

УДК 159.942, 612.741.1, 612.821

EDN [STFB LG](#)



Программный комплекс для мониторинга динамики эмоциональных реакций человека по паттернам ЭЭГ и ЭМГ

К.В. Сидоров*, Ю.В. Сидорова

Тверской государственной технической университет, наб. Афанасия Никитина,
22, Тверь, 170026, Россия

*E-mail: bmisidorov@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрен программный комплекс, который предназначен для мониторинга и прогнозирования динамики эмоциональных реакций человека. Отслеживание динамики эмоциональных реакций осуществляется с помощью интерпретации биомедицинских сигналов, которые регистрируются у человека во время аудиовизуальной стимуляции. В качестве биомедицинских сигналов анализируются паттерны электроэнцефалограмм (ЭЭГ) и электромиограмм (ЭМГ). Описана структура программного комплекса и продемонстрировано функционирование некоторых из модулей программного средства на примере работы с паттернами ЭЭГ. Представлен математический аппарат для анализа и интерпретации паттернов ЭЭГ, интегрирующий два типа информативных признаков – спектры мощности и характеристики двумерных проекций реконструированных аттракторов. Рассмотрена нечеткая модель динамики эмоций, позволяющая отслеживать валентность, уровень и динамику эмоциональных реакций человека. Программный комплекс прошёл испытания на аспирантах и студентах Тверского государственного технического университета. Результаты предварительных испытаний продемонстрировали работоспособность предложенного программного средства.

Ключевые слова: программный комплекс, эмоция, эмоциональная реакция, биомедицинский сигнал, спектр мощности, аттрактор.

A software package for monitoring the dynamics of human emotional reactions based on EEG and EMG patterns

K.V. Sidorov*, Yu.V. Sidorova

Tver State Technical University, 22 Afanasia Nikitina emb., Tver, 170026, Russia

*E-mail: bmisidorov@mail.ru

Abstract. The article considers a software package that is designed to monitor and predict the dynamics of human emotional reactions. Tracking the dynamics of emotional reactions is carried out by interpreting biomedical signals that are recorded in a person during audiovisual stimulation. Patterns of electroencephalograms (EEG) and electromyograms (EMG) are analyzed as biomedical signals. The structure of the software package is described and the functioning of some modules of the software tool is demonstrated by the example of working with EEG patterns. A mathematical apparatus for the analysis and interpretation of EEG patterns is presented, integrating two types of informative features – power spectra and characteristics of two-dimensional projections of reconstructed attractors. A fuzzy model of the dynamics of emotions is considered, which makes it possible to track the valence, level and dynamics of a person's emotional reactions. The software package has been tested on graduate students and students of Tver State Technical University. The results of preliminary tests demonstrated the operability of the proposed software.

Keywords: software package, emotion, emotional reaction, biomedical signal, power spectrum, attractor.

1. Введение

В настоящее время различные отечественные и зарубежные ученые в области систем поддержки принятия решений занимаются актуальными задачами по математической формализации [1] и программной реализации процессов возникновения и развития эмоциональных реакций у человека.

Итоги междисциплинарных исследований [2-4] за последние два десятилетия позволяют уверенно говорить о том, что существует корреляция между изменениями в паттернах биомедицинских сигналов, которые регистрируются при наблюдении за человеком, и его откликами в проявляемых эмоциональных реакциях. Для отслеживания изменений за параметрами эмоций исследователи наиболее часто используют паттерны электроэнцефалограмм (ЭЭГ) и электромиограмм (ЭМГ).

Несмотря на появление новых алгоритмических и программных решений, некоторые задачи в рассматриваемой сфере являются пока не решенными. В частности, есть потребность в повышении чувствительности технических решений, так как реализованные в России и за рубежом программные средства предоставляют возможность формировать достоверную интерпретацию только при высоком (ярко выраженном) уровне эмоциональной реакции, при этом вопрос вариации динамики эмоций не анализируется.

