

# Приборы, информационно-измерительные системы

УДК 615.47, 616-71, 616.12-073.97-71

*Д.В. Толкович, М.Я. Марусина, Н.Б. Суворов, А.В. Козаченко*

## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*D.V. Tolkovich, M.Ya. Marusina, N.B. Suvorov, A.V. Kozachenko*

## **MULTIFUNCTIONAL BIOTECHNICAL SYSTEM FOR THE STUDY PHYSIOLOGICAL SIGNALS OF INTELLECTUAL ACTIVITY**

Рассмотрены структурная схема и функциональная организация информационно-измерительного комплекса для проведения физиологических исследований человека при напряженной интеллектуальной деятельности. На разработанном комплексе можно получить научные результаты, имеющие базовое значение для специалистов, занимающихся изучением психофизиологических механизмов интеллектуальной деятельности, а также для комплексной оценки функционального состояния человека в системах управления при различной физической и умственной нагрузке.

**БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФ. БИОСИГНАЛЫ. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС.**

The article deals with the structural schema and organization of informational and measurement system for physiological studies of man during intense intellectual activity. Scientific results that may be obtained in evolve a complex, can have a base value for those engaged in the study of psychophysiological mechanisms of intellectual activities, as well as a comprehensive assessment of the functional state of the person in control systems with different physical and mental stress.

**BIOTECHNICAL SYSTEM. INTELLECTUAL ACTIVITY. ELECTROENCEPHALOGRAPH. BIOLOGICAL SIGNALS. MEASURING COMPLEX.**

Интеллектуальная деятельность является одной из наиболее сложно организованных психических функций и, в то же время, одной из специфических потребностей человека. Процесс интеллектуальной деятельности непосредственно связан с мгновенным или постепенным изменением значительного числа психофизиологических параметров, характеризующих состояние организма человека в данный момент времени. Соответственно, анализ и формулирование научно-практических выводов, многомерная оценка функционального состояния человека на основе комплекса психофизиологических показателей

является одним из наиболее трудоемких и ответственных процессов при диагностике, прогнозе текущего и последующего состояний испытуемых, и зависит, в частности, от состава многофункционального измерительного комплекса и объема его аналитических возможностей.

Современные системы функциональной диагностики направлены, как правило, на решение диагностических задач чисто медицинского характера и, в частности, выявления когнитивных нарушений, связанных с определенной патологией, и не предназначены для анализа творческой интеллектуальной деятельности.

Одним из ведущих методов в исследовании интеллектуальной деятельности является метод электроэнцефалографии. Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) отражает уровень функциональной активности и в этом смысле чрезвычайно чувствительна к влиянию внешних факторов, стрессу, утомлению, уровню внимания и бодрствования. ЭЭГ тесно связана с состоянием мозга человека в норме и при психосоматических, невротических, эмоциональных, поведенческих, когнитивных расстройствах [1, 2].

В настоящее время в медицинской диагностике в задачах комплексной оценки функционального состояния человека при исследовании интенсивной интеллектуальной деятельности широко применяются биотехнические системы (БТС) различного назначения.

Нами разработан универсальный диагностический измерительный комплекс (БТС) с одновременной многофункциональной регистрацией биоэлектрической активности испытуемых, способный использоваться как в обычной ЭЭГ диагностике электрической активности структур мозга, так и для исследования текущего и «рабочего» функционального состояния операторов информационных систем управления. Комплекс создан на основе сертифицированного электроэнцефалографа с современным про-

граммным обеспечением. В качестве прототипа была выбрана разработанная ранее биотехническая система «Шахматы» [3, 4]. В комплексе принята новая идеология синхронизации исследуемых физиологических параметров. Возможности электроэнцефалографа, применяемого для диагностики и обработки электрических сигналов от различных пространственных зон и структур мозга, дополнены и расширены блоком обработки нестационарных сигналов.

В состав разработанного комплекса включены следующие компоненты:

- электроэнцефалограф «Мицар ЭЭГ 202» [5];
- комплект церебральных ЭЭГ электродов MCSCap;
- датчик регистрации пульса испытуемого;
- датчики регистрации дыхания испытуемого;
- фотостимулятор «Мицар-ФОТО-2» на штативе;
- микрофон испытуемого на штативе;
- микрофон оператора;
- видеокамера для фиксации состояния испытуемого;
- спектроанализатор;
- персональный компьютер оператора;
- система громкоговорителей;
- кнопочный пульт испытуемого.

