



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A61B 5/00 (2025.01); A61B 5/16 (2025.01)

(21)(22) Заявка: 2023132640, 05.12.2023
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.12.2023
Дата регистрации:
06.10.2025
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 05.12.2023
(43) Дата публикации заявки: 05.06.2025 Бюл. № 16
(45) Опубликовано: 06.10.2025 Бюл. № 28
Адрес для переписки:
123098, Москва, ул. Живописная, 46, ФГБУ
ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА
России, Цареву Алексею Николаевичу

(72) Автор(ы):
Дибиргаджиев Идрис Гаджиевич (RU),
Самойлов Александр Сергеевич (RU),
Тихонова Ольга Александровна (RU),
Царев Алексей Николаевич (RU)
(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
учреждение "Государственный научный
центр Российской Федерации - Федеральный
медицинский биофизический центр имени
А.И. Бурназяна" (RU),
Дибиргаджиев Идрис Гаджиевич (RU),
Тихонова Ольга Александровна (RU),
Царев Алексей Николаевич (RU)
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: КОРЕЛЬСКАЯ И.Е. и др.
Экспресс-оценка состояния центральной
нервной системы человека по параметрам
простой зрительно-моторной реакции.
Международный журнал прикладных и
фундаментальных исследований. 2016. N 8-2.
С. 194-197. RU 2289297 С2, 20.12.2006. RU
2573340 С2, 20.01.2016. БАЙГУЖИН П.А.
Оптимизация оценки показателей
сенсомоторной реакции - (см. прод.)

(54) Способ оценки уровня функционального состояния центральной нервной системы на основе анализа
вариабельности сенсомоторных реакций с помощью прямого дискретного преобразования Фурье

(57) Реферат:

Изобретение относится к медицине, а именно к функциональной диагностике, и может быть использовано для оценки уровня функционального состояния центральной нервной системы (УФСцнс). Для этого пациенту предъявляют световые стимулы в случайном порядке. Измеряют время реакции на световые стимулы. Набор показателей времени реакции обрабатывают методом прямого дискретного преобразования Фурье. Вычисляют среднюю частотную плотность мощности сигнала P_{ω} по

математической формуле 1. Затем проводят нормирование показателя $P_{\omega_{norm}}$ по формуле 2.

Далее берут десятичный логарифм $lg(P_{\omega_{norm}})$, по величине которого определяют УФСцнс. При значении УФСцнс менее 4,5 уровень функционального состояния ЦНС оценивают как оптимальный, при УФСцнс от 4,51 до 4,89 - как сниженный и при УФСцнс более 4,9 - как существенно сниженный. Изобретение обеспечивает повышение достоверности оценки



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
A61B 5/00 (2025.01); A61B 5/16 (2025.01)

(21)(22) Application: **2023132640, 05.12.2023**

(24) Effective date for property rights:
05.12.2023

Registration date:
06.10.2025

Priority:

(22) Date of filing: **05.12.2023**

(43) Application published: **05.06.2025 Bull. № 16**

(45) Date of publication: **06.10.2025 Bull. № 28**

Mail address:

**123098, Moskva, ul. Zhivopisnaya, 46, FGBU
GNTS FMBTS im. A.I. Burnazyana FMBA Rossii,
Tsarevu Alekseju Nikolaevichu**

(72) Inventor(s):

**Dibirgadzhev Idris Gadzhievich (RU),
Samojlov Aleksandr Sergeevich (RU),
Tikhonova Olga Aleksandrovna (RU),
Tsarev Aleksej Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
uchrezhdenie "Gosudarstvennyj nauchnyj tsentr
Rossijskoj Federatsii - Federalnyj meditsinskij
biofizicheskij tsentr imeni A.I. Burnazyana"
(RU),
Dibirgadzhev Idris Gadzhievich (RU),
Tikhonova Olga Aleksandrovna (RU),
Tsarev Aleksej Nikolaevich (RU)**

(54) **METHOD FOR ASSESSING LEVEL OF FUNCTIONAL STATE OF CENTRAL NERVOUS SYSTEM BASED ON ANALYSIS OF VARIABILITY OF SENSORIMOTOR RESPONSES USING DIRECT DISCRETE FOURIER TRANSFORM**

(57) Abstract:

FIELD: medicine.

SUBSTANCE: invention refers to medicine, namely to functional diagnostics, and may be used for assessing the functional state of the central nervous system (FS_{CNS}). For this purpose, light stimuli are presented to a patient in a random order. Light stimulus reaction time is measured. Set of reaction time indicators is processed by direct discrete Fourier transform. Average frequency density of signal power is calculated P_{ω} by mathematical formula 1. Method then includes normalization of indicator $P_{\omega_{norm}}$ according to formula 2. Further, decimal logarithm $lg(P_{\omega_{norm}})$ is taken, Value

of which is used to determine FS_{CNS}. If FS_{CNS} value is less than 4.5, the functional state of the central nervous system is considered to be optimal; the FS_{CNS} being within range of 4.51 to 4.89 shows the decreased functional state, while the FS_{CNS} values exceeding 4.9 shows the considerably reduced functional state.

EFFECT: invention provides more reliable assessment of the individual's FS_{CNS}, which enables to conduct an objective assessment of the professional capabilities of the worker.

