

*Наурзбаева Лаура Талгатовна*¹,

аспирант;

*Аладов Андрей Вальменович*²,

ст. науч. сотр., канд. техн. наук;

*Черняков Антон Евгеньевич*³,

ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук;

*Терехин Станислав Георгиевич*⁴,

аспирант

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА ПОСРЕДСТВОМ СВЕТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

^{1,4} Россия, Санкт-Петербург,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

¹ naurzbaeva.laura@gmail.com, ⁴ stasok32@yandex.ru;

^{2,3} Россия, Санкт-Петербург, Научно-технологический центр

микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН,

² aaladov@mail.ioffe.ru, ³ chernyakov.anton@yandex.ru

Аннотация. Функциональное состояние можно определить как фоновую (исходную для изучаемого воздействия) активность нервных центров, которая определяет закономерности реализации деятельности, её эффективность и адаптивные возможности организма. Основная цель диагностики функциональных состояний заключается в определении текущего состояния здоровья, рабочей и умственной способности человека, а также в выявлении возможных отклонений и проблем, требующих вмешательства. В рамках данной работы оценивалось влияние интеллектуальной нагрузки (блок заданий, основанный на IQ тестах) на функциональное состояние человека. Исследование проводилось с помощью прибора экспресс-диагностики функциональных состояний, который позволяет реализовать ряд психофизиологических методик. В качестве контроля эффективности прибора, дополнительно в исследовании применялся метод корректурной пробы Бурдона. В результате было определено, что прибор эффективно справляется с регистрацией изменений функционального состояния человека во время напряженной психической деятельности.

Ключевые слова: функциональное состояние, утомляемость, экспресс-диагностика, анализ данных, Python, критическая частота слияния мельканий, сенсомоторная реакция.

*Laura T. Naurzbaeva*¹,
Postgraduate Student;
*Andrey V. Aladov*²,
Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences;
*Anton E. Chernyakov*³,
Senior Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences;
*Stanislav G. Terekhin*⁴,
Postgraduate Student

METHOD FOR ANALYSIS OF THE INTELLECTUAL LOAD IMPACT ON THE HUMAN FUNCTIONAL STATE BY LIGHT IMPULSES MEANS

^{1,4} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,

¹ naurzbaeva.laura@gmail.com, ⁴ stasok32@yandex.ru;

^{2,3} Submicron Heterostructures for Microelectronics, Research & Engineering
Center, RAS, St. Petersburg, Russia,

² aaladov@mail.ioffe.ru, ³ chernyakov.anton@yandex.ru

Abstract. The human functional state is the background (initial for the studied effect) activity of the nerve centres, which determines the patterns of implementation of the activity, its effectiveness and the adaptive capabilities of the body. The main goal of diagnostics of functional states is to determine current health conditions and a person's working and mental capacity and to identify possible deviations and problems requiring intervention. This study estimates the influence of intellectual load (a block of tasks based on IQ tests) on the person's functional state. We developed a device for express diagnostics of functional states, which allows for the implementation of several psychophysiological methods. We additionally applied the Bourdon correction test to control the device's effectiveness. This paper concludes that the developed device effectively copes with the registration of changes in the functional state of a person during intense mental activity.

Keywords: functional state, fatiguability, express diagnostics, data analysis, Python, critical flicker fusion frequency, sensorimotor response.

Введение

Оценка функционального состояния играет ключевую роль для определения качества жизни и адаптивных способностей человека. Функциональные особенности головного мозга отражают различия в процессах внимания, памяти, обработки информации и принятия решения, также это проявляется в процессах эмоциональной регуляции, моторной координации и планирования движений.

Функциональное состояние мозга можно определить как фоновую (исходную для изучаемого воздействия) активность нервных центров, которая определяет закономерности реализации деятельности, её эффективность и адаптивные возможности организма [1].

Для оценки функционального состояния мозга и организма могут использоваться различные методы, включая психофизиологические тесты, психометрические методы, а также нейрофизиологические исследования. Однако особую роль играют методы экспресс-диагностики, которые позволяют оценить функциональное состояние человека за небольшое время.

Основная цель диагностики функциональных состояний заключается в определении текущего состояния здоровья, рабочей и умственной способности человека, а также в выявлении возможных отклонений и проблем, требующих вмешательства.

