

КОМПЛЕКС ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ БИООБЪЕКТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

А. В. Голубев, И. А. Синельникова, К. В. Егорова, И. В. Леонова

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

При исследовании действия различных внешних факторов на психофизиологическое состояние биообъектов разного уровня системной организации используются различные методы. В качестве объективных характеристик функционального состояния биообъектов широко используются показатели электрокардиограммы (ЭКГ) [1], магнитоэнцефалограммы (МЭГ) [2], электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [3]. В НИО-48 в последние годы активно применяются методы исследования электромагнитной активности головного мозга биообъектов, основанные на одноканальной и многоканальной сверхпроводящей магнитоэнцефалографии (СКВИД-магнетометрии) [2, 4], а также многоканальной электроэнцефалографии.

Для исследования магнитной активности головного мозга биообъектов применяется уникальный биомагнитный измерительный комплекс, включающий сверхпроводящую измерительную систему (с чувствительностью) с электронным блоком, магнитоэкранированную комнату с экранированием ~45 дБ, персональный компьютер и систему видеонаблюдения. Блок-схема этого комплекса приведена на рис. 1.

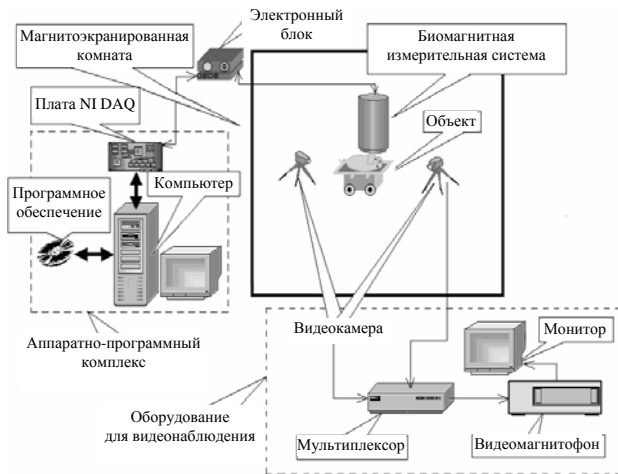


Рис. 1. Блок-схема биомагнитного измерительного комплекса

Для исследования биоэлектрической активности головного мозга биообъектов применяется измерительный комплекс на основе профессиональной электрографической системы NEOCORTEX, состоящей из цифрового 40-канального анализатора монитора биопотенциалов головного мозга «Нейровизор БММ 40У», персонального компьютера с программ-

ным обеспечением NEOCORTEX 2.1, комплекта электродных шлемов (рис. 2).

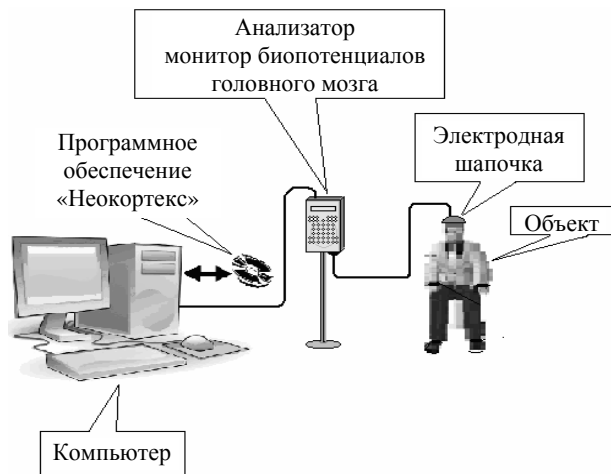


Рис. 2. Блок-схема электроэнцефалографического измерительного комплекса

Важной частью измерительных комплексов является совокупность программных средств регистрации данных, их последующей математической обработки и анализа, который предоставляет исследователю гибкий инструмент для выявления закономерностей и наиболее информативных показателей, отражающих изменения функционирования центральной и вегетативной нервной системы в результате воздействия внешних факторов.

Комплекс программ электрографической системы NEOCORTEX 2.1 включает программное обеспечение для регистрации ЭЭГ и анализа ЭЭГ, достаточное для использования в клинических условиях, а также модули для экспорта данных. Для проводимых в НИО-48 исследований действия различных внешних факторов на психофизиологическое состояние биообъектов разрабатываются модули ПО, дополняющие систему NEOCORTEX 2.1 и обеспечивающие решение стоящих перед исследователями задач.