2. Постановка задачи

В рамках данного исследования поставлена задача по созданию и исследованию программных алгоритмов и моделей для прогнозирования динамики эмоциональных реакций человека по биомедицинским сигналам (паттернам ЭЭГ и ЭМГ) при аудиовизуальной стимуляции, в процессе которой человеку предъявляются эмоционально-дифференцированные аудио- и видеостимулы.

3. Методы и материалы исследования

Сформирована БД биомедицинских сигналов, содержащая паттерны ЭЭГ и ЭМГ, и отображающая изменение эмоциональных реакций человека при применении к нему стимуляции. Формирование БД паттернов ЭЭГ и ЭМГ проводилось при применении к испытуемым аудиовизуальной стимуляции, в процессе которой человеку предъявлялись эмоционально-дифференцированные аудио- и видеостимулы.

При аудиовизуальной стимуляции использовались: а) аудиостимулы (шумы разнотипной физической природы, звуки живой природы, классическая и современная

музыка); б) видеостимулы (сцены жестокого обращения с животными, насилие над людьми или хирургические операции; сцены природных ландшафтов; сцены юмористического характера с животными и людьми). Время предъявления аудиовизуальных стимулов варьировалось от 6 до 30 минут, в зависимости от задач разнотипных экспериментов.

Биотехническая система для съема и регистрации сигналов представляет собой аппаратно-программное средство, включающее технические средства, подключенные к персональным компьютерам: 1) электронейромиограф «Нейро-МВП-4» (производитель ООО «Нейрософт», г. Иваново), для регистрации паттернов ЭМГ; 2) электроэнцефалограф ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» (производитель ООО НПКФ «Медиком МТД», г. Таганрог), для регистрации паттернов ЭЭГ.

При регистрации паттернов ЭЭГ показатели снимались по международной системе отведений «10-20» (по 19-ти отведениям: O2-A2, O1-A1, P4-A2, P3-A1, C4-A2, C3-A1, F4-A2, F3-A1, Fp2-A2, Fp1-A1, T6-A2, T5-A1, T4-A2, T3-A1, F8-A2, F7-A1, Pz-A1, Cz-A2, Fz-A1, частота дискретизации 250 Гц). Регистрация ЭМГ велась при частоте дискретизации 1000 Гц в двух мышечных группах «*corrugator supercilii*» и «*zygomaticus major*» на левой стороне лица испытуемого.

Эксперименты с биотехнической системой позволили создать мультимодальную базу эмоциональных реакций человека («MDB») с достоверными образцами биомедицинских сигналов, зарегистрированными параллельно. На текущий момент исследований объем «MDB» составляет 1200 объектов (600 паттернов ЭЭГ, продолжительностью 12 секунд, 3 000 отсчетов; 600 паттернов ЭМГ, продолжительностью 12 секунд, 12 000 отсчетов), разделенных экспертными оценками двумя способами: 1) укрупненная классификация по трем классам эмоциональных реакций – отрицательные эмоции (cluster 1), нейтральное состояние (cluster 2) и положительные эмоции (cluster 3); 2) детализированная классификация по шести классам эмоциональных реакций – радость, удивление, нейтральное состояние, гнев, печаль, страх.

В качестве испытуемых выступили аспиранты и студенты Тверского государственного технического университета, различающиеся по гендерным и возрастным отличиям. На текущий момент в рамках исследования эксперименты проведены с 10 испытуемыми (5 женщин и 5 мужчин, возраст от 19 до 27 лет).

4. Полученные результаты

Общая структура программного комплекса «EEG/EMG» для мониторинга динамики эмоциональных реакций человека по паттернам биомедицинских сигналов представлена на рисунке 1.

