

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-2-8-24>



УДК 004.89:004.93

Выявление личностной тревожности на основе электроэнцефалографии с использованием машинного обучения

А. В. Авсиевич¹, Д. С. Жейков¹ ✉, А. В. Иващенко¹, В. В. Авсиевич¹,
И. А. Широков¹, А. Е. Пономарев¹, Е. В. Заров¹, А. В. Колсанов¹

¹ Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Чапаевская, д. 89, г. Самара 443099, Российская Федерация

✉ e-mail: d.s.zhejkov@samsmu.ru

Резюме

Цель исследования. Электроэнцефалография в настоящее время успешно используется для диагностики и реабилитации психологических и когнитивных расстройств. При этом в практическом здравоохранении возникают трудности, связанные со слабостью в объективной оценке выраженности тревожных состояний и необходимостью учитывать индивидуальные особенности пациентов. Данные особенности трудно алгоритмизировать, но можно учесть при реализации методов машинного обучения. Цель исследования – оценить возможность применения технологий машинного обучения для идентификации уровня тревожности, коррелируемой с методикой Спилбергера-Ханина, по данным электроэнцефалографии.

Методы. Для идентификации тревожности в основной и контрольных группах использован метод Спилбергера-Ханина, который позволяет дифференцированно измерять тревожность как личностное свойство. Запись альфа-ритмов производилась с помощью 6-канальной электроэнцефалографии. В качестве средства машинного обучения использована библиотека CatBoost, реализующая алгоритм градиентного бустинга с минимизацией функции потерь.

Результаты. В эксперименте участвовало 92 респондента, разделенные по итогам тестирования на три группы. Все испытуемые перед прохождением тестирования находились в состоянии покоя 1,5 минуты с включенной записью ЭЭГ, далее им предлагалось пройти тест на определение личностной тревожности при синхронной записи параметров альфа-ритма. По итогам тестирования респонденты были разделены на три группы в соответствии с уровнем определенной тревожности. Проведенное исследование выявило зависимость между разными уровнями тревожности по шкале Спилбергера-Ханина и видом электроэнцефалограммы у испытуемых, что дает возможность перехода от тестирования пациентов к снятию и интерпретации ЭЭГ.

Заключение. В ходе проведенного исследования выявлена положительная зависимость между разными уровнями личностной тревожности по шкале Спилбергера-Ханина и видом электроэнцефалограммы у испытуемых с точностью до 14%. Показано, что при определении тревожности возможно заменить тест, основанный на методике Спилбергера-Ханина на определение тревожности по ЭЭГ с использованием технологии машинного обучения.

© Авсиевич А. В., Жейков Д. С., Иващенко А. В., Авсиевич В. В.,
Широков И. А., Пономарев А. Е., Заров Е. В., Колсанов А. В., 2025

Ключевые слова: искусственный интеллект; электроэнцефалография; диагностика тревожности; психодиагностика, машинное обучение.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Выявление личностной тревожности на основе электроэнцефалографии с использованием машинного обучения / А. В. Авсиевич, Д. С. Жейков, А. В. Иващенко, В. В. Авсиевич, И. А. Широков, А. Е. Пономарев, Е. В. Заров, А. В. Колсанов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 15, № 2. С. 8–24. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-2-8-24>

Поступила в редакцию 16.04.2025

Подписана в печать 17.05.2025

Опубликована 30.06.2025

Detection of personal and situational anxiety based on electroencephalography using machine learning

Alexandr V. Avsievich¹, Denis S. Zheikov¹✉, Anton V. Ivaschenko¹,
Vladimir V. Avsievich¹, Ilya A. Shirokov¹, Artem E. Ponomarev¹,
Evgeniy V. Zarov¹, Alexander V. Kolsanov¹

¹ Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
89 Chapayevskaya Str., Samara 443099, Russian Federation

✉ e-mail: d.s.zheikov@samsmu.ru

Abstract

The purpose of research. Nowadays electroencephalography is successfully used for diagnostics and rehabilitation of psychological and cognitive disorders. At the same time, practical healthcare meets with the difficulties related to the weakness in objective assessment of the severity of anxiety states and the requirement to consider the individual characteristics of patients. These features are difficult to formalize, but can be taken into account when implementing machine learning methods. The purpose of the study is to evaluate the possibility of using machine learning technologies to identify the level of anxiety correlated with the Spielberger-Khanin method, according to electroencephalography data.

Methods. To identify anxiety in the main and control groups, the Spielberger-Khanin method was used, which allows for differential measurement of anxiety as a personal trait. Alpha rhythms were recorded using 6-channel electroencephalography. The CatBoost library, which implements a gradient boosting algorithm with loss function minimization, was used as a machine learning tool.

Results. The experiment involved 92 respondents, divided into three groups based on the testing results. Before testing, all subjects were in a state of rest for 1.5 minutes with the EEG recording turned on. Then they were asked to take a test to determine personal anxiety with synchronous recording of alpha rhythm parameters. Based on the results of testing, respondents were divided into three groups in accordance with the level of a certain anxiety. The study revealed a relationship between different levels of anxiety according to the Spielberger-Khanin scale and the type of electroencephalogram in subjects, which makes it possible to move from testing patients to recording and interpreting EEG.

Conclusion. The study revealed a positive relationship between different levels of personal anxiety according to the Spielberger-Khanin scale and the type of electroencephalogram in subjects with an accuracy of up to 14%. It is shown that when determining anxiety, it is possible to replace the test based on the Spielberger-Khanin method for determining anxiety by EEG using machine learning technology.

Keywords: artificial intelligence; electroencephalography; anxiety diagnostics; psychodiagnostics; machine learning.

Conflict of interest: The Authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Avsievich A. V., Zheikov D. S., Ivaschenko A. V., Avsievich V. V., Shirokov I. A., Ponomarev A. E., Zarov E. V., Kolsanov A. V. Detection of personal and situational anxiety based on electroencephalography using machine learning. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2025;15(2):8–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-2-8-24>

Received 16.04.2025

Accepted 17.05.2025

Published 30.06.2025

Введение

В настоящее время электроэнцефалография (ЭЭГ) широко применяется в качестве неинвазивного метода исследования функционального состояния головного мозга при диагностике различных психологических и когнитивных расстройств [1]. Современные устройства ЭЭГ [2; 3] позволяют получать достаточно адекватные характеристики электрической активности головного мозга. Однако низкая выраженность сигналов, свидетельствующих о психологических и когнитивных процессах, а также их индивидуальные особенности обуславливают сложность их применения в практическом здравоохранении. Вместе с тем результаты современных исследований показывают достаточно высокую эффективность программно-аппаратных комплексов ЭЭГ для исследования эмоциональных реакций и когнитивных процессов. В частности, ряд авторов подчеркивают важность исследований, связанных с ритмами ЭЭГ и когнитивными процессами [4]. Дополнительно рассматриваются индивидуальные характеристики ЭЭГ и их влияние на время реакции [5] и разработка

аппаратно-программных комплексов для диагностики психофизиологического состояния [6].