В рамках данной работы произведена сравнительная оценка эффективности анализа результатов, полученных при помощи традиционной методики оценки функционального состояния человека – теста Бурдона и методик дигапскопической оценки изменения критической частоты слияния мельканий (ДГМ-КЧСМ) [2] и бимануальное измерение сенсомоторной реакции (СМТ), ранее апробированные на практике [3–5] в реализованных пробовах экспресс-диагностики и традиционной методики оценки функционального состояния человека – теста Бурдона.

1. Методики анализа результатов

1.1. Традиционный метод оценки функционального состояния

Активационный компонент функционального состояния человека определяется уровнем внимания, мотивации и эмоционально-волевым напряжением. В рамках оценки функционального состояния человека для диагностики его рабочей способности концентрация является достаточным и определяющим критерием. В современной психологии существует методика, которая предназначена для оценки объема, концентрации и устойчивости внимания – тест Бурдона.

Корректирующая проба (тест Бурдона) является классическим инструментом для изучения внимания и его устойчивости. Этот тест был разработан швейцарским психологом Paul Burdon, и он представляет собой одну из самых известных и распространенных проб, используемых в психофизиологии и психологии [6, 7].

1.2. Дигапскопическая оценка изменения критической частоты слияния мельканий

Критической частотой слияния мельканий (КЧСМ) называют такую наименьшую частоту вспышек света, при которой наблюдатель оценивает их как постоянное свечение.

При малой частоте мельканий испытуемый видит серию вспышек, а с увеличением частоты вспышек появляется ощущение мерцания, вначале редкое, затем частое и, наконец, ощущение полной слитности предъявляемых стимулов. КЧСМ широко используются в клинической практике для диагностики функционального состояния зрительного анализатора, а также для определения его степени утомления. Данная методика

характеризует функциональное состояние коркового отдела зрительного анализатора и ЦНС, а также степень инертности психических процессов. Это очень важный интегральный показатель в оценке психоэмоционального напряжения.

Средние показатели КЧСМ у здоровых взрослых и детей составляют 43–45 Гц на красный стимул, 45–47 Гц на зеленый стимул и 40–42 Гц на синий стимул. При таком заболевании, как глаукома, КЧСМ снижается до 30 Гц и менее, в зависимости от степени заболевания.

1.3. Бимануальное измерение сенсомоторной реакции

Бимануальное измерение сенсомоторной реакции (СМТ) определяет скорость реагирования испытуемого на предъявляемый световой стимул. Подают световой импульс, и ответная реакция испытуемого на стимул осуществляется одновременным бимануальным нажатием клавиш, поэтому производится раздельная регистрация ответов для левой и правой рук.

2. Выполненный эксперимент

Для апробации представленной методики были отобраны 26 добровольцев – студентов 2-го курса ВШБСиТ ИБСиБ СПбПУ. От каждого участника было получено согласие на проведение исследований.

Изначально каждый испытуемый проходил экспресс диагностику при помощи прибора, затем ему давался тест Бурдона, после чего испытуемый начинал выполнение тестовых заданий в виде задач из теста на IQ в течение 30 минут. По окончании 30 минут испытуемый заново тестировался при помощи прибора и теста Бурдона.

В ходе проведения теста Бурдона испытуемому предлагается специальный бланк с рядами расположенных в случайном порядке букв. Испытуемый просматривает строку за строкой и вычеркивает определенные указанные в инструкции буквы. В нашем случае проводилось тестирование в течение 3-х минут, при этом раз в минуту человек отмечал, где он сейчас находится.

Результаты пробы оценивались вручную по количеству пропущенных не зачёркнутых знаков, по времени выполнения или по количеству просмотренных знаков. Важным показателем является характеристика качества и темпа выполнения (выражается числом проработанных строк и количеством допущенных ошибок за каждый минутный интервал работы).

Концентрация внимания K оценивалась через соотношение

$$K = C^2/R, \quad (1)$$

где C – число строк таблицы, просмотренных испытуемым; R – количество ошибок (пропусков или ошибочных зачеркиваний лишних знаков).

Устойчивость внимания оценивается по изменению скорости просмотра на протяжении всего задания. Результаты подсчитывались для каждых 60 секунд следующим образом:

$$A = S / t, \quad (2)$$

где A – темп выполнения; S – количество букв в просмотренной части корректурной таблицы; t – время выполнения.