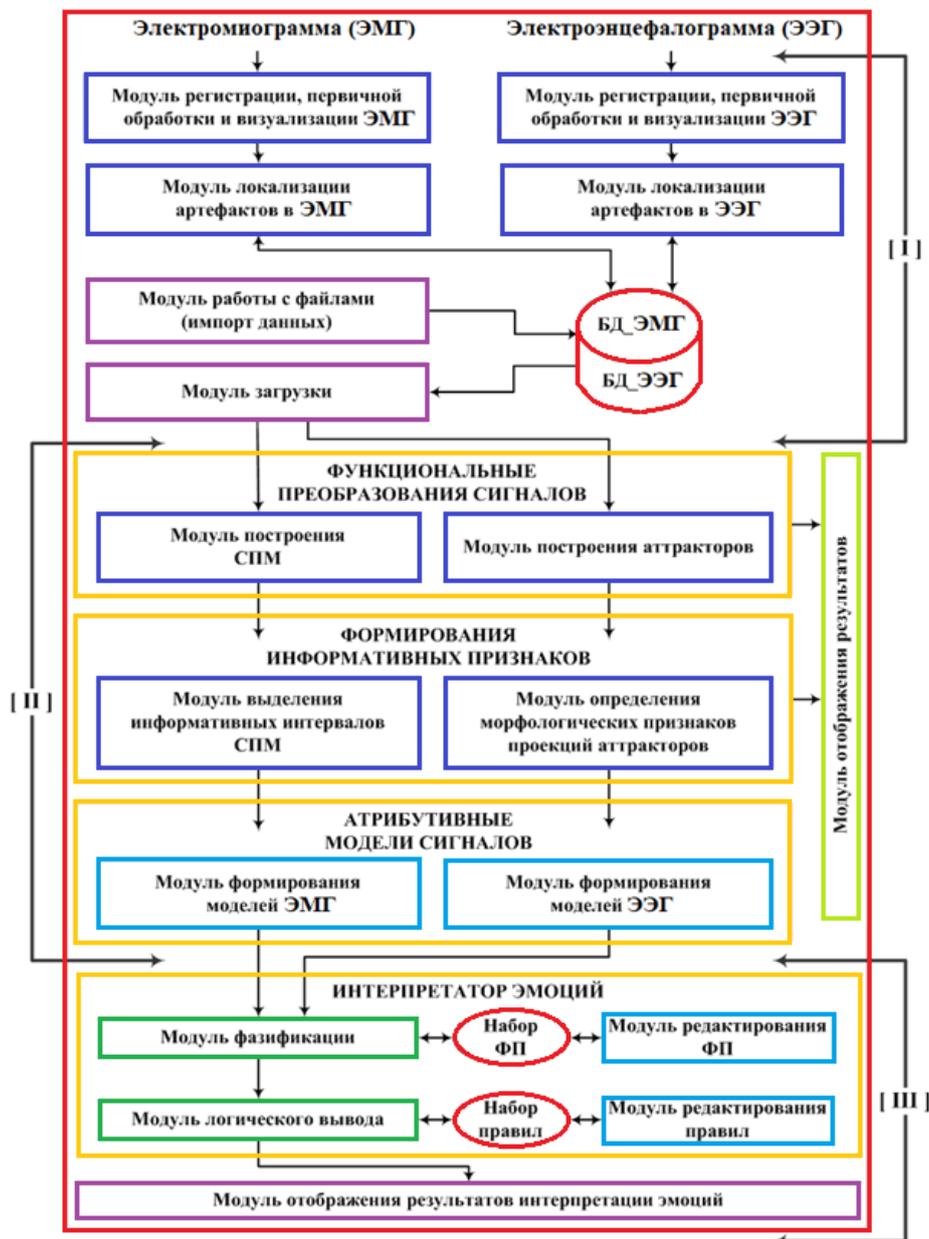


Рисунок 1. Структурная схема программного комплекса «EEG/EMG».

Модули программного обеспечения реализованы на языке C#3.0 для среды исполнения .NET Framework 3.5 и выше.

Компоненты комплекса «EEG/EMG» (см. рисунок 1) можно условно разделить:

а) модули первой группы (I) ориентированы на регистрацию, обработку и сохранение биомедицинских сигналов (паттернов ЭЭГ и ЭМГ) в соответствующих БД (предусмотрены процедуры экспорта и импорта данных); б) модули второй группы (II) позволяют определять набор дискретных признаков для формирования атрибутивных моделей биомедицинских сигналов; в) модули третьей группы (III) предоставляют возможность проводить мониторинг эмоциональных реакций человека посредством применения лингвистической интерпретации и логического вывода.