СКВИД-системы для регистрации сверхслабых биомагнитных сигналов уникальны, разработку программного обеспечения для регистрации МЭГ, их последующей обработки и анализа приходится осуществлять самостоятельно. На рис. 3 представлена диаграмма взаимодействия объектов разработанного в НИО-48 сверхпроводящего аппаратно-программного комплекса.

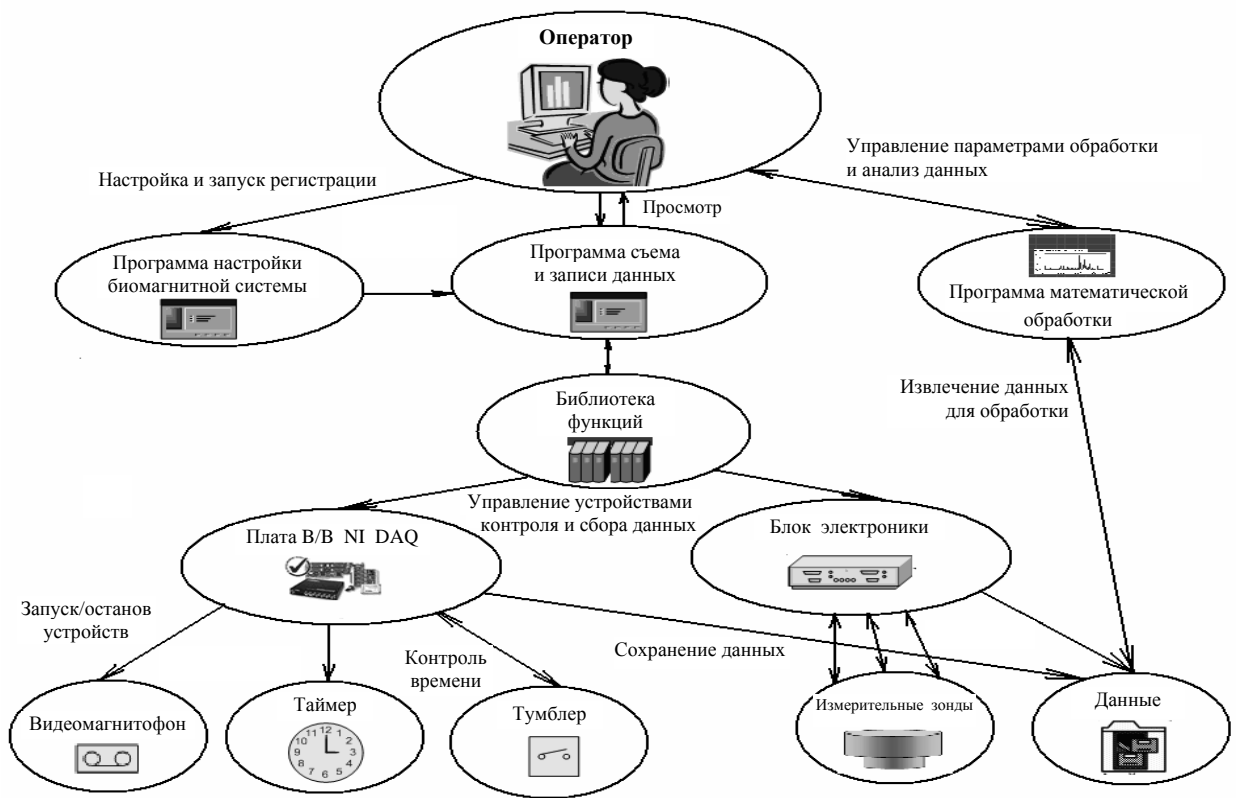


Рис. 3. Диаграмма взаимодействия объектов аппаратно-программного комплекса

В состав аппаратно-программного комплекса входят:

а) программный комплекс:

1) программа «Настройка биомангнитной измерительной системы», позволяющая производить настройку биомангнитной измерительной системы на рабочий режим;

2) программа съема информации, которая предоставляет пользователю возможность настроить и запустить процесс измерения;

3) пакет программ обработки и анализа зарегистрированных данных;

б) аппаратный комплекс:

1) многоканальная биомангнитная измерительная система, производящая регистрацию сверхслабых магнитных полей;

2) многофункциональная плата ввода-вывода NI-DAQ серии E;

3) внешние устройства, подключаемые к плате ввода-вывода и управляемые программой съема данных.