Одной из актуальных задач применения ЭЭГ в персонализированной медицинской диагностике и реабилитации является анализ тревожности [7; 8].

При этом учитываются личностные особенности пациентов и разные условия проведения экспериментов [9; 10]. Проведенные исследования подтверждают возможность использования электроэнцефалографии для различных оценок тревожности [11; 12; 13].

Электроэнцефалография также используется для исследования личной тревожности при когнитивной деятельности [14; 15], а также связь биоэлектрической активности мозга с клиническими особенностями течения депрессивных расстройств [16; 17].

Учитывая возможности статистического анализа результатов ЭЭГ для персонализированной оценки тревожности, перспективным является применение программных средств искусственного интеллекта для обработки и анализа данных. В продолжение указанных исследований в настоящей статье предложена

методика выявления личностной и ситуативной тревожности на основе электроэнцефалографии с использованием методов обработки больших данных.

Материалы и методы

Личностная тревожность характеризуется устойчивую склонность воспринимать большой круг ситуаций как угрожающие, реагировать на такие ситуации состоянием тревоги. Реактивная тревожность характеризуется напряжением, беспокойством, нервозностью. Высокая реактивная тревожность вызывает нарушение внимания, иногда нарушение тонкой координации. Высокая личностная тревожность прямо коррелирует с наличием невротического конфликта, с эмоциональными и невротическими срывами и психосоматическими заболеваниями.

Измерение тревожности как свойства личности особенно важно, так как это свойство во многом обуславливает поведение субъекта. Определенный уровень тревожности – естественная и обязательная особенность активной деятельной личности. У каждого человека существует свой оптимальный, или желательный, уровень тревожности – это так называемая полезная тревожность.

Оценка человеком своего состояния в этом отношении является для него существенным компонентом самоконтроля и самовоспитания. Следует отметить, что тревожность является естественной и обязательной особенностью активной личности. Существует

даже так называемый оптимальный уровень «полезной» тревоги. В то же время чрезмерное повышение уровня тревожности ведет к развитию негативных последствий.

Диагностика Спилберга – Ханина [18; 19] – одна из методик, которая позволяет дифференцированно измерять тревожность и как личностное свойство, и как состояние, связанное с текущей ситуацией. Этот тест поможет определить выраженность тревожности в структуре личности. Современные технологии анализа больших данных позволяют выявить зависимость между разными уровнями тревожности по шкале Спилберга – Ханина и видом электроэнцефалограммы у испытуемых.

Методика Спилберга – Ханина представляет собой совокупность тестов по личной и ситуационной тревожности, которые имеют по 20 вопросов с четырьмя возможными исходами [19]. Каждый исход имеет вес от 1 до 4 в рамках одного вопроса. При обработке результатов тестирования складываются веса ответов, выбранных испытуемым.

Полученный результат соотносят со шкалой Спилберга – Ханина для выявления класса тревожности. Шкала Спилберга – Ханина представляет собой отрезок от 20 до 80, неравномерно разбитый на три части (классы). Первый класс включает диапазон 20–30, второй класс – от 31 до 44 и третий класс – от 45 до 80. Возникает вопрос: какое распределение вероятности в случае ответа респондентов случайным образом?

Определим количество всех возможных исходов как $4^{20} = 1099511627776$. Методом перебора всех возможных результатов и их отнесения к соответствующему классу получим, что 1 класс имеет 25484305, 2 класс – 150069214646 и 3 класс – 949416928825 исхода. В

результате вероятность при случайном выборе классов составит для 1 класса – 0,0000232 (0,0023%), 2 – 0,1364872 (13,6487%) и 3 – 0,86348976 (86,3490%). Для наглядности на рисунке 1 представлен график плотности вероятности по классам в процентном соотношении.



Рис. 1. Плотность вероятности по классам тревожности

Fig. 1. Probability density by anxiety classes

Как видно из представленных расчетов, при прохождении теста имеют быть больше триллиона исходов и наиболее вероятное попадание респондента в третий класс при случайном выборе ответов в тесте Спилберга – Ханина.

Экспериментальная часть

Исходя из предположения неизменности личностной тревожности без терапии был проведен эксперимент на 92 респондентах. Суть эксперимента заключается в следующем.

Все испытуемые перед прохождением тестирования находились в состоянии покоя 1,5 минуты с включенной записью ЭЭГ, далее им предлагалось пройти тест на определение личностной тревожности по методике Спилберга – Ханина при синхронной записи параметров альфа-ритма. В первую группу испытуемых были включены респонденты, у которых уровень тревожности по методике Спилберга – Ханина составил от 20 до 30 баллов. Ко второй группе испытуемых были отнесены

респонденты, у которых уровень тревожности по методике Спилбергера – Ханина составил от 31 до 44 баллов. В третью группу испытуемых были включены респонденты, у которых уровень тревожности по методике Спилбергера – Ханина составил от 45 до 80 баллов. В процессе эксперимента запись альфа-ритмов производилась с помощью 6-канальной электроэнцефалографии (ЭЭГ). Датчики на голове пациента располагают так, чтобы зафиксировать активность всех отделов мозга. В работе использовались данные альфа-ритма с датчиков ЭЭГ устройства NEUROPLAY-6C [20].

Устройство ЭЭГ имеет шесть каналов для снятия сигналов: Fp1, Fp2, T3, T4, O1, O2, снимаемых активными сухими электродами со сменной частью и покрытием Ag/AgC. Для определения тревожности в ходе эксперимента будут задействованы каналы O1, O2.

Тестирование проводилось на разработанном программном обеспечении Передовой медицинской инженерной школы в Самарском государственном медицинском университете (элементы интерфейса приведены на рис. 2). Результат прохождения выводится в отдельный текстовый файл.