В рамках данной работы далее будет продемонстрировано функционирование некоторых из модулей программного комплекса на примере паттернов ЭЭГ.

Модуль локализации артефактов в ЭЭГ – предназначен для поиска и удаления помех (шумов) в многоканальных паттернах ЭЭГ (рисунок 2).

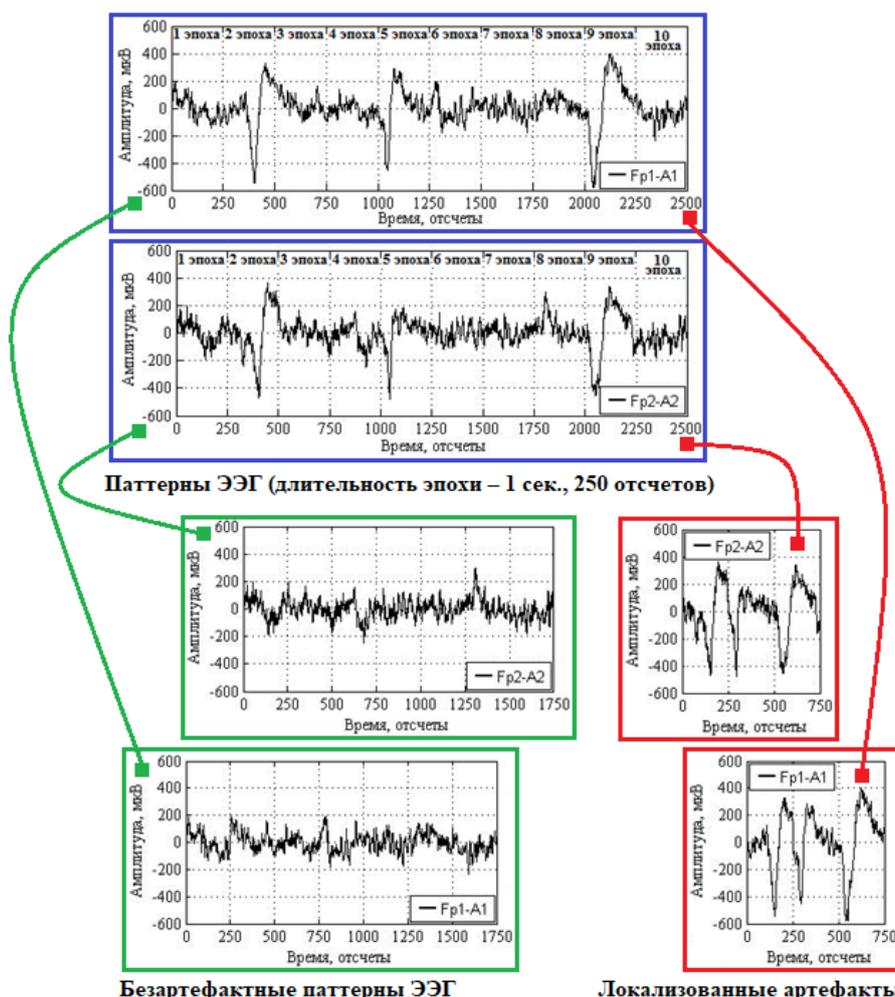


Рисунок 2. Локализация артефактов в паттернах ЭЭГ.

Имеется многоканальный паттерн ЭЭГ (см. рисунок 2), продолжительностью 2 500 отсчетов (10 сек.), содержащий артефакты электроокулограмм (ЭОГ) в глазных отведениях (левом Fp1-A1 и правом Fp2-A2), выделенные экспертами.

Реализованный модуль позволяет получать информацию о локализованных артефактах (количество артефактов, графическое представление очищенного паттерна ЭЭГ и локализованных артефактов), также подготавливает массивы данных ЭЭГ на основе предложенной системы дискретных признаков, использующей характеристики каждой эпохи по всем отведениям. В основу признаков положены оценки значений среднеквадратического отклонения (СКО) и дисперсии.