На рис. 1 приведена структурная схема

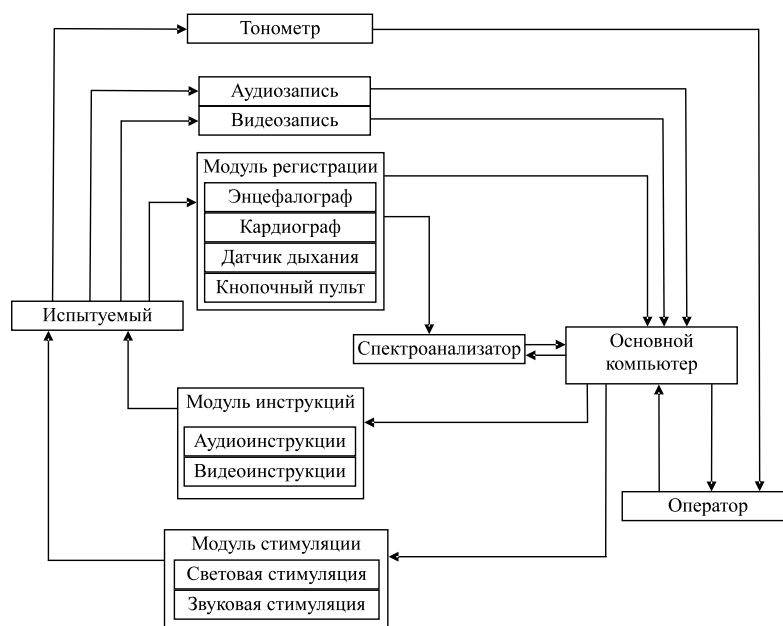


Рис. 1. Структурная схема многофункциональной биотехнической системы

разработанного комплекса.

Разработанный комплекс состоит из нескольких модулей: основные – компьютер оператора, модуль регистрации, модуль инструкций, аудиозапись и видеозапись, задействованные на любом этапе работы с комплексом; вспомогательные – модуль стимуляции, модуль спектроанализатора, модуль измерения давления.

Основной компьютер предназначен для регистрации сигналов, поступающих от испытуемого через модули регистрации, аудио- и видеозаписи. Также с помощью компьютера оператор задает режимы работы модуля инструкций и модуля стимуляции.

Модуль регистрации предназначен для обнаружения и усиления биоэлектрических сигналов испытуемого. Модуль представляет собой многоканальный регистратор, включающий регистрацию ЭЭГ, электрокардиосигнала (ЭКС) и функции дыхания (пневмограмма), а также кнопочный пульт испытуемого.

Модуль инструкций предназначен для предъявления заданий испытуемому в автоматическом и ручном режимах. Модуль включает аудиосистему и видеопроектор, управляемые компьютером оператора. Управляющие аудиосигналы синхронизируются по времени с биоэлектрическими сигналами от модуля регистрации. Модуль представляет собой чувствительный микрофон, соединенный с основным компьютером через согласующий усилитель. Модуль аудиозаписи предназначен для фиксации результатов интеллектуальной деятельности,

а также для создания аудиометок синхронизации с биомедицинскими сигналами.

Модуль видеозаписи предназначен для фиксации состояния испытуемого в процессе интеллектуальной деятельности. Модуль представляет собой видеокамеру, соединенную с основным компьютером. Видеопоток с камеры синхронизируется по времени с биомедицинскими сигналами от модуля регистрации.

Модуль стимуляции предназначен для подготовки испытуемого к проведению тестов, а также используется в процессе фиксации стандартных реакций на раздражители. Модуль представляет собой двухцветный светодиодный осветитель на штативе (световая стимуляция) и аудиосистему (звуковая стимуляция). Модуль управляется оператором через основной компьютер.

Спектроанализатор представляет собой специализированный компьютер, предназначенный для обработки биомедицинских сигналов, полученных от модуля регистрации, и для выделения спектров нестационарных сигналов.

Измерение артериального давления осуществляется с помощью электронного тонометра, показания которого фиксируются оператором.

На рис. 2 показаны некоторые компоненты комплекса.

Все испытуемые перед проведением исследований подписали информированное согласие.