Система управления процессом регистрации обеспечивает:

- предварительное конфигурирование и настройку биомангнитной измерительной системы;

- настройку сеанса сбора данных;

- сбор данных с многоканальной биомангнитной измерительной системы;

- сбор данных с внешних устройств через аналоговый(ые) канал(ы) платы ввода-вывода;

- управление внешними устройствами (такими, например, как таймер, видеомангитофон) через цифровые каналы платы ввода-вывода;

- сохранение всех полученных данных на диск в формате, пригодном для их последующего анализа;

- предварительный просмотр результатов измерения биологического магнитного поля.

Управление аппаратной частью и чтение данных осуществляются посредством специального набора команд через COM-порты. Блок-схема программы съема информации приведена на рис. 3.

Для всех каналов имеются следующие общие настройки:

- режим компенсации постоянной составляющей;
- диапазон чувствительности каналов;
- коэффициент усиления сигнала;
- фильтрация сигнала;
- электронная компенсация помех.

Помимо этого для каждого канала осуществляется индивидуальная настройка следующих параметров:

- BIAS;
- смещения (имеет смысл, если выключен режим компенсации постоянной составляющей);
- коэффициентов K_x , K_y и K_z для компенсации помех (имеет смысл, если включена электронная компенсация помех).

Входящий в комплекс пакет программ для обработки и анализа сверхслабых сигналов МЭГ позволяет осуществить:

- преобразование формата данных;
- просмотр зарегистрированного сигнала по разным каналам;