Модуль выделения информативных интервалов СПМ – ориентирован на нахождение спектральных признаков, в качестве которых используются значения спектральной плотности мощности (СПМ). Описание произвольного паттерна ЭЭГ (объекта БД) представляется в следующем виде:

$$X(s)_{eeg} = \left\langle \{x_1, x_2, \dots, x_r\}_1, \{x_1, x_2, \dots, x_r\}_2, \dots, \{x_1, x_2, \dots, x_r\}_l \right\rangle, \quad (1)$$

где $X(S)_{eeg}$ – векторы признаков спектров мощности (СПМ); S – номер объекта ЭЭГ в БД (всего 600 объектов); r – номер признака СПМ для ЭЭГ (всего 41 признак, шаг расчета СПМ составляет 3 Гц в частотном диапазоне 0–125 Гц); l – номер отведения ЭЭГ (всего 19 отведений).

Исследование СПМ позволило выделить интервалы наиболее информативных признаков – характеристики из отведений правого полушария (рисунок 3).

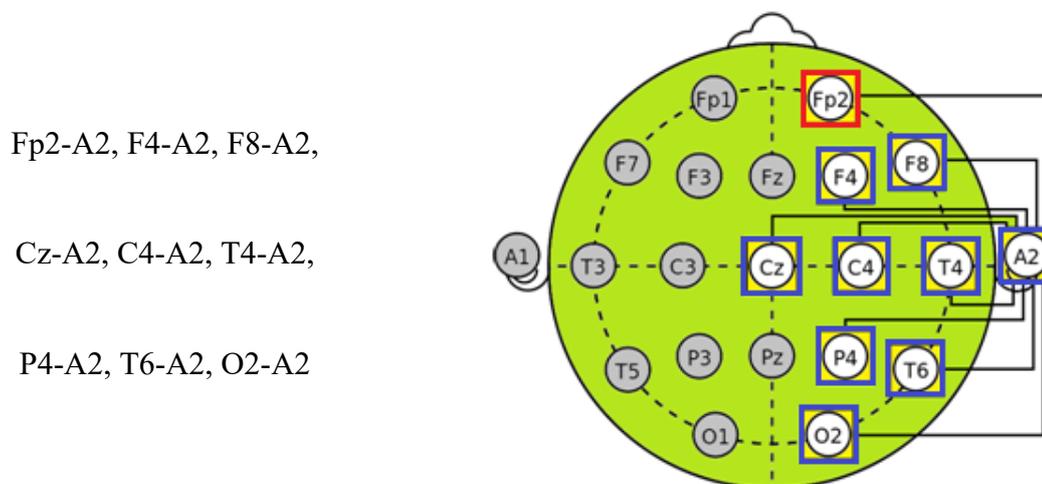


Рисунок 3. Отведения ЭЭГ правого полушария головного мозга.

Каждое из восьми отведений ЭЭГ (см. рисунок 3), глазное отведение Fr2-A2 в дальнейшем не анализируется, описывается 41 признаком вида (1). Таким образом, представление объекта ЭЭГ вида $X(S)_{eeg}$ включает 328 признаков (X_1-X_{328}) (рисунок 4).