На рис. 3 показан скриншот регистрации различных электрофизиологических сигнала-

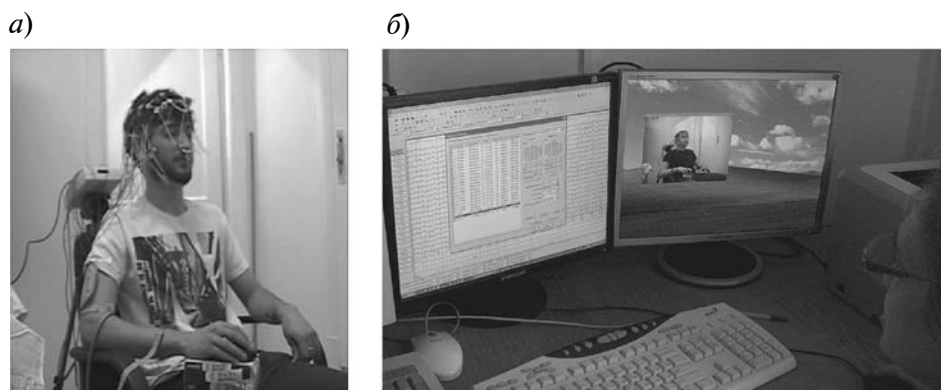


Рис. 2. Компоненты комплекса:

*а* – модуль регистрации физиологических сигналов, электроды на голове испытуемого, манжета тонометра на правой руке и кнопочный пульт в правой кисти; *б* – оператор контролирует процесс регистрации физиологических показателей на компьютере

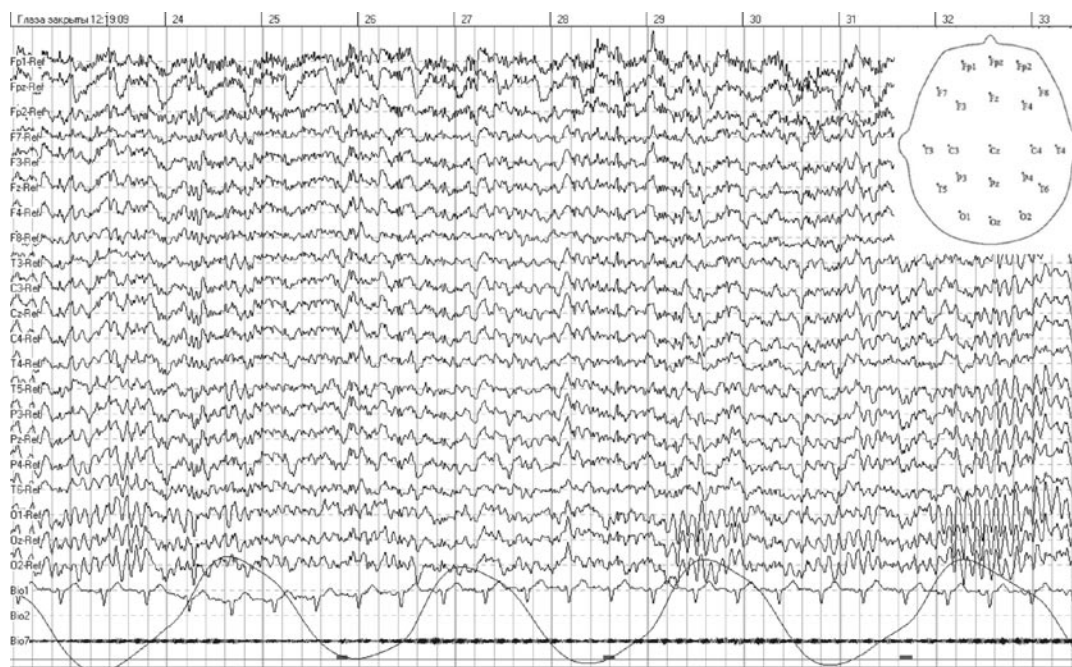


Рис. 3. Фрагмент регистрации физиологических сигналов (ЭЭГ, ЭКГ и пневмограмма)

лов: 21 отведение (канал) электроэнцефалограммы при выполнении математических действий (вычитание из тысячи) в уме с закрытыми глазами. Справа вверху наложена схема расположения электродов «10–20 %» по Джасперу. Электроды, маркированные индексом F, относятся к лобным отделам головного мозга, С – к центральным, Р – к теменным, Т – к височным, О – к затылочным. Bio1 – электрокардиограмма, регистрирует-