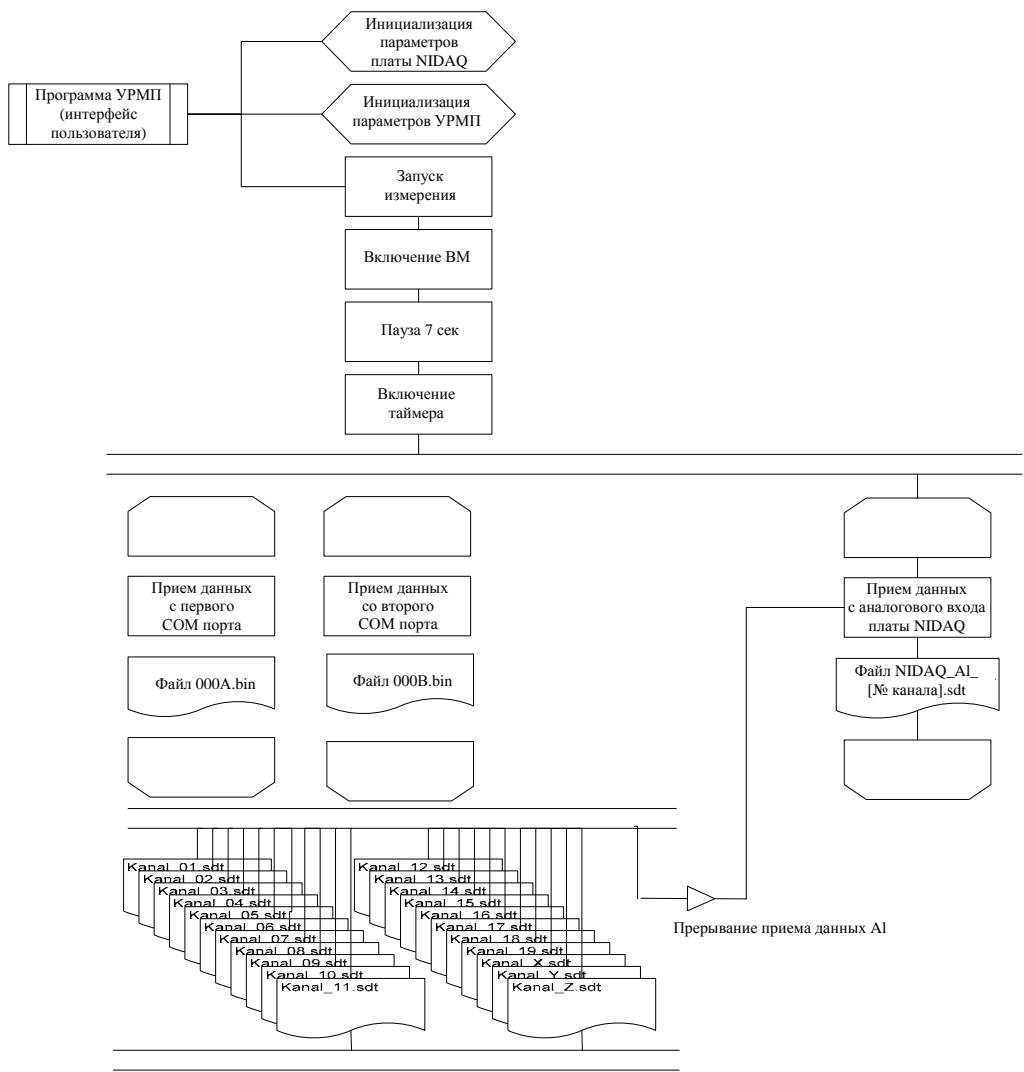


Рис. 4. Блок-схема программы съема информации

- очистку зарегистрированного сигнала от шумов и выделение полезного сигнала;
- узкополосную фильтрацию;
- расчет спектральной мощности отрезков зарегистрированной МЭГ в частотных диапазонах естественных ритмов и представление динамики мощности каждого из ритмов;
- корреляционный анализ МЭГ, полученных с разных каналов, а также отдельных ритмов МЭГ и прочих физиологических динамических характеристик;
- временную локализацию пиков;
- графическое представление вычисляемых параметров.

Пример четырехсекундного отрезка сигнала МЭГ одного биообъекта, зарегистрированного по четырем разным каналам, после подавления геомагнитных и промышленных помех представлен на рис. 4.

Помимо цифровой обработки биомангнитных сигналов [5, 6], в комплекс программ входят программы для спектрального и статистического анализа, в частности, для расчета и графического представления спектральной мощности МЭГ по коротким отрезкам (эпохам), предназначенным для исследования дина-

мики как спонтанной ритмики энцефалограмм, так и вызванной воздействием внешних факторов. На основании этих расчетов для каждого из характерных частотных диапазонов, как в абсолютном (в мкВт), так и в относительном (вклад частот диапазона в суммарную спектральную мощность) виде, строятся диаграммы флуктуации спектральной мощности (рис. 5).

Спектральные мощности сигналов магнитной активности головного мозга можно сопоставить по времени с результатами регистрации других физиологических характеристик биообъекта, например, с двигательной активностью (рис. 6) или с динамикой частоты сердечных сокращений (рис. 7).

Для предоставления возможности исследователю проведения корреляционного анализа доминирующих частот энцефалограммы динамика спектральной мощности энцефалограмм в частотных диапазонах естественных ритмов головного мозга биообъектов по коротким отрезкам отображается на одной диаграмме (рис. 8).

Динамику спектральной мощности сразу на нескольких каналах можно отследить также на трехмерном графике (рис. 9).