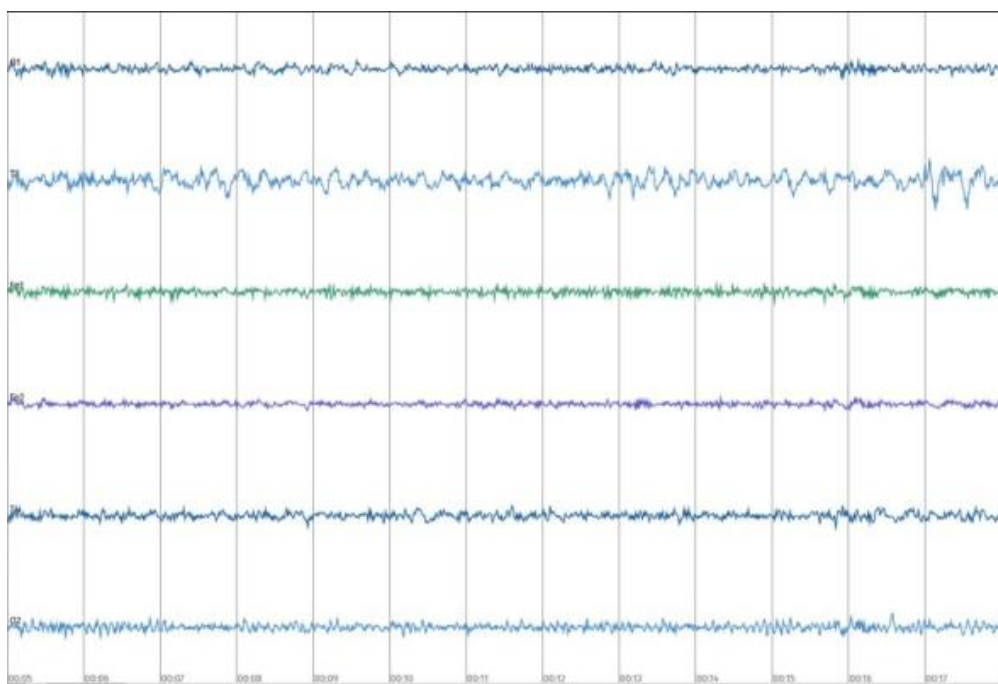


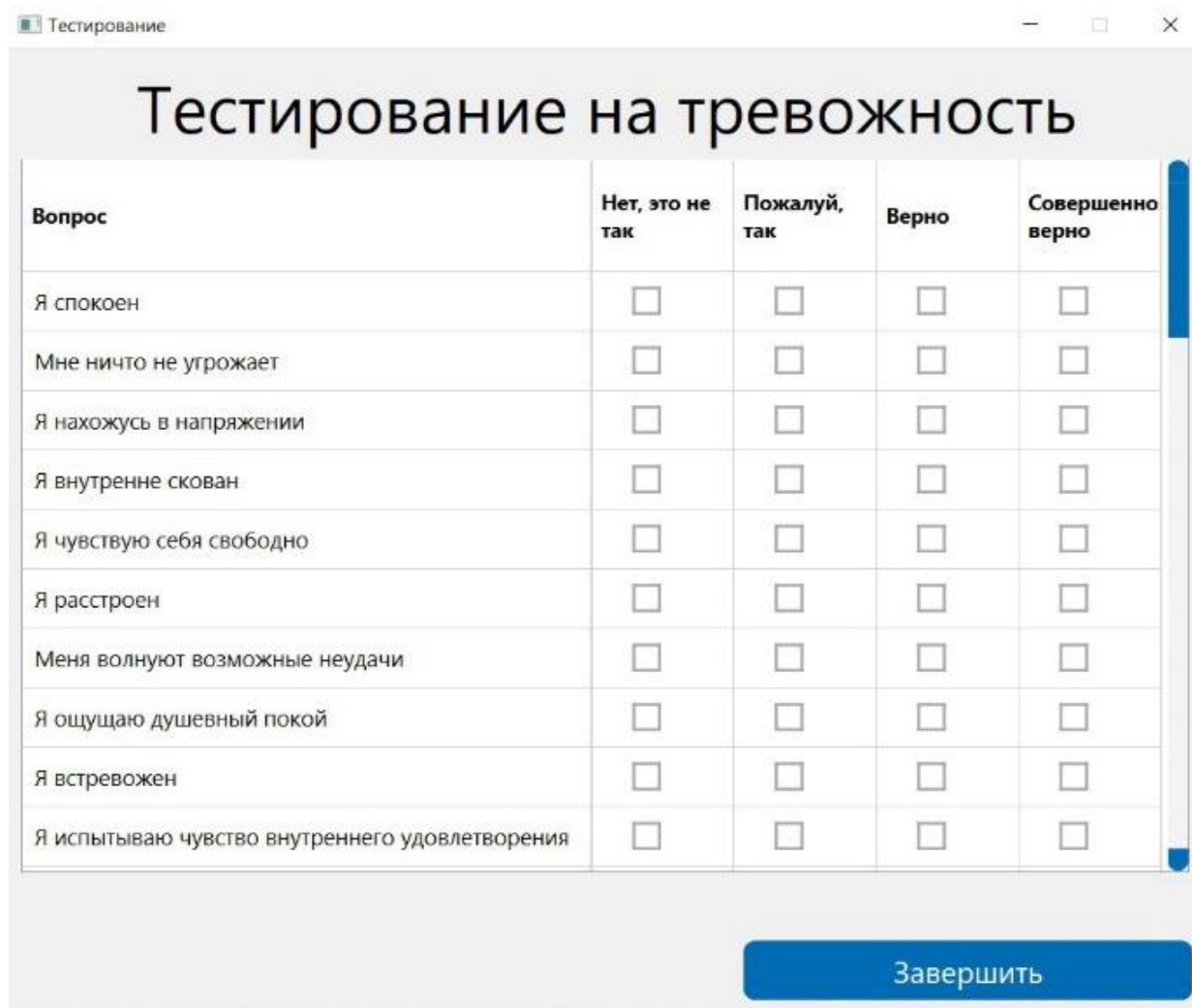
Рис. 2. ЭЭГ испытуемого по каналам Fp1, Fp2, T3, T4, O1, O2

Fig. 2. EEG of the subject by channels Fp1, Fp2, T3, T4, O1, O2

В результате проведенного эксперимента были получены результаты прохождения теста в виде баллов по шкале Спилбергера – Ханина и соответствующие им электроэнцефалограммы заты-

лочной части головного мозга каждого испытуемого.

Рассмотрим элементы интерфейса программы тестирования на тревожность по методу Спилбергера – Ханина (рис. 3).