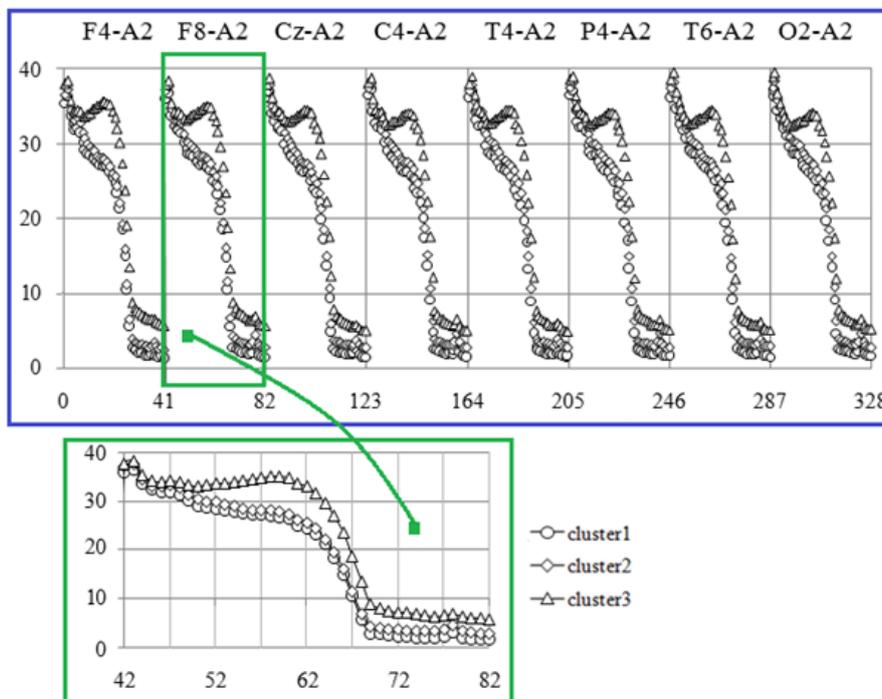


Рисунок 4. Распределение вектора признаков $X(S)_{eeg}$ (1) в центре кластеров (абсцисса – номер признака СПМ; ордината – СПМ, мкВ²/Гц).

Модуль определения морфологических признаков проекций аттракторов – предназначен для процедур реконструкции аттракторов [5] паттернов ЭЭГ с последующим выделением признаков в трех двумерных проекциях: 1) длина усредненного вектора (R , мкВ); 2) плотность траекторий (γ , ус. ед.) в центре проекций.

Описание произвольного паттерна ЭЭГ выглядит следующим образом:

$$A(S)_{eeg} = \left\langle \begin{matrix} \{R_{\max}^{1,1} - R_{\max}^{1,4}, \bar{R}_{\max}^1, R_{\max}^{2,1} - R_{\max}^{2,4}, \bar{R}_{\max}^2, R_{\max}^{3,1} - R_{\max}^{3,4}, \bar{R}_{\max}^3\}_1, \\ \{R_{\max}^{1,1} - R_{\max}^{1,4}, \bar{R}_{\max}^1, R_{\max}^{2,1} - R_{\max}^{2,4}, \bar{R}_{\max}^2, R_{\max}^{3,1} - R_{\max}^{3,4}, \bar{R}_{\max}^3\}_2, \\ \dots \\ \{R_{\max}^{1,1} - R_{\max}^{1,4}, \bar{R}_{\max}^1, R_{\max}^{2,1} - R_{\max}^{2,4}, \bar{R}_{\max}^2, R_{\max}^{3,1} - R_{\max}^{3,4}, \bar{R}_{\max}^3\}_l \end{matrix} \right\rangle, \quad (2)$$

где $A(S)_{eeg}$ – векторы признаков аттрактора; R_{\max}^{ij} – длина вектора j -го квадранта i -ой проекции (всего 3 проекции и 4 квадранта); \bar{R}_{\max}^i – длина усредненного вектора i -ой проекции аттрактора; S – номер объекта ЭЭГ в БД; l – номер отведения ЭЭГ.

Таким образом, в соответствии с выражением (2) паттерн ЭЭГ вида $A(S)_{eeg}$ (по 8-ми отведениям правого полушария) описывается 120 признаками (R_1-R_{120}) (рисунок 5).

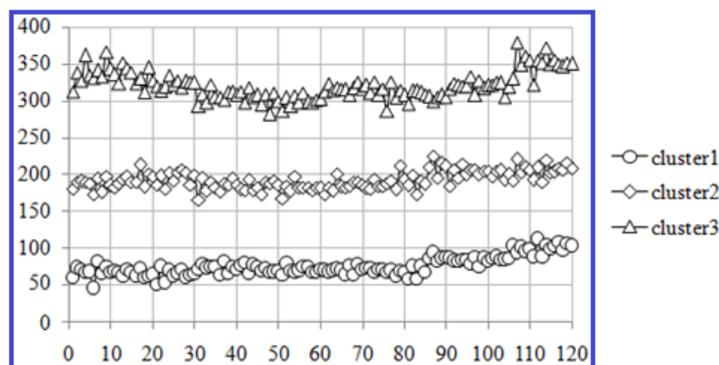


Рисунок 5. Распределение вектора признаков $A(S)_{eeg}$ (2) в центре кластеров (абсцисса – номер признака R_i ; ордината – значение признака R_i , мкВ).