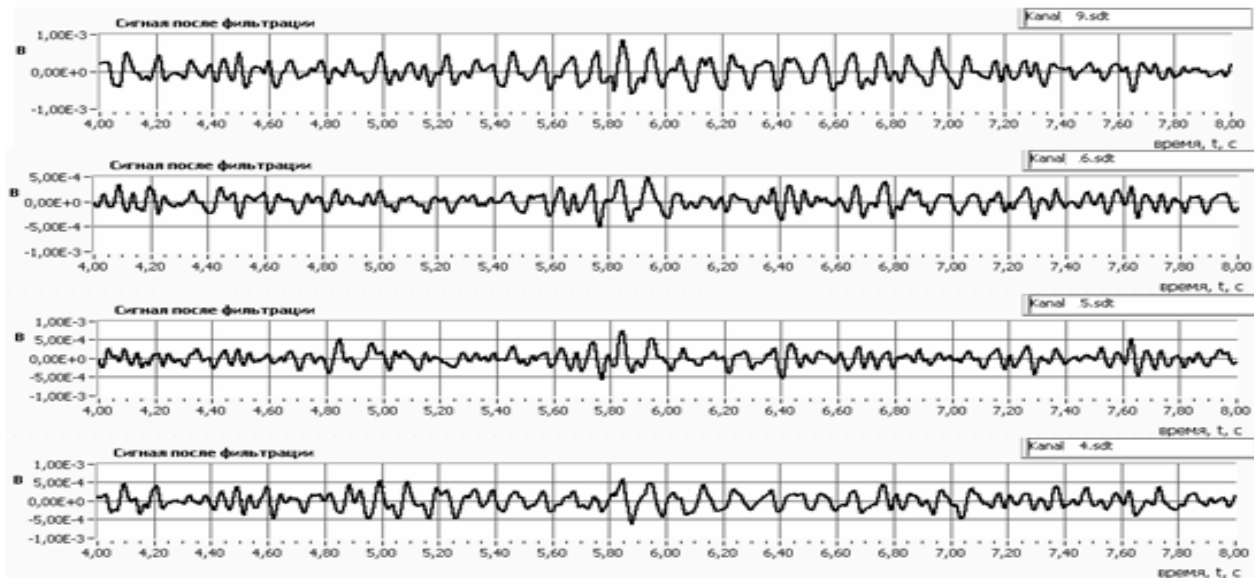


Рис. 5. Пример зарегистрированной энцефалограммы одного биообъекта

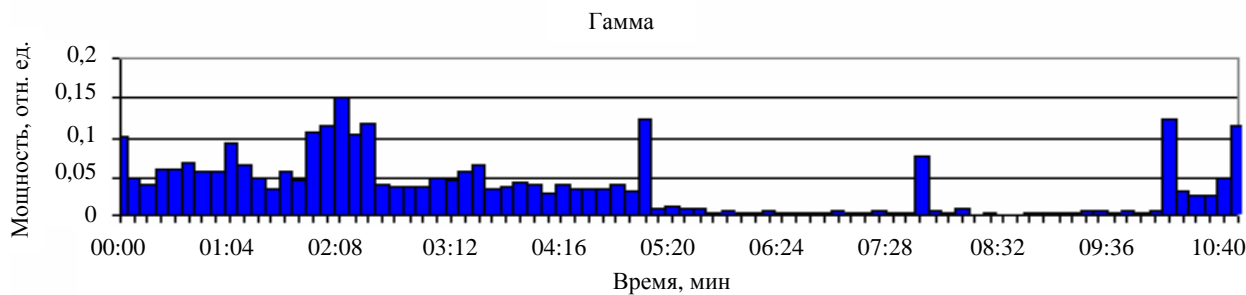


Рис. 6. Динамика относительной спектральной мощности гамма-активности по восьмисекундным отрезкам МЭГ биообъекта

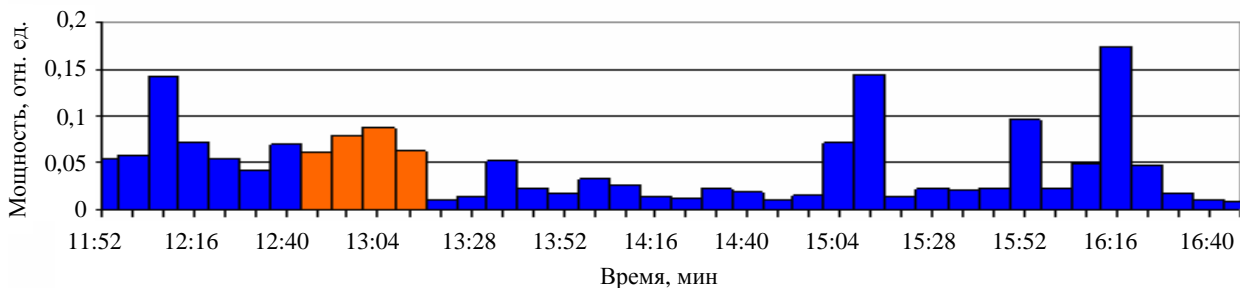


Рис. 7. Динамика относительной спектральной мощности гамма-активности МЭГ и двигательная активность биообъекта