Вопрос	Нет, это не так	Пожалуй, так	Верно	Совершенно верно
Я спокоен	☐	☐	☐	☐
Мне ничто не угрожает	☐	☐	☐	☐
Я нахожусь в напряжении	☐	☐	☐	☐
Я внутренне скован	☐	☐	☐	☐
Я чувствую себя свободно	☐	☐	☐	☐
Я расстроен	☐	☐	☐	☐
Меня волнуют возможные неудачи	☐	☐	☐	☐
Я ощущаю душевный покой	☐	☐	☐	☐
Я встревожен	☐	☐	☐	☐
Я испытываю чувство внутреннего удовлетворения	☐	☐	☐	☐

Завершить

Рис. 3. Элементы интерфейса программы тестирования на тревожность по методу Спилберга – Ханина

Fig. 3. User Interface elements of the anxiety testing software using the Spielberger – Khanin method

Электроэнцефалограмма имеет вид гармонического сигнала и мало пригодна в таком виде для сопоставления с результатами теста. Поэтому для исследования были выбраны следующие параметры сигнала электроэнцефалограммы: амплитуда минимальная и максимальная, частота минимальная и максимальная, медиана, математическое

ожидание (среднее), дисперсия, эксцесс, асимметрия, энергия сигнала.

Для изучения линейной взаимосвязи выбранных параметров сигнала электроэнцефалограммы с результатами тестирования по шкале личностной тревожности построили корреляционную матрицу в виде тепловой карты корреляций (рис. 4).

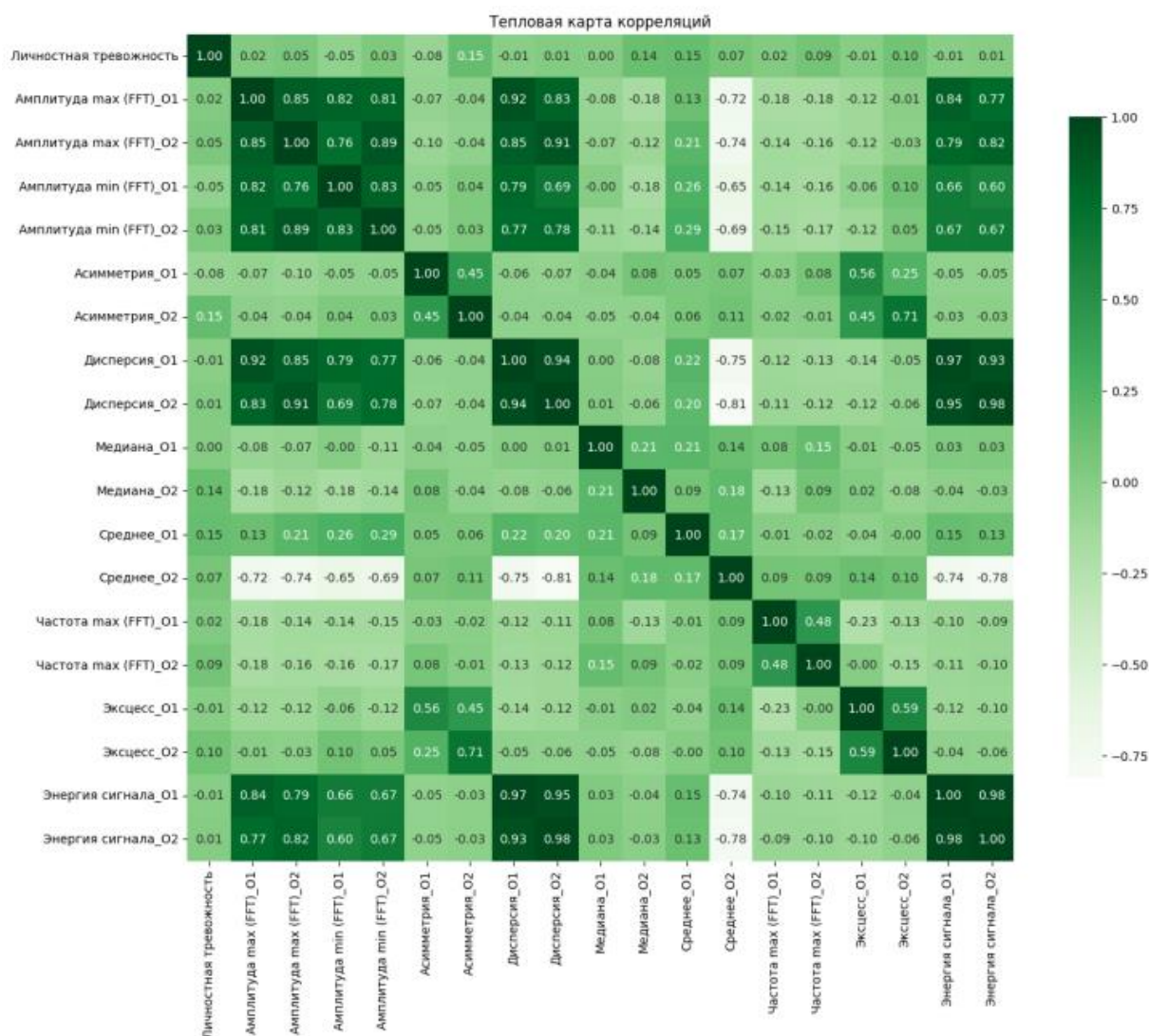


Рис. 4. Корреляционная матрица параметров сигналов ЭЭГ и личной тревожности

Fig. 4. Correlation matrix of EEG signal parameters and personal anxiety

Из полученной корреляционной матрицы следует, что между выбранными параметрами и баллами личностной тревожности наблюдается слабая линейная корреляционная зависимость, что говорит о необходимости продолжения дальнейших исследований с применением других способов определения взаимозависимости. Также из корреляционной матрицы видно, что между параметрами сигнала электроэнцефалограммы амплитудой минимальной, амплитудой максимальной, дисперсией и

энергией сигнала существует высокая линейная взаимосвязь, что необходимо учитывать в дальнейших исследованиях.

Нейросетевая методика исследования

В результате исследования параметров сигнала ЭКГ и оценки личной тревожности была выявлена линейная взаимосвязь. Таким образом, было принято решение о возможности использования для построения модели нейросетевых методов.

