

**ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
СУММАРНОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ И ЭЛЕКТРОМИОСТИМУЛЯЦИИ***Меженная М.М., Осипов А.Н., Давыдов М.В., Давыдова Н.С.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, БГУИР, каф. ЭТТ, 220013, Минск, Беларусь, тел. +375 17 2938540
E-mail: mezhennaya@bsuir.by*

Abstract. The therapy and diagnostic hardware-software complex has been designed for the assessment and control of dynamics of human neuromuscular system functional condition on the basis of total electromyogram time-frequency analysis, for training, prevention and treatment of the defeats of muscles of human musculoskeletal device by means of influence the stimulation signals with the reduction ability adequate on their physiological action to individual functional condition of stimulated muscle.

Введение. Электростимуляция опорно-двигательного аппарата человека (электромиостимуляция) основана на использовании низкочастотных электрических сигналов с целью профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата, тренировки мышечных групп [1–4]. Физиологический эффект электромиостимуляции зависит от выбора параметров воздействующего сигнала, которые должны быть адекватны функциональному состоянию стимулируемых мышц [4, 5]. Основная сложность использования физиотерапевтической аппаратуры для электромиостимуляции состоит в отсутствии научно обоснованных способов определения параметров электрического сигнала [6]. Приоритетным направлением решения данной проблемы является создание аппаратно-программных комплексов электромиостимуляции, осуществляющих выбор параметров стимулирующего сигнала в зависимости от индивидуального состояния мышцы [5, 7], что требует разработки новых подходов в экспресс-диагностике объекта стимуляции – нервно-мышечного аппарата человека.

Суммарная (поверхностная или глобальная) электромиография (ЭМГ) является традиционным методом электрофизиологического исследования нервно-мышечной системы человека, основанным на регистрации с помощью накожных электродов и качественно-количественном анализе суммарной биоэлектрической активности совокупности двигательных единиц мышцы [8, 9]. Внедрение информационных технологий в медицинскую практику способствовало реализации цифровой обработки биомедицинских сигналов в автоматическом режиме и как результат – расширению возможностей электрофизиологических исследований. Для экспресс-анализа состояния мышцы человека целесообразно использовать частотно-временное представление суммарного ЭМГ-сигнала.

С целью выявления диагностических признаков состояния мышечной ткани на основе частотно-временного анализа авторами проведены исследования параметров частотно-временного представления суммарных электромиограмм мышц человека в норме и патологии [10, 11], что позволило осуществить разработку лечебно-диагностического аппаратно-программного комплекса для диагностики и контроля динамики функционального состояния нервно-мышечной системы человека на основе частотно-временной обработки суммарной электромиограммы; для тренировки, профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата человека посредством воздействия сигналами электромиостимуляции, адекватными индивидуальному состоянию стимулируемой мышцы.

Основная часть. Лечебно-диагностический аппаратно-программный комплекс содержит электромиограф с частотно-временной обработкой суммарной электромиограммы и электромиостимулятор с формированием стимулирующего сигнала различной сократительной способности на основе анализа биоэлектрической активности мышцы (рисунок 1).