1 cl, 1 tbl

**C 2
4 7 4 7 4 7 4
R U**

**R U
2 8 4 7 4 7 4
C 2**

Изобретение относится к медицине, а именно к функциональной диагностике, состояния центральной нервной системы и может быть использовано для интерпретации показателей простой сенсомоторной реакции (ПСМР) на видеосигнал.

ПСМР на видеосигнал формируется в системе зрительного анализатора, ассоциативной и интегративной системах мозга, а также в системе организации ориентировочной реакции. Ассоциативная система, связывает корковое представительство зрительного анализатора (теменные зрительные зоны) с двигательной зоной коры, и кортикоспинальным путем, обеспечивающим передачу возбуждения на эффекторы (мышцы). Таким образом, зрительно-моторная реакция осуществляется целым комплексом подкорковых и корковых структур головного мозга, состояние которых отражается в скорости и изменчивости (вариативности) этих реакций. Иными словами, зрительно-моторная реакция отражает уровень функционального состояния центральной нервной системы (УФСцнс).

Зрительно-моторная реакция, как и любая другая сенсомоторная реакция - это ответное действие организма на внешние раздражения. В физиологии рассматривается такая характеристика ПСМР как быстрота ответа на раздражитель, которая определяется как время реакции или период сенсомоторной реакции (период реакции). Различают скрытый (латентный) период реакции - временной отрезок от момента появления сигнала/начала его восприятия до начала ответного движения. Моторный период реакции - временной отрезок от начала движения до его завершения.

Измерение времени реакции широко используют в качестве критерия сенсорной чувствительности, оценки УФСцнс, для анализа когнитивных процессов и индивидуальных различий. Термин «время реакции» ввел в науку З. Эксер (1823), под ним подразумевается измеряемый в лабораторных условиях промежуток времени между подачей какого-либо раздражителя, воздействующего на рецептор, и ответным движением на этот раздражитель.

Известно несколько подходов к оценке УФСцнс» основанные на применении более сложного математического аппарата по сравнению с обычным вычислением среднего времени реакции и его среднеквадратичного отклонения. Одним из таких подходов является метод вариационной сенсометрии для анализа тренда временных рядов ПСМР [патенты RU 2164075 C2 и RU 2573340 C2].

Однако описанные выше способы оценки вариабельности ряда данных являются менее информативными по сравнению со спектральным анализом, который давно используется при оценке вариабельности сердечного ритма, и показал его большую эффективность в диагностике заболеваний сердца.

Прототипом данного изобретения является способ определения утомления человека, заявленный в 1987 году, в котором предложено использовать спектральный анализ временных рядов латентных периодов сенсомоторных реакций [патент SU 1598969 A1].

К недостатку описанного выше способа можно отнести недостаточность анализируемых данных, поскольку в данном способе предлагается оценивать только изменения (тренд) латентного периода реакции без учета второй важной составляющей - двигательного компонента реакции (моторного периода). Кроме этого, по результатам спектрального анализа выделяются только три частотные области, в которых рассчитывают спектральную плотность мощности без учета всего диапазона частот и отсутствует нормирование в соответствии с количеством предъявляемых стимулов. Таким образом, возникла необходимость в разработке новых математических подходов для анализа вариабельности временных рядов сенсомоторных реакций, позволяющих при обработке данных на персональных компьютерах проводить более углубленный

анализ их изменчивости.

Предлагаемый способ пригоден для оценки УФСцнс при профессиональном отборе, психофизиологическом обследовании работников объектов использования атомной энергии и ежедневном предсменном контроле операторов любого профиля, в том числе операторов особо опасных производств, например, атомных станций.

Целью заявляемого изобретения является повышение достоверности оценки УФСцнс человека при помощи простого и быстрого метода, обуславливающего эффективность профессиональной деятельности, разработанного на основе современных научно-обоснованных концепций нейрофизиологических механизмов высшей нервной деятельности.

Сущность изобретения заключается в том, что для оценки УФСцнс к результатам тестирования, а именно, к набору показателей скорости реакций на предъявляемые световые стимулы, применяется метод прямого дискретного преобразования Фурье. Этот метод в настоящее время реализован во многих математических пакетах в виде алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ), в частности в пакете Microsoft Excel.

Особенность алгоритма БПФ заключается в том, что для анализа необходимо определенное количество данных кратное 2^N (в случае ПСМР временной ряд может быть равен 32, 64 или 128 реакциям).

Описание технического результата.

Данный способ предполагает измерение, и накопление в памяти персонального компьютера (ПК) показателей времени реакций человека на световые стимулы, предъявляемые в случайном порядке в процессе прохождения теста.

Накопленные в памяти ПК показатели времени реакций на световые стимулы представляют собой ряд данных, к которым применяется прямое дискретное преобразование Фурье посредством программы Microsoft Excel (т.е. метода БПФ). В результате такого преобразования получаем на выходе пул комплексных чисел, которые соответствуют гармоникам или спектру исходного ряда данных (т.е. ряда показателей времени реакций на зрительные стимулы). Этот спектр (т.е. набор гармоник в виде комплексных чисел), аппроксимирует