Для реализации нейросетевых методов обучения модели требуется предварительная подготовки данных. В результате проведения эксперимента, описанного выше, были получены данные в файлах формата .txt по результатам прохождения теста Спилбергега – Ханина и формата .edf по результатам похождения ЭЭГ. Для преобразования данных из формата .edf была разработана специальная библиотека для устройства NEUROPLAY-6C, позволяющая регистрировать данные ЭЭГ в формат .csv-файла в режиме реального времени. Также после окончания записи библиотека предоставляет возможность сохранения файла в формате .edf. Ниже приведены основные возможности библиотеки:

`search for ()` – возвращает объект `NeuroPlayDevice`, который содержит адрес устройства сети;

`validate_channels ()` – метод, возвращающий статус каналов (валидность данных);

`device.edf_creator.write_annotation()` – метод, позволяющий сделать метку с подписью на временном интервале в csv-файле.

После записи файл формата .csv содержит значения для каждого из 6 каналов с дискретизацией 125 ГЦ. Отметим, что в результате снятия ЭЭГ имеет место зашумленность каналов.

В последующем данные файла подвергались дополнительной обработке, а именно удалялись явные выбросы, т. е. значения, находящиеся вне диапазона $(-400; 400)$, и проводились сглаживания шумов в данных ЭЭГ с помощью фильтра Калмана для улучшения последующей обработки.

Так как сигнал ЭЭГ в общем виде (гармонический сигнал) невозможно сравнить с результатами тестирования

(числовое значение), данные были приведены к одному числовому виду. Для этого был сформирован файл со статистикой по каналам и баллами в виде файла формата .txt. В файле числовые данные ЭЭГ представим в виде числовых параметров сигнала, характеризующих процесс, таких как амплитуда минимальная, амплитуда максимальная, частота минимальная, частота максимальная, медиана, математическое ожидание (среднее), дисперсия, эксцесс, асимметрия, энергия сигнала. При нахождении амплитуд и частот сигнала ЭЭГ было применено быстрое преобразование Фурье библиотеки `scipy`. Данные, полученные после вычислений параметров сигнала ЭЭГ и в тесте Спилбергега – Ханина, сведены в файл в формате .csv-таблицы со статистикой по каждому проведенному испытанию.

Итоговая таблица состоит из величин для каналов O1 и O2, так как для дальнейших исследований выбраны именно эти каналы. После подготовки данных для разработки модели взаимодействия личной тревожности и ЭЭГ был использован ансамбль `CatBoost`. Стоит уточнить, что под ансамблем понимается метод машинного обучения, объединяющий несколько алгоритмов для улучшения предсказательной способности. `CatBoost` [21] – модель, разработанная компанией «Яндекс», основанная на алгоритме градиентного бустинга (минимизация функции потерь), использует комбинацию деревьев решений.

Для обучения были использованы данные из итоговой таблицы и следующие параметры:

– разделение выборки – 50 на 50 (так как набор данных состоит всего из 92 человек);

– количество итераций – 100;

- случайное распределение данных – 42;
- скорость обучения – 0,01;
- глубина обучения – 16;
- коэффициент регуляризации – 20;
- обучение происходило на GPU.

Ниже приведены полученные результаты работы модели. Средняя абсолютная ошибка составила 8,69 балла из

60 (14%), что говорит о качестве модели, так как ошибка не выходит за пределы определения класса. Средняя относительная ошибка составляет 19%, что тоже укладывается в пределах одного класса тревожности. На рисунке 5 представлена гистограмма распределения ошибок.

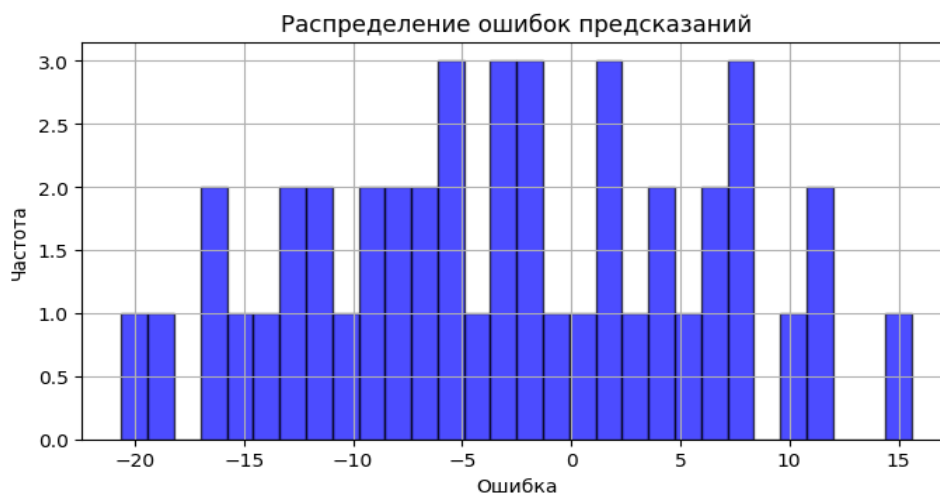


Рис. 5. Распределение ошибок

Fig. 5. Distribution of errors

Кроме того, стоит отметить, что при построении дерева решений можно определить влияние признаков на

конечный результат. На рисунке 6 представлено влияние признаков на результативность модели.



Рис. 6. Важность признаков модели

Fig. 6. Impact of Model Features

Результаты и их обсуждение

Проведенное исследование выявило зависимость между разными уровнями личностной тревожности по шкале Спилбергера – Ханина и видом электроэнцефалограммы у испытуемых, что дает возможность перехода от тестирования пациентов к снятию и интерпретации ЭЭГ. Также в ходе эксперимента выявлено, что распределение вероятности по классам тревожности имеет смещение вправо, и большая часть составляет третий класс тревожности, что видно из рисунка 7 для данных, рассчитанных и полученных экспериментальным путем. Можно заметить, что если проставлять ответы на вопросы случайным образом,

то с вероятностью 86% испытуемый попадет в третий класс.

В случае проверки тревожности с помощью ЭЭГ и разработанных алгоритмов в данной работе распределение смещается в стороны второго класса тревожности. В случае обследования тревожности с помощью тестов Спилбергера – Ханина наблюдается двойственная картина распределения, распределение сместилось влево во второй класс тревожности, но пик распределения остался в правой части в районе 3 класса тревожности. Отсюда можно предположить, что часть испытуемых из общей выборки проходили тест, выбирая ответы случайным образом.