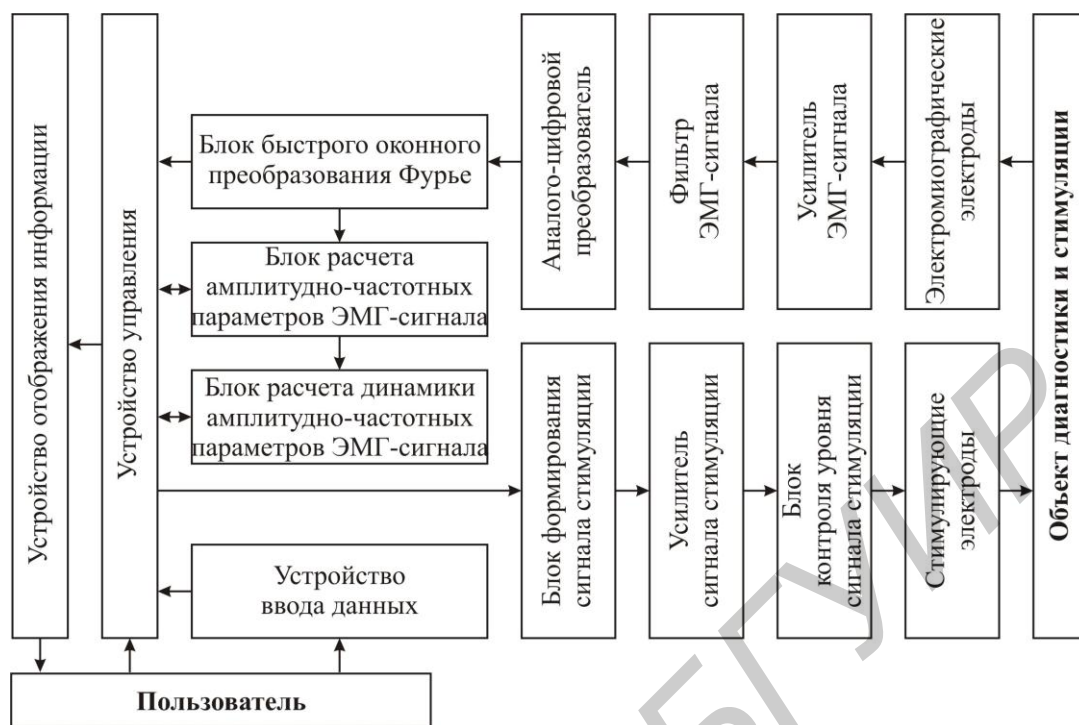


Рисунок 1 – Блок-схема лечебно-диагностического аппаратно-программного комплекса суммарной электромиографии и электромиостимуляции на основе частотно-временного анализа биоэлектрической активности мышц

Предусмотрено два режима работы лечебно-диагностического аппаратно-программного комплекса:

Режим суммарной электромиографии, реализующий разработанные авторами методики диагностики и контроля динамики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы.

Режим электромиостимуляции, реализующий разработанный авторами способ электромиостимуляции сигналами различной сократительной способности в зависимости от индивидуального функционального состояния стимулируемой мышцы.

В режиме суммарной электромиографии лечебно-диагностический аппаратно-программный комплекс работает следующим образом.

Регистрация суммарной электромиограммы выполняется путем отведения электрических потенциалов исследуемой мышцы с помощью поверхностных электродов. Зарегистрированный суммарный ЭМГ-сигнал подвергается усилению, фильтрации и преобразованию из аналоговой в цифровую форму.

Далее производится частотно-временная обработка суммарной электромиограммы (блок быстрого оконного преобразования Фурье), результатом которой является спектрограмма [10, 11]. В устройстве управления предусмотрена функция хранения спектрограмм. Суммарная электромиограмма и соответствующая спектрограмма выводятся на устройство отображения информации в реальном режиме времени, тем самым обеспечивая возможность графической визуализации амплитудной, частотной и временной составляющих ЭМГ-сигнала исследуемой мышцы.

С целью количественной оценки функционального состояния исследуемой мышцы на заданном пользователем интервале зарегистрированной электромиограммы рассчитываются параметры частотно-временного представления суммарного ЭМГ-сигнала (блок

расчета амплитудно-частотных параметров ЭМГ-сигнала) [10, 11]. Результаты вычислений в виде средней амплитуды, средней эффективной ширины спектра, коэффициента вариации огибающей электромиограммы и амплитудно-частотного коэффициента подвергаются анализу в устройстве управления и выводятся на устройство отображения информации совместно с заключением о текущем функциональном состоянии мышцы (состояние нормы, состояние ослабленной ткани или состояние патологии). Полученные количественные показатели суммарной электромиограммы поступают в блок расчета динамики амплитудно-частотных параметров ЭМГ-сигнала для хранения и последующего использования.

Реализация разработанной авторами методики диагностики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека человека на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы позволяет сформировать объективное диагностическое заключение за короткий период времени (до 3 мин) и использовать полученную информацию для прогнозирования сроков восстановления нарушенных двигательных функций, в качестве критерия при выборе средств физической реабилитации.