Модули фазификации и логического вывода – позволяют проводить оценку и прогнозирование динамики эмоциональных реакций человека. Предложена математическая модель [6], позволяющая отслеживать и прогнозировать изменение знака, уровня и динамики эмоциональных реакций испытуемого, вызванных воздействием аудиовизуальной стимуляции: $Em = \langle Z, U, D \rangle$, где Z – валентность (знак), U – уровень (интенсивность), D – динамика (направление развития) эмоциональной реакции. В модели учтена возможность перехода к лингвистическим переменным (ЛП), которые описываются базовым терм-множеством: а) $ZT:: = \{ \langle \text{«Позитивная эмоциональная реакция»}, \text{«Нейтральное состояние»}, \text{«Негативная эмоциональная реакция»} \rangle \}$; б) $UT:: = \{ \langle \text{«Низкий уровень эмоциональной реакции»}, \text{«Средний уровень эмоциональной реакции»}, \text{«Высокий уровень эмоциональной реакции»} \rangle \}$; в) $DT:: = \{ \langle \text{«Убывающий тренд эмоциональной реакции»}, \text{«Динамика эмоциональной реакции отсутствует»}, \text{«Возрастающий тренд эмоциональной реакции»} \rangle \}$.

На текущий момент исследований расхождение интерпретации эмоциональных реакций по паттернам ЭЭГ (для 3-х укрупненных кластеров эмоциональных реакций) и экспертным оценкам для каждого испытуемого не превышает 3-7 %.

5. Выводы

Программный комплекс «EEG/EMG» планируется в дальнейшем применять в качестве системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) при исследовании

задач, связанных с мониторингом и коррекцией эмоциональных реакций человека. Результаты предварительных испытаний продемонстрировали его работоспособность.

К программному средству есть интерес со стороны Областного клинического психоневрологического диспансера (г. Тверь) для применения во врачебной практике с целью мониторинга и прогнозирования изменения динамики эмоционально-аффективных и депрессивных расстройств у взрослых и детей.

Благодарности

Работа выполнена в рамках стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых (СП-3061.2022.5).

Список литературы

1. Rangayyan, R.M. Biomedical signal analysis: 2nd edition / R. M. Rangayyan. – New York: Wiley-IEEE Press, 2015. – 720 p.
2. Рабинович, М.И. Нелинейная динамика мозга: эмоции и интеллектуальная деятельность / М.И. Рабинович, М.К. Мюезинолу // Успехи физических наук. – 2010. – Т. 180, № 4. – С. 371-387.
3. Lan, Z. Real-time EEG-based emotion monitoring using stable features / Z. Lan, O. Sourina, L. Wang, Y. Liu // The Visual Computer. – 2016. – Vol. 32, No. 3. – Pp. 347-358.
4. Мозг, познание, разум: введение в когнитивные нейронауки / под ред. Б. Баарса, Н. Гейдж. – Москва: Лаборатория знаний, 2021. – 467 с.
5. Филатова, Н.Н. Интерпретация характеристик эмоций с помощью анализа аттракторов, реконструированных по ЭЭГ-сигналам / Н.Н. Филатова, К.В. Сидоров // Нечеткие системы и мягкие вычисления. – 2016. –Т. 11, № 1. – С. 57-76.
6. Сидоров, К.В. Оценка динамики эмоциональных реакций человека на основе анализа электроэнцефалограмм / К.В. Сидоров, Ю.В. Сидорова // II Международная научно-практическая конференция молодых учёных «Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению»: Сборник трудов конференции в 2-х частях. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2022. – Ч. 1.– С. 406-410.