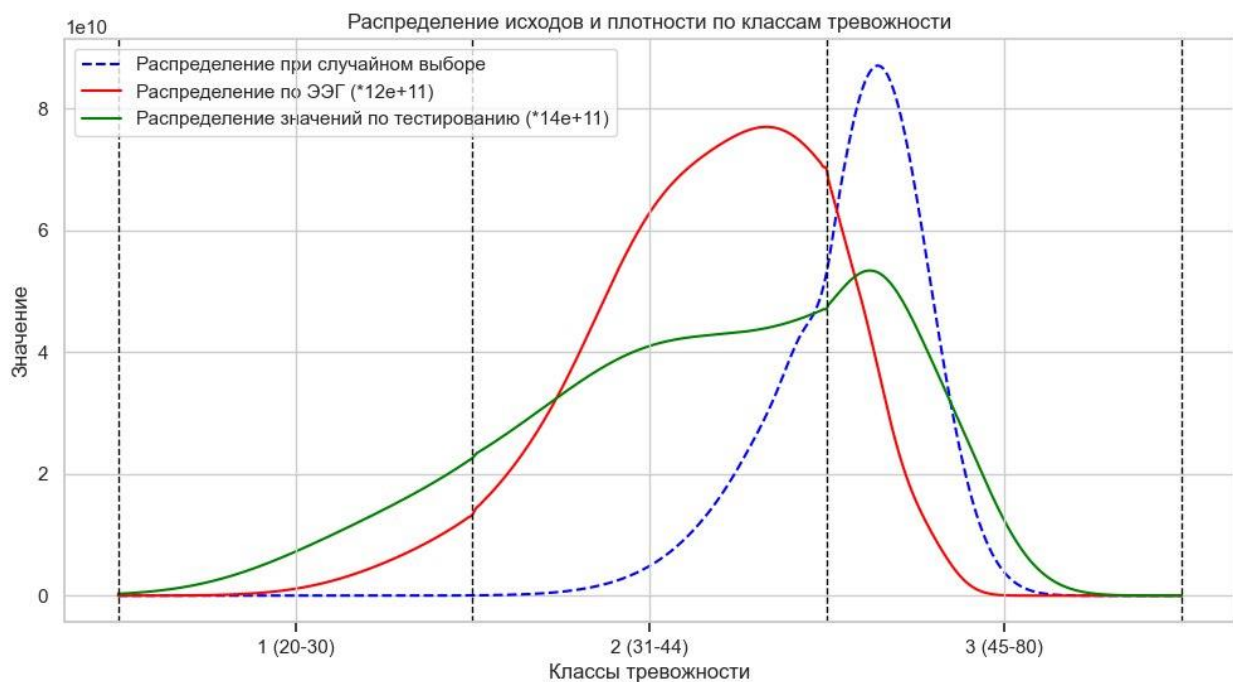


Рис. 7. Распределение вероятности по классам тревожности при случайной выборке, ЭЭГ и тестировании

Fig. 7. Probability distribution of anxiety classes in random sampling, EEG and testing

Выводы

В ходе проведенного исследования выявлена положительная зависимость

между разными уровнями личностной тревожности по шкале Спилбергера – Ханина и видом электроэнцефалограммы у

испытуемых с достаточной точностью. Также показано, что при определении тревожности возможно заменить тест, основанный на методике Спилбергера –

Ханина на определение тревожности по ЭЭГ с использованием предложенной методики.

Список литературы

1. Beauducel A., Brocke B., Leue A. Energetical bases of extraversion: effort, arousal, EEG, and performance // *Int J. Psychophysiol.* 2006. N 62(2). P. 212–223.
2. Wearable reduced-channel EEG system for remote seizure monitoring / M. A. Frankel, M. J. Lehmkuhle, M. C. Spitz, B. J. Newman, S. V. Richards, A. M. Arain // *Front. Neurol.* 2021. N 12. P. 728484. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.728484>. EDN OFZUVS
3. Журавлев Д. В. Аппаратура для электроэнцефалографических исследований / Воронежский государственный технический университет. Воронеж: ВорГТУ, 2021. 259 с.
4. Новикова С. И. Ритмы ЭЭГ и когнитивные процессы // *Психологическая наука и образование.* 2015. Т. 4, № 1. С. 91–108. EDN TZJDZX
5. Станкова Е. П., Мышкин И. Ю. Влияние индивидуальных характеристик ЭЭГ и психофизиологических особенностей на время реакции // *Научное обозрение. Биологические науки.* 2015. № 1. С. 151–152. EDN SBKXCZ
6. Аппаратно-программный комплекс для диагностики психофизиологического состояния человека в процессе решения когнитивных задач / А. В. Курбако, А. Н. Храмов, Е. И. Боровкова, Е. С. Дубинкина, Ю. М. Ишбулатов, В. И. Пономаренко, А. С. Караваев, М. Д. Прохоров // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика.* 2024. Т. 24. № 1. С. 19–29. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2024-24-1-19-29>. EDN UFAMDM
7. Муродов В., Халимова Ф. Т., Шумилина О. В. Сравнительная характеристика электрической активности мозга и степени тревожности // *Медицинский вестник Национальной академии наук Таджикистана.* 2022. Т. 12, № 4 (44). С. 34–39. EDN LVBXGE
8. Куликов В. Ю., Антропова Л. К. Особенности бета-ритма при закрытых и открытых глазах у умеренно и высокотренированных лиц // *Сибирский медицинский вестник.* 2021. № 3. С. 37–43. <https://doi.org/10.31549/2541-8289-2021-3-37-43>. EDN RFULKS
9. Корреляция мощности основных ритмов ЭЭГ и коэффициента когерентности с уровнем тревоги и депрессии в юношеском возрасте / К. А. Газенкамф, Н. А. Шнайдер, Д. В. Дмитренко, В. Е. Карнаухов, Д. А. Фирсова // *Вестник клинической нейрофизиологии.* 2018. № 5. С. 38–39. EDN FJQDGG
10. Изменение мощностных характеристик альфа-ритма у студентов с разным уровнем тревожности в условиях нормального сна и частичной депривации при решении задачи GO/NOGO / Е. А. Черемушкин, Н. Е. Петренко, Н. Н. Алипов, О. В. Сергеева // *Физиология человека.* 2022. Т. 48, № 2. С. 79–85. <https://doi.org/10.31857/S0131164622020047>. EDN TPRRDS

