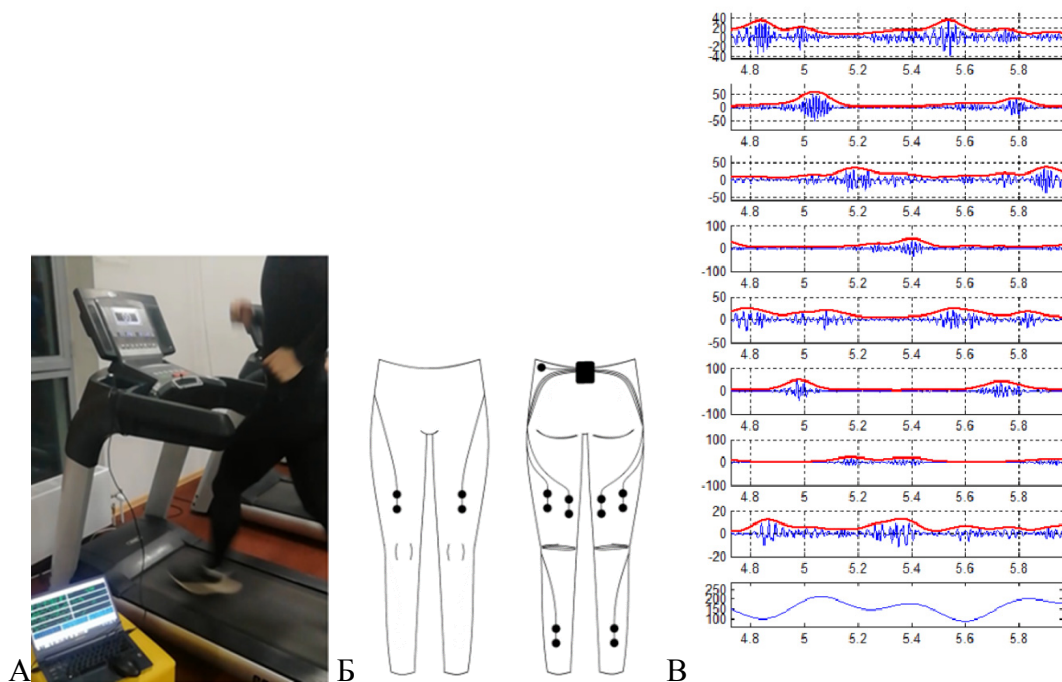
Ниже представлен пример обработки сигналов активности мышц при выполнении упражнений для тренировки рук (рис. 4А, В). Разным цветом показаны изменения во времени (10 сек) силы напряжения отдельных мышц от 0 до 100% относительно максимального напряжения в записи и соответствующие расположения сенсоров (рис. 4Б). Затем был проведен анализ полученных сигналов, рассчитывалась максимальная сила напряжения отдельных мышц как 95-й перцентиль от значений RMS (рис. 4Г). Как

и следовало ожидать, наиболее активны оказались трицепсы (синий, красный) и грудные (желтый и синий).



**Рис. 4.** Упражнения на бицепсы рук. А – внешний вид упражнения; Б – сигналы напряжения отдельных мышц; В – расположение датчиков; Г – максимальная сила напряжения отдельных мышц.

Также был проведен комплекс упражнений с нагрузкой на бицепс рук (рис. 5). Наиболее активны также оказались бицепсы (зеленый, голубой) и грудные (желтый и синий). Система позволяет оценить активность мышц ног с помощью датчиков на штанах. Во время динамической нагрузки (бега) можно оценить динамику каждой мышцы и степень напряжения (рис. 5). Были проведены записи сигналов активности мышц ног во время бега на беговой дорожке со скоростями 5, 10, 12, 15 км/ч. Анализ ЭМГ сигналов позволяет точно детектировать время активации и амплитуду напряжения каждой мышцы и во время циклических многократных повторений во время ходьбы и бега. Такой подход позволяет сравнить не только амплитудные характеристики сил напряжения, но и временные динамические параметры, что необходимо для мониторинга и развития реакции и координации спортсмена.



**Рис. 5.** Упражнения с сенсорами на ногах; А – бег на снаряде; Б – расположение датчиков на штанах; В – активность отдельных мышц во время бега на беговой дорожке.

## Список литературы

- Aquino J.M., Roper J.L. (2018) Intraindividual variability and validity in smart apparel muscle activity measurements during exercise in men // *International Journal of Exercise Science*. 2018. Vol. 11, No. 7. P. 516.
- Di Giminiani R., et al. (2020) Validation of fabric-based thigh-wearable EMG sensors and oximetry for monitoring quadriceps activity during strength and endurance exercises // *Sensors*. 2020. Vol. 20, No. 17. P. 4664.
- Kim S., Lee S., Jeong W. (2020) EMG measurement with textile-based electrodes in different electrode sizes and clothing pressures for smart clothing design optimization // *Polymers*. 2020. Vol. 12, No. 10. P. 2406.
- Lynn S. K., et al. (2018) Validity and reliability of surface electromyography measurements from a wearable athlete performance system // *Journal of sports science & medicine*. 2018. Vol. 17, No. 2. P. 205.