При проведении повторных процедур электромиографии выполняется контроль динамики функционального состояния исследуемой мышцы. Визуальная оценка изменения параметров ЭМГ-сигнала данной мышцы производится посредством вывода на устройство отображения исходной спектрограммы, хранящейся в устройстве управления, и текущей спектрограммы с целью их последующего сравнительного анализа. Для количественной оценки динамики функционального состояния исследуемой мышцы вычисляется относительное изменение амплитудно-частотного коэффициента (блок расчета динамики параметров). Результаты вычислений подвергаются анализу в устройстве управления. В зависимости от полученного заключения на устройство отображения информации выводится соответствующее зафиксированной динамике сообщение (положительная динамика, отрицательная динамика или отсутствие изменений функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека).

Реализация разработанной авторами методики контроля динамики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека на основе частотно-временного анализа суммарных электромиограмм позволяет оценить процесс восстановления нарушенных функций и проанализировать эффективность лечебно-профилактических мероприятий в клинической электромиографии, а также дает возможность оценить процесс тренировки мышечных групп и проанализировать эффективность применяемых физических нагрузок и физиотерапевтических процедур в спортивной медицине.

В режиме электромиостимуляции сигналами различной сократительной способности на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы лечебно-диагностический аппаратно-программный комплекс работает следующим образом.

Выполняется регистрация суммарной электромиограммы объекта стимуляции с помощью электромиографических электродов, усиление и фильтрация ЭМГ-сигнала, его преобразование из аналоговой в цифровую форму. Далее производится частотно-временная обработка суммарной электромиограммы (блок быстрого оконного преобразования Фурье), результатом которой является спектрограмма, и рассчитывается амплитудно-частотный коэффициент на заданном пользователем интервале зарегистрированной электромиограммы. В устройстве управления предусмотрена функция хранения спектрограмм. Суммарная электромиограмма и соответствующая спектрограмма выводятся на устройство отображения информации в реальном режиме времени. Значение амплитудно-частотного коэффициента подвергается анализу в устройстве управления и выводится на устройство отображения информации совместно с заключением о текущем функциональном состоянии мышцы (состояние нормы, состояние ослабленной ткани или состояние патологии). Амплитудно-частотный коэффициент суммарной электромиограммы посту-

пает в блок расчета динамики параметров и используется при проведении повторных сеансов для контроля эффективности физиотерапевтического воздействия.

Визуальная оценка динамики функционального состояния стимулируемой мышцы выполняется посредством вывода на устройство отображения информации исходной спектрограммы, хранящейся в устройстве управления, и текущей спектрограммы с целью их последующего сравнительного анализа. Для количественной оценки динамики функционального состояния стимулируемой мышцы вычисляется относительное изменение амплитудно-частотного коэффициента (блок расчета динамики параметров). Результат вычислений подвергается анализу в устройстве управления. В зависимости от полученного заключения на устройство отображения информации выводится соответствующее зафиксированной динамике сообщение (положительная динамика, отрицательная динамика или отсутствие изменений функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека).

По итогам диагностики текущего функционального состояния стимулируемой мышцы на устройство отображения информации выводится сообщение о рекомендуемом режиме электромиостимуляции (режим тренировки, реабилитации или патологии). Далее пользователю (врачу) предлагается конкретизировать параметры стимула с помощью устройства ввода данных. Устройство управления осуществляет расчет коэффициента вариации огибающей спектра сигнала электромиостимуляции [12] с заданными параметрами и в случае его соответствия выбранному режиму производится запуск блока формирования сигнала стимуляции. Сформированный сигнал воздействия поступает на усилитель сигнала стимуляции, а затем – в блок контроля уровня сигнала стимуляции для обеспечения защиты пациента от превышения максимально допустимого уровня стимула.

Подача сигнала на объект стимуляции осуществляется посредством стимулирующих электродов в течение заданного пользователем (врачом) времени.

Реализация разработанного авторами способа электромиостимуляции сигналами различной сократительной способности на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы стимулируемой мышцы позволяет повысить качество тренировки, профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата человека за счет согласования спектральных параметров сигнала электромиостимуляции (взвешенного коэффициента вариации огибающей спектра и эффективной ширины спектра) с функциональным состоянием объекта воздействия

Заключение. Разработан лечебно-диагностический аппаратно-программный комплекс, содержащий электромиограф с частотно-временной обработкой суммарной электромиограммы [13] и электромиостимулятор с формированием стимулирующего сигнала различной сократительной способности на основе анализа биоэлектрической активности мышцы [14]. Предусмотрено два режима работы аппаратно-программного комплекса: 1) режим суммарной электромиографии, реализующий разработанные авторами методики диагностики и контроля динамики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека на основе частотно-временного анализа суммарной электромиограммы; 2) режим электромиостимуляции, реализующий разработанный авторами способ электромиостимуляции сигналами различной сократительной способности в зависимости от индивидуального функционального состояния стимулируемой мышцы.