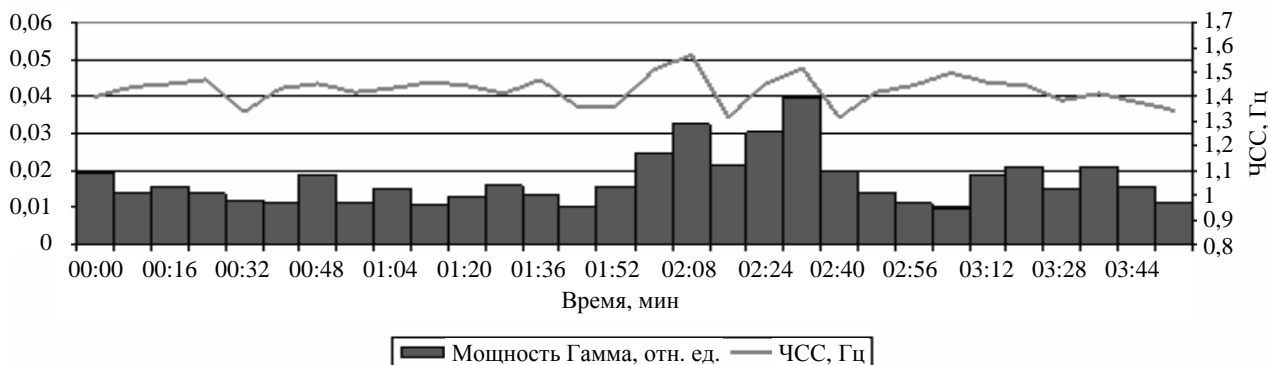


Рис. 8. Динамика относительной спектральной мощности гамма-активности МЭГ и флуктуации ЧСС биообъекта

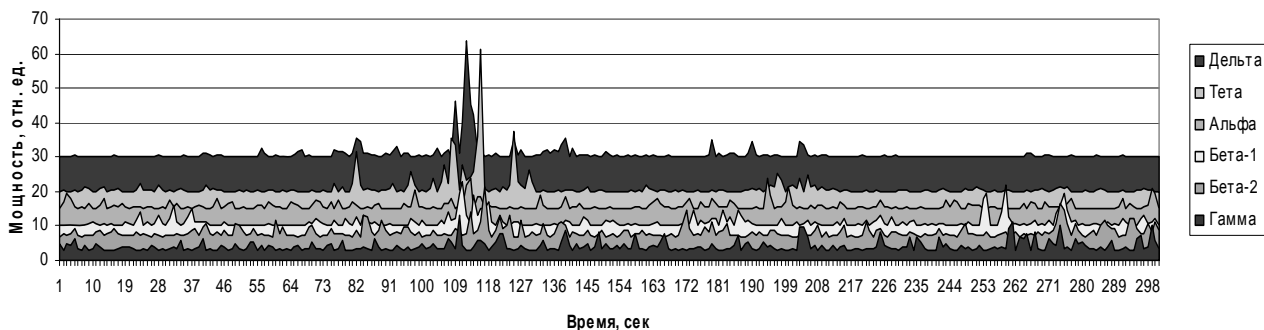


Рис. 9. На графике в одних осях (с добавлением смещения по оси ординат) представлена ежесекундная динамика спектральной мощности ЭГ для пяти известных частотных диапазонов

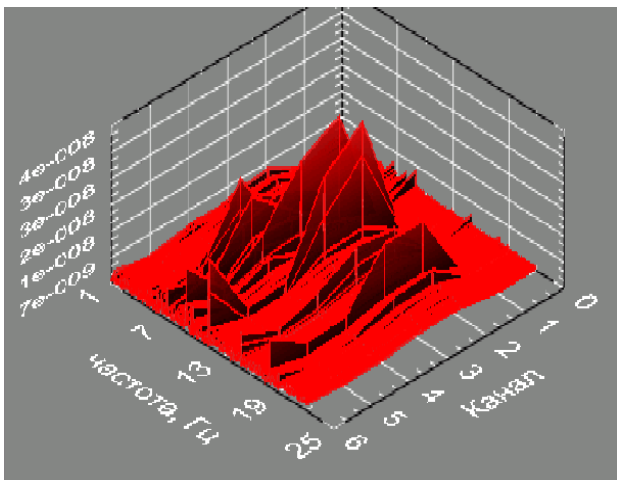


Рис. 10. Трехмерный график распределения спектральной мощности магнитной активности головного мозга биообъекта в диапазоне 1–25 Гц для выбранных каналов

Хорошее представление о динамике электромагнитной активности головного мозга дает программа динамического картирования ритмических компонент энцефалограмм по всей полосе спектра ЭЭГ или

МЭГ. В спектрах мощности отрезков ЭГ-сигнала представляется относительный вклад мощности каждой частоты (с точностью до 1 Гц) в суммарную мощность своего частотного диапазона (дельта, тета, альфа, бета-1, бета-2, гамма). Вычисленные значения представлены на рис. 10 на контурных диаграммах, где можно наблюдать динамику изменения относительного вклада каждой частоты (ось абсцисс) в мощность своего диапазона (интенсивность цвета в отн. ед.) во время воздействия ЭМИ (ось ординат – время).

Для сравнения влияния различных факторов на динамику ритмической активности всей группы биообъектов разработано ПО расчета и трехмерного представления изменений мощности компонент ЭГ (рис. 11).