По результатам выполнения методики за каждый интервал может быть построена «кривая истощаемости», отражающая, устойчивость внимания и работоспособность в динамике.

Если $A = 0 \dots 2$, то, значит у испытуемого высокая устойчивость, если $A = 3 \dots 4$ – высокая устойчивость, если $A = 5 \dots 6$ – средняя устойчивость, если $A = 7 \dots 8$ – низкая устойчивость, если $A = 9 \dots 10$ – очень низкая устойчивость.

Прибор экспресс-диагностики функциональных состояний (ПЭДФС) был создан для оперативного контроля психофизиологического состояния. ПЭДФС включает в себя планшет или мобильный телефон с программным обеспечением для управления тестированием и устройство тестирования (см. рис. 1), которое осуществляет подачу световой сигнала в оба глаза испытуемого и регистрирует ответ испытуемого [2].

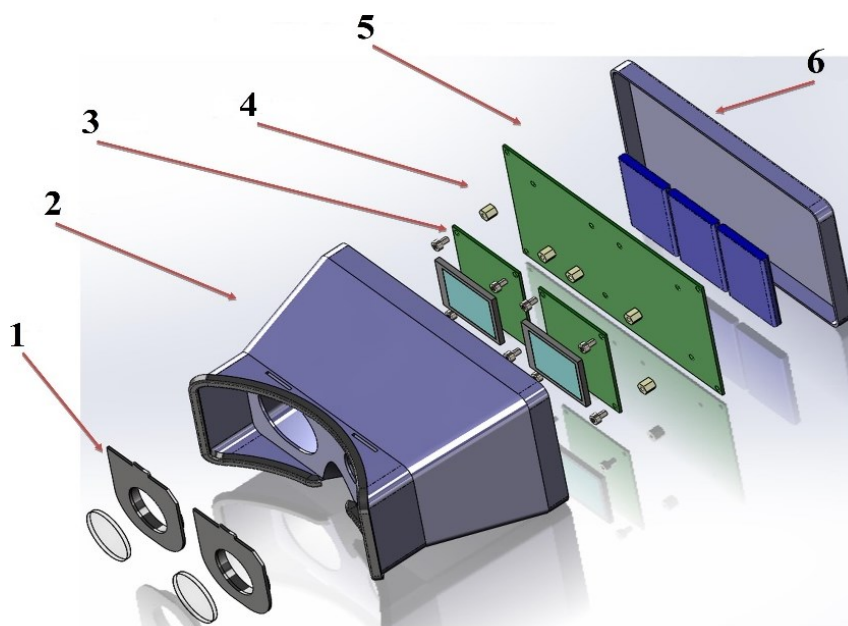


Рис. 1. Устройство тестирования, где 1 – окуляр, 2 – корпус, 3 – дисплей, 4 – драйвер, 5 – главная плата с радиомодулем, 6 – задняя крышка

В ходе работы с прибором проводятся тесты на определение критической частоты слияния мельканий (КЧСМ) и скорости сенсомоторной реакции (СМТ).

Для регистрации теста КЧСМ на приборе задаются параметры цвета сигнала в формате RGB, диаметр светового пятна в пикселях, значение яркости сигнала. Установкой минимального и максимального значения частоты мерцания, определяется предел, в рамках которого будет линейно изменять скорость предъявления, и значение времени, через которое будет прекращен тест при отсутствии отклика испытуемого.

По итогам измерений для КЧСМ вычисляются среднее значение критической частоты слияния мельканий для стимулов красного и зеленого цвета и их стандартное отклонение.

Для регистрации СМТ теста на приборе задаются параметры цвета круга в формате RGB, диаметра круга в пикселях, количество предъявлений и длительность межстимульного интервала.

По итогам измерений для СМТ вычисляются среднее время реакции для левой и правой руки для стимулов красного и зеленого цвета, их стандартное отклонение, а также средний коэффициент асимметрии $K_{\text{срЛ/срП}}$ (3) и цветовой индекс $K_{\text{кр/зел}}$ для каждой руки (4):

$$K_{\text{срЛ/срП}} = \frac{T_{\text{срЛ}} - T_{\text{срП}}}{T_{\text{срЛ}} + T_{\text{срП}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $K_{\text{срЛ/срП}}$ – коэффициент асимметрии; $T_{\text{срЛ}}$ – среднее время реакции для левой руки; $T_{\text{срП}}$ – среднее время реакции для правой руки;

$$K_{\text{кр/зел}} = \frac{T_{\text{кр}} - T_{\text{зел}}}{T_{\text{кр}} + T_{\text{зел}}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $K_{\text{кр/зел}}$ – цветовой индекс; $T_{\text{кр}}$ – время реакции для стимулов красного цвета; $T_{\text{зел}}$ – время реакции для стимулов зеленого цвета.