11. Влияние тревожности, связанной с экзаменационным стрессом, на смещение зрительного внимания и электрическую активность фронтальных зон мозга / А. П. Астащенко, Н. П. Горбатенко, Е. В. Дорохов, С. И. Варварова, П. В. Зяблова // Ульяновский медико-биологический журнал. 2020. № 2. С. 100–111. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2020-2-100-111>. EDN PGHPGQ
12. Попова Т. В., Корюкалов Ю. И., Коурова О. Г. Определение риска дезадаптации по электроэнцефалограмме для предупреждения психического перенапряжения // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2024. Т. 124, № 8. С. 97–102. <https://doi.org/10.17116/jnevro202412408197>. EDN NAXNJY
13. Связь личностной тревожности со спектрально-когерентными характеристиками $\Delta 1$ -ритма электроэнцефалограммы человека / Н. А. Каратыгин, И. И. Коробейникова, Я. А. Венерина, Е. В. Бирюкова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 9. С. 91–97. EDN PEQDPV
14. Динамика спектральных характеристик ЭЭГ у лиц с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности / Т. Д. Джебраилова, И. И. Коробейникова, Н. А. Каратыгин, Е. В. Бирюкова, Я. А. Венерина // Физиология человека. 2021. Т. 47, № 1. С. 20–30. <https://doi.org/10.31857/S0131164621010033>. EDN AEIHVY
15. Спектральные характеристики ЭЭГ и концентрация гормонов в слюне у лиц с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности / Я. А. Венерина, Т. Д. Джебраилова, Н. А. Каратыгин, М. Ю. Будников // Психическое здоровье. 2021. № 8. С. 3–12. <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2021.08.3-12>. EDN XXCVSH
16. Галкин С. А. Взаимосвязь между профилем ЭЭГ и клинико-психопатологическими особенностями пациентов с депрессивными расстройствами // Психическое здоровье. 2021. № 7. С. 43–48. EDN ZWOUFJ
17. Связь биоэлектрической активности мозга с клиническими особенностями течения депрессивных расстройств / С. А. Галкин, Г. Д. Ткачева, Т. А. Ошкина, С. Н. Васильева, О. В. Рощина, С. А. Иванова, Н. А. Бохан // Психическое здоровье. 2020. № 8. С. 16–21. <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2020.08.16-21>. EDN PWDHMD
18. Manual for the State-Trait Anxiety Inventory (Form Y1 – Y2) / C. D. Spielberger, R. Gorsuch, R. E. Lushene, P. R. Vagg. CA: Consulting Psychologists Press, 1983.
19. Ханин Ю. Л. Краткое руководство к шкале реактивной и личностной тревожности Ч. Д. Спилбергера. Ленинград, 1976. 18 с.
20. NEUROPLAY-6C. Универсальная 6-канальная нейрогарнитура с нейроиграми. URL: <https://neuroplay.ru/catalog/neuroplay-6c/> (дата обращения: 17.03.2025).
21. Catboost: Unbiased boosting with categorical features / L. Prokhorenkova, G. Gusev, A. Vorobev [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. URL: <https://arxiv.org/pdf/1706.09516> (дата обращения: 17.03.2025).

References

1. Beauducel A., Brocke B., Leue A. Energetical bases of extraversion: effort, arousal, EEG, and performance. *Int J. Psychophysiol.* 2006;(62):212–223.
2. Frankel M.A., Lehmkuhle M.J., Spitz M.C., Newman B.J., Richards S.V., Arain A.M. Wearable reduced-channel EEG system for remote seizure monitoring. *Front. Neurol.* 2021;(12):728484. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.728484>. EDN OFZUVS
3. Zhuravlev D.V. Equipment for electroencephalographic research. Voronezh: Voronezh State Technical University; 2021. 259 p. (In Russ.)
4. Novikova S.I. EEG rhythms and cognitive processes. *Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie = Psychological Science and Education.* 2015;4(1):91–108. (In Russ.) EDN TZJDZX
5. Stankova E.P., Myshkin I.Yu. The influence of individual EEG characteristics and psychophysiological features on reaction time. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki = Scientific Review. Biological Sciences.* 2015;(1):151–152. (In Russ.) EDN SBKXCZ
6. Kurbako A.V., Khramkov A.N., Borovkova E.I., Dubinkina E.S., Ishbulatov Yu.M., Ponomarenko V.I., Karavaev A.S., Prokhorov M.D. Hardware and software complex for diagnosing the psychophysiological state of a person in the process of solving cognitive problems. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Fizika = Proceedings of the Saratov University. A New Family. Series: Physics.* 2024;4(1):19–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2024-24-1-19-29>. EDN UFAMDM
7. Murodov V., Halimova F.T., Shumilina O.V. Comparative characteristics of the electrical activity of the brain and the degree of anxiety. *Meditinskii vestnik Natsional'noi akademii nauk Tadzhikistana = Medical Bulletin of the National Academy of Sciences of Tajikistan.* 2022;12(4):34–39. (In Russ.) EDN LBVXGE
8. Kulikov V.Yu., Antropova L.K. Features of beta rhythm with closed and open eyes in moderately and highly anxious individuals. *Sibirskii meditsinskii vestnik = Siberian Medical Bulletin.* 2021;(3):37–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.31549/2541-8289-2021-3-37-43>. EDN RFULKS
9. Gazenkampf K.A., Schneider N.A., Dmitrenko D.V., Karnaukhov V.E., Firsova D.A. Correlation of the power of the main EEG rhythms and the coherence coefficient with the level of anxiety and depression in adolescence. *Vestnik klinicheskoi neurofiziologii = Bulletin of Clinical Neurophysiology.* 2018;(S):38–39. (In Russ.) EDN FJQDGG
10. Cheremushkin E.A., Petrenko N.E., Alipov N.N., Sergeeva O.V. Changes in the power characteristics of the alpha rhythm in students with different levels of anxiety in conditions of normal sleep and partial deprivation when solving the GO/NOGO problem. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology.* 2022;48(2):79–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0131164622020047>. EDN TPRRDS
11. Astashchenko A.P., Gorbatenko N.P., Dorokhov E.V., Varvarova S.I., Zyablova P.V. The influence of anxiety associated with exam stress on the movement of visual attention and electrical activity of the frontal areas of the brain. *Ul'yanovskii mediko-biologicheskii*

zhurnal = *Ulyanovsk Medical and Biological Journal*. 2020;(2):100–111. (In Russ.) <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2020-2-100-111>. EDN PGHPGQ

12. Popova T.V., Koryukalov Yu.I., Kourova O.G. Determination of the risk of maladaptation by electroencephalogram for the prevention of mental overexertion. *Zhurnal neurologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova* = *Journal of Neurology and Psychiatry named after S.S. Korsakov*. 2024;124(8):97–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/jnevro202412408197>. EDN NAXNJY