ся двумя электродами, зафиксированными на предплечьях испытуемого, Bio2 фиксирует функцию дыхания (пневмограмму) испытуемого, регистрируемую термодатчиком, Bio7 – аудиосигнал с микрофона испытуемого (в данном опыте не задействован). Прямая линия внизу – сигнал от кнопочного пульта, прямоугольники на ней – момент нажатия на кнопку. В верхней строке указаны режим и время исследования, отметки

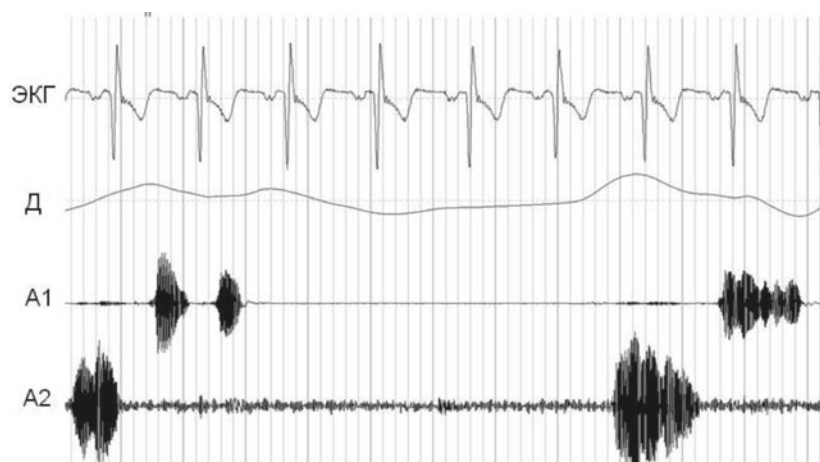


Рис. 4. Фрагмент регистрации физиологических и аудиосигналов: Д – дыхание; А1 – аудиосигнал испытуемого; А2 – аудиосигнал оператора

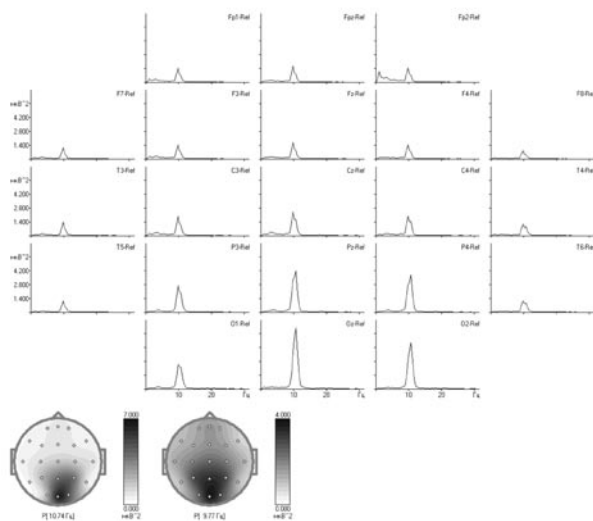


Рис. 5. Разложение фрагмента ЭЭГ на спектральные составляющие по отведениям. Состояние расслабленного бодрствования с закрытыми глазами

времени, между вертикальными линиями интервал составляет 0,2 с.

На рис. 4 показана синхронная регистрация электрофизиологических и информационных сигналов. В качестве физиологических сигналов использованы сигналы кардиограммы (ЭКГ) и дыхания (Д), а в качестве информационных – фрагмент общения между оператором (А2) и испытуемым (А1). Амплитуда сигналов регулируется независимо.

На рис. 5 приведен один из видов обработки зарегистрированных электрофизиологических сигналов – спектральный Фурье-анализ. Эпоха анализа равнялась 30 с, усреднялись спектры мощности четы-

рех секундных фрагментов с наложением 50 %. Внизу приведены топограммы распределения по поверхности головы двух доминирующих гармоник, лежащих в диапазоне альфа-ритма.