Также для времени реакции вычисляется оценка S стандартного отклонения по (5):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - T_{\text{ср}})^2}{n-1}}, \quad (5)$$

где n – количество измерений; T_i – значение конкретного времени реакции для определенной руки для определенного стимула; $T_{\text{ср}} = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n T_i}$ – среднее значение времени реакции для определенной руки для определенного стимула.

3. Полученные результаты и их интерпретация

По результату тестирования при помощи прибора выдаются обработанные машинным кодом данные в виде контрольных значений и графиков изменения в ходе тестирования (см. рис. 2). Тест Бурдона обрабатывался вручную в рамках традиционной методики.

Рис. 2 демонстрирует пример полученного после тестирования результата, который по представленным значениям дает оценку функциональному состоянию человека. Здесь мы видим, что испытуемый не переутомлен, внимателен и работоспособен. Данные полученные из рисунка 2 использовались с данными других испытуемых для дальнейшей обработки и оценки эффективности метода экспресс диагностики.

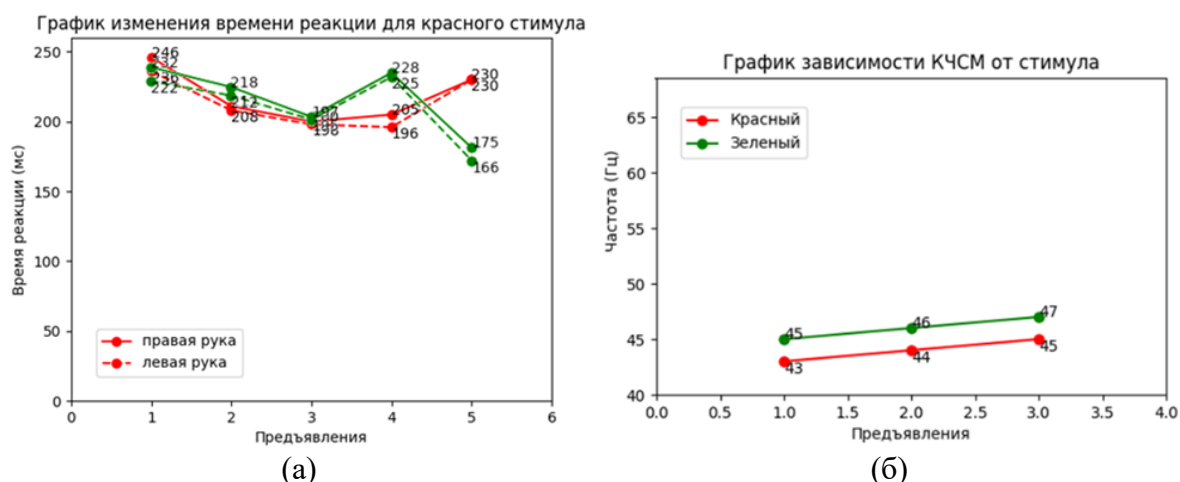


Рис. 2. Результаты тестирования при помощи прибора: а – результат теста СМТ; б – результат теста КЧСМ

Для оценки эффективности метода экспресс диагностики все данные обрабатывались при помощи библиотек NumPy и Pandas языка программирования Python, которые представляют собой готовые к использованию высокопроизводительные структуры данных и инструменты анализа данных и поддерживают многомерные массивы и широкий спектр математических операций с массивами.