Лечебно-диагностический аппаратно-программный комплекс предназначен для экспресс-оценки и контроля динамики функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека; тренировки, профилактики и лечения поражений мышц опорно-двигательного аппарата посредством воздействия сигналами электромиостимуляции с сократительной способностью, адекватной по своему физиологическому действию индивидуальному состоянию стимулируемой мышцы.

Полученные результаты представляют интерес для инженеров, специализирующихся в области разработки систем электромиографии и электромиостимуляции.

Литература

1. Курортология и физиотерапия : в 2 т. / под ред. В.М. Боголюбова. – М. : Медицина, 1985. – Т. 1. – 560 с.
2. **Ясногородский, В.Г.** Электротерапия / В.Г. Ясногородский. – М. : Медицина, 1987. – 240 с.
3. **Лошилов, В.И.** Биотехнические системы электронейростимуляции / В.И. Лошилов, Л.И. Калакутский. – М. : МГТУ им. Баумана, 1991. – 169 с.
4. Медицинская энциклопедия: электростимуляция // Словари и энциклопедии на Академике [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа : http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_medicine/35527/Электростимуляция. – Дата доступа : 01.11.2014.
5. **Белова, А.Н.** Нейрореабилитация: Руководство для врачей / А.Н. Белова. – М. : Антидор, 2000. – 265 с.
6. **Потехин, Л.Д.** Кинезитерапия больных со спинальной параплегией. Учебное пособие для врачей, методистов и инструкторов лечебной физкультуры; врачей-физиотерапевтов / Л.Д. Потехин ; под ред. К.Б. Петрова. – Новокузнецк, 2001. – 67 с.
7. **Викторов, В.А.** Аппаратура для электростимуляции нервной и мышечной систем: исследования, создание и применение / В.А. Викторов, В.Л. Доманский // Медицинская техника. – 2002. – № 6. – С. 4–6.
8. **Николаев, С.Г.** Практикум по клинической электромиографии / С.Г. Николаев. – Иваново, 2003. – 264 с.
9. **Гехт, Б.М.** Теоретическая и клиническая электромиография / Б.М. Гехт. – Ленинград : Наука, 1990. – 229 с.
10. **Меженная, М.М.** Метод частотно-временного анализа суммарной электромиограммы в оценке функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека / М.М. Меженная, А.Н. Осипов, И.А. Ильясевич, Н.С. Давыдова, М.В. Давыдов, В.А. Кульчицкий // Проблемы физики, математики и техники. – 2012. – № 1 (10). – С. 105–112.
11. **Меженная, М.М.** Частотно-временной анализ суммарной электромиограммы в качественной и количественной оценке функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека / М.М. Меженная, А.Н. Осипов, И.А. Ильясевич, Н.С. Давыдова, М.В. Давыдов, В.А. Кульчицкий // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2012. – № 2. – С. 3–11.
12. **Давыдов, М.В.** Методы и технические средства электромиостимуляции на основе импедансных характеристик биотканей : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.17 / М.В. Давыдов; Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2009. – 143 л.
13. Устройство электромиографии : пат. 7118 Респ. Беларусь, МПК7 А 61 В 5/0488 / А.Н. Осипов, В.А. Кульчицкий, И.А. Ильясевич, М.М. Меженная, М.В. Давыдов, Н.С. Давыдова ; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – № u 20100556; заявл. 15.06.10, опубл. 30.04.11.
14. Устройство адаптивной электростимуляции : пат. 8500 Респ. Беларусь, МПК7 А 61 N 1/36, А 61 В 5/0488 / А.Н. Осипов, В.А. Кульчицкий, И.А. Ильясевич, М.М. Меженная, М.В. Давыдов, Н.С. Давыдова ; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – № u 20120093; заявл. 01.02.12, опубл. 30.08.12.