Разработан универсальный диагностический измерительный комплекс, который может использоваться как в обычной диагностике электрической активности структур мозга и сердечно-сосудистой системы, так и для исследования текущего и «рабочего» функционального состояния операторов информационных систем управления. Структурная схема комплекса отличается от известных наличием ряда свойств, позволяющих реализовать изучение электрофизиологических проявлений умственной деятельности человека в условиях как реальной, так и смоделированной когнитивной нагрузки. В комплексе благодаря синхронизации изучаемой умственной деятельности, срезов регистрируемых физиологических параметров испытуемого, технических и вспомогательных сигналов созданы возможности применения современных методов анализа нестационарных биологических процессов, сопровождающих переменную по напряженности интеллектуальную деятельность. Комплекс является открытой системой и может совершенствоваться в технических, информационно-аналитических и физиологических аспектах.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суворов, Н.Б. Электрофизиологические методы диагностики состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой систем человека: Учеб. пособие [Текст] / Н.Б. Суворов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. – 84 с.
2. Иванов, Л.Б. Прикладная компьютерная электроэнцефалография [Текст] / Л.Б. Иванов. – М.: Изд-во Научно-медицинская фирма МБН, 2004. – перераб. – 352 с.
3. Суворов, Н.Б. Биотехническая система для изучения интеллектуальной деятельности человека [Текст] / Н.Б. Суворов, В.А. Абрамов, А.В.

- Козаченко, Ю.З. Полонский // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 5(48). – С. 70–77.
4. Анодина-Андреевская, Е.М. Перспективные подходы к анализу информативности физиологических сигналов и медицинских изображений человека, при интеллектуальной деятельности [Текст] / Е.М. Анодина-Андреевская, С.В. Божокин, М.Я. Марусина, Ю.З. Полонский, Н.Б. Суворов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2011. – Т. 54. – № 7. – С. 27–34.
5. ООО «Мицар» [Электронный ресурс] / Режим доступа: [www.mitsar-eeg.ru](http://www.mitsar-eeg.ru)

## REFERENCES

1. **Suvorov N.B.** Elektrofiziologicheskie metody diagnostiki sostoianiia tsentral'noi nervnoi i serdechno-sosudistoi sistem cheloveka: Ucheb. posobie. –St.-Petersburg: Izd-vo SPbGETU «LETI», 2005. –84 s. (rus)
2. **Ivanov L.B.** Prikladnaia komp'iuternaia elektroentsefalografiia. –Moscow: Izd-vo Nauchno-meditsinskaia firma MBN, 2004; pererab. –352 s. (rus)
3. **Suvorov N.B., Abramov V.A., Kozachenko A.V., Polonskii Iu.Z.** Biotekhnicheskaiia sistema dlia izucheniia intellektual'noi deiatel'nosti cheloveka / Informatsionno-upravliaiushchie sistemy. – 2010. – № 5(48). – S. 70–77. (rus)
4. **Anodina-Andrievskaia E.M., Bozhokin S.V., Marusina M.Ia., Polonskii Iu.Z., Suvorov N.B.** Perspektivnye podkhody k analizu informativnosti fiziologicheskikh signalov i meditsinskikh izobrazhenii cheloveka, pri intellektual'noi deiatel'nosti / Izv. vuzov. Priborostroenie. –2011. –Т. 54. –№ 7. –S. 27–34. (rus)
5. ООО «Mitsar» [Available] [www.mitsar-eeg.ru](http://www.mitsar-eeg.ru)

---

**ТОЛКОВИЧ Дмитрий Владиславович** – аспирант Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики.

197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49.

E-mail: PYBY@inbox.ru

**TOLKOVICH, Dmitriy V.** *St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics.*

197101, Kronverkskiy pr. 49, St.-Petersburg, Russia.

E-mail: PYBY@inbox.ru

**МАРУСИНА Мария Яковлевна** – заведующий кафедрой измерительных технологий и компьютерной томографии Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики.

197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49.

E-mail: marusina\_m@mail.ru

**MARUSINA, Maria Ya.** *St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics.*

197101, Kronverkskiy pr. 49, St.-Petersburg, Russia.

E-mail: marusina\_m@mail.ru

**СУВОРОВ Николай Борисович** – заведующий лабораторией нейроэкологии Научно-исследовательского института экспериментальной медицины Северо-Западного отделения РАМН.

197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Павлова, д. 12.

E-mail: nbsuvorov@yandex.ru

**SUVOROV, Nikolay B.** *Institute of Experimental Medicine of the North West Branch of the Russian Academy of Medical Sciences.*

197376, Akad. Pavlov Str. 12, St.-Petersburg, Russia.

E-mail: nbsuvorov@yandex.ru

**КОЗАЧЕНКО Александр Викторович** – доцент кафедры измерительных технологий и компьютерной томографии Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики.

197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49.

E-mail: a\_kozachenko@mail.ru

**KOZACHENKO, Alexandr V.** *St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics.*

197101, Kronverkskiy pr. 49, St.-Petersburg, Russia.

E-mail: a\_kozachenko@mail.ru