Набор данных был предварительно структурирован, обработан и очищен от возможных ошибок (были удалены строки с некорректным значением какого-либо параметра). Такая обработка позволяет облегчить работу с данными, определить закономерности и произвести оценку полученных сведений. При обработке результатов было получено среднеквадратичное отклонение, средние значения и изменение этих значений в процентном соотношении, а именно: значение устойчивости для теста Бурдона, значение частоты для КЧСМ и скорости реакции для СМТ. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение результатов средних значений устойчивости, частоты и скорости реакции, полученных традиционным методом и прибором экспресс диагностики

	Среднее значение						
	Устойчивость	Частота, Гц		Реакция, мс			
		красный	зеленый	красный		зеленый	
				правая	левая	правая	левая
до нагрузки	6,2±1,4	41,2±7,8	39,7±7,3	245±36	237±35	264±47	255±48
после нагрузки	7,2±1,9	41,4±7,9	40,8±7,4	269±52	253±49	280±52	274±57
изменение, %	16,6	1,0	3,4	11,1	7,7	7,6	10,3

Как следует из табл. 1, значением устойчивости после нагрузки увеличилось на 16,6 %, что говорит об угнетении нервных центров и изменении функционального состояния. Значение частоты, различаемой зрительным анализатором при тесте КЧСМ снизилось на 1 % для красного цвета и на 3,4 % для зеленого цвета, что отражает тенденцию к утомляемости. Также мы видим, что время реакции на предъявляемый стимул в тесте СМТ увеличилось на $(7,6 \div 11,1)$ % в зависимости от руки и цвета, что говорит о снижении скорости реакции, а значит наблюдается снижение внимательности испытуемого.

Так нами было установлено, что даже после незначительной получасовой интеллектуальной нагрузки мы фиксируем изменение функционального состояния испытуемого на 9,2 % при помощи прибора экспресс-диагностики и на 16,6 % при помощи традиционного метода на основе теста Бурдона. Хотелось бы отметить, что тест Бурдона очень энергозатратный и длительный способ диагностики функционального состояния, который после себя требует длительной обработки человеком, что делает невозможным получить результат в кратчайшие сроки. В то время как прибор для экспресс-диагностики позволяет в короткий промежуток времени (30 мин) получить результат в сразу после окончания тестирования, что особо важно для предприятий и учебных заведений.

Заключение

В работе была проверена эффективность применения методов экспресс диагностики функционального состояния человека. Полученные в ходе анализа данных выводы подтвердили, что прибор экспресс-диагностики позволяет отследить изменение функционального состояния человека во время напряженной психической деятельности. Это в свою очередь дает возможность выявить «группы риска» по здоровью и осуществлять более эффективное межполушарное взаимодействие в процессе психической деятельности. В сравнение с традиционным методом – тестом Бурдона, метод экспресс диагностики позволяет в режиме реального времени и без привлечения дополнительных специалистов дать оценку и принять решение об общем состоянии человека и угнетенности его нервной системы. Однако тест Бурдона показывает более высокую точность при оценке функционального состояния, а значит для серьезных клинических случаев традиционные методики являются наиболее подходящими.

Список литературы

1. Duncan J., Seitz R. J., Kolodny J. et al. A neural basis for general intelligence // *Science*. – 2000. – Vol. 289(5478). – Pp. 457–460.
2. Aladov A. V., Berlov D. N., Chernyakov A. E., Chilgina Y. A., Zakgei A. L. LED device of psychophysiological express diagnostics of human functional states // In: *Joint Conference – 11th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting and 17th International Symposium on the Science and Technology of Lighting* (Institute of Electrical and Electronics Engineers, France, 2022). – 2022. – Pp. 1–4.

3. Ким Су Ин, Башкин В. М., Павлова Л. П. Патент РФ № 2141244. Способ оценки и коррекции функционального состояния коры мозга человека. А61В3/06: заявл. 09.02.1996; опубл. 20.11.1999.
4. Ноздрачев А. Д., Павлова Л. П., Январева И. Н. Психофизиологическая экспресс-диагностика функционального состояния мозга человека // Труды X Всероссийской медико-биологической конференции «Фундаментальная наука и клиническая медицина». – СПб., 2007. – С. 82–83.
5. Башкин В. М. Методика диагностики и коррекции функционального состояния студентов высшего учебного заведения: методические указания. – СПб.: ГУАП, 2006. – 10 с.
6. Гурвич А. М. Психофизиология: учебник для вузов. – М: Академический проект, 2013.
7. Lezak M. D., Howieson D. B., Bigler E. D., Tranel D. Neuropsychological assessment. – Oxford University Press, 2012. – 1200 p.
8. Башкин В. М. Оценка и коррекция функционального состояния головного мозга человека // Сборник докладов Научной сессии ГУАП, г. Санкт-Петербург, 10–14 апреля 2017 г. – СПб., 2017. – С. 194–198.