Все вычисляемые параметры сохраняются в файле для дальнейшей обработки в пакетах статистических программ. Таким образом, использование многоканального биомагнитного измерительного комплекса и разработанного пакета программ представляет исследователю широкие возможности для выявления закономерностей и наиболее информативных показателей, отражающих изменения функционирования центральной и вегетативной нервной системы в результате воздействия внешних факторов.

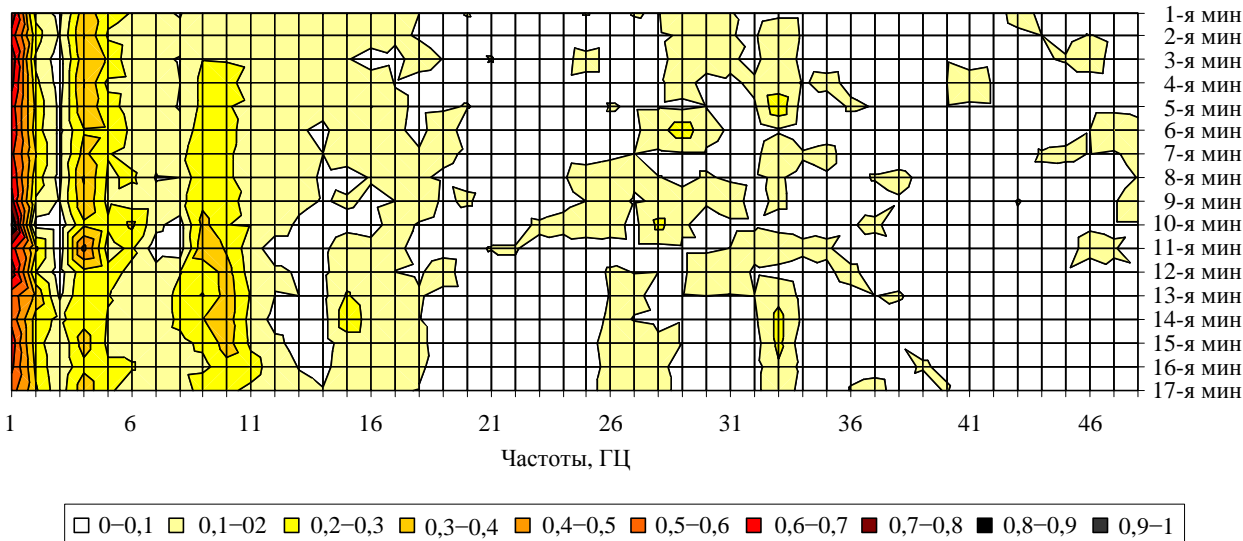


Рис. 11. Динамика ритмических компонент МЭГ биообъекта на протяжении 17 минут

Литература

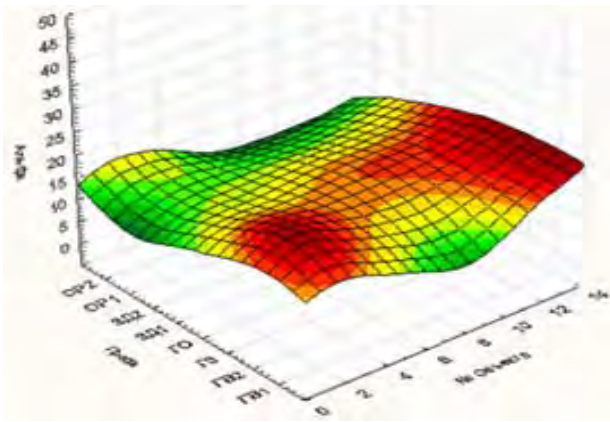


Рис. 12. Трехмерный график изменения мощности альфа-ритма 14 биобъектов в ходе проведения различных функциональных проб

1. Яблчанский Н. И., Кантор Б. Я., Мартыненко А. В. Вариабельность сердечного ритма в современной клинике. Харьков: ХНУ, 2001.
2. Кнеппо П., Титомир Л. И. Биомангнитные измерения. М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. Поворинский А. Г., Заболотных В. А. Пособие по клинической энцефалографии. М.: Медицина, 2000.
4. Romany G. L., Wilyamson S. D., Kaufman L. D. Biomagnetic instrumentation // Rev. Sci. Instruments. 1982. Vol. 53, N 12. P. 1815–1845.
5. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир, 1989.
6. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение ЦОС. М.: Мир, 1978.