13. Karatygin N.A., Korobeynikova I.I., Venerina Ya.A., Biryukova E.V. The relationship of personal anxiety with the spectrally coherent characteristics of the A1 rhythm of the human electroencephalogram. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* = *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2018;(9):91–97. (In Russ.) EDN PEQDPV

14. Dzhebrailova T.D., Korobeynikova I.I., Karatygin N.A., Biryukova E.V., Venerina Ya.A. Dynamics of spectral EEG characteristics in individuals with different personal needs during cognitive activity. *Fiziologiya cheloveka* = *Human Physiology*. 2021;47(1):20–30. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0131164621010033>. EDN AEIHVY

15. Venerina Ya.A., Dzhebrailova T.D., Karatygin N.A., Budnikov M.Y. Spectral characteristics of the EEG and the concentration of hormones in saliva in individuals with different personality anxiety during cognitive activity. *Psikhicheskoe zdorov'e* = *Mental Health*. 2021;(8):3–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2021.08.3-12>. EDN XXCVSH

16. Galkin S.A. The relationship between the EEG profile and the clinical and psychopathological characteristics of patients with depressive disorders. *Psikhicheskoe zdorov'e* = *Mental Health*. 2021;(7):43–48. (In Russ.) EDN ZWOUFJ

17. Galkin S.A., Tkacheva G.D., Oshkina T.A., Vasilyeva S.N., Roshchina O.V., Ivanova S.A., Bohan N.A. The connection of bioelectric brain activity with the clinical features of the course of depressive disorders. *Psikhicheskoe zdorov'e* = *Mental Health*. 2020;(8):16–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2020.08.16-21>. EDN PWDHMD

18. Spielberger C.D., Gorsuch R., Lushene R.E., Vagg P.R. Manual for the State-Trait Anxiety Inventory (Form Y1 – Y2). CA: Consulting Psychologists Press; 1983.

19. Khanin Yu.L. A brief guide to the scale of reactive and personal anxiety by C.D. Spielberger. Leningrad; 1976. 18 p. (In Russ.)

20. NEUROPLAY-6C. Universal 6-channel neural headset with neural games. (In Russ.) Available at: <https://neuroplay.ru/catalog/neuroplay-6c/> (accessed 17.03.2025).

21. Prokhorenkova L., Gusev G., Vorobev A., et al. Catboost: Unbiased boosting with categorical features. *Advances in Neural Information Processing Systems*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1706.09516> (accessed 17.03.2025).

Информация об авторах / Information about the Authors

Авсиевич Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры медицинской физики, математики и информатики, Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: a.v.avsievich@samsmu.ru, SPIN: 1516-3252, ORCID: 0000-0001-5778-3438

Alexandr V. Avsievich, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Medical Physics, Mathematics and Informatics, Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russian Federation, e-mail: a.v.avsievich@samsmu.ru, SPIN: 1516-3252, ORCID: 0000-0001-5778-3438

Жейков Денис Сергеевич, врач-психиатр, Передовая медицинская инженерная школа, Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: d.s.zhejkov@samsmu.ru, SPIN: 5664-6904, ORCID: 0009-0008-6024-0539

Denis S. Zhejkov, Psychiatrist, Higher School of Medical Engineering, Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russian Federation, e-mail: d.s.zhejkov@samsmu.ru, SPIN: 5664-6904, ORCID: 0009-0008-6024-0539

Иващенко Антон Владимирович, доктор технических наук, профессор, директор, Передовая медицинская инженерная школа, Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: anton.ivashenko@gmail.com, SPIN: 3707-6260, ORCID: 0000-0001-7766-3011

Anton V. Ivaschenko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Director, Higher School of Medical Engineering, Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russian Federation, e-mail: anton.ivashenko@gmail.com, SPIN: 3707-6260, ORCID: 0000-0001-7766-3011

Авсиевич Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент, Передовая медицинская инженерная школа, Самарский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Самара, Российская Федерация, e-mail: avsievichv@gmail.com, SPIN: 5159-7644, ORCID: 0000-0002-4218-5176

Vladimir V. Avsievich, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Higher School of Medical Engineering, Samara State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Samara, Russian Federation, e-mail: avsievichv@gmail.com, SPIN: 5159-7644, ORCID: 0000-0002-4218-5176

Широков Илья Антонович, магистрант,
Передовая медицинская инженерная школа,
Самарский государственный медицинский
университет Министерства здравоохранения
Российской Федерации,
г. Самара, Российская Федерация,
e-mail: i.a.shirokov@samsmu.ru,
ORCID: 0009-0002-9397-7138

Пономарев Артем Евгеньевич, магистрант,
Передовая медицинская инженерная школа,
Самарский государственный медицинский
университет Министерства здравоохранения
Российской Федерации,
г. Самара, Российская Федерация,
e-mail: a.e.ponomonarev@samsmu.ru

Заров Евгений Владимирович, магистрант,
Передовая медицинская инженерная школа,
Самарский государственный медицинский
университет Министерства здравоохранения
Российской Федерации,
г. Самара, Российская Федерация,
e-mail: e.v.zarov@samsmu.ru

Колсанов Александр Владимирович, доктор
медицинских наук, профессор Российской
академии наук, профессор, Самарский
государственный медицинский университет
Министерства здравоохранения Российской
Федерация, г. Самара, Российская Федерация,
e-mail info@samsmu.ru,
SPIN: 2028-6609,
ORCID: 0000-0002-4144-7090

Ilya A. Shirokov, Undergraduate, Higher School
of Medical Engineering, Samara State Medical
University of the Ministry of Health of the Russian
Federation, Samara, Russian Federation,
e-mail: i.a.shirokov@samsmu.ru,
ORCID: 0009-0002-9397-7138

Artem E. Ponomarev, Undergraduate, Higher
School of Medical Engineering, Samara State
Medical University of the Ministry of Health of
the Russian Federation,
Samara, Russian Federation,
e-mail: a.e.ponomonarev@samsmu.ru

Evgeny V. Zarov, Undergraduate, Higher School
of Medical Engineering, Samara State Medical
University of the Ministry of Health of the Russian
Federation, Samara, Russian Federation,
e-mail: e.v.zarov@samsmu.ru

Alexander V. Kolsanov, Doctor of Sciences
(Medical), Professor of the Russian Academy
of Sciences, Professor, Samara State Medical
University of the Ministry of Health,
of the Russian Federation,
Samara, Russian Federation,
e-mail info@samsmu.ru,
SPIN: 2028-6609,
ORCID: 0000-0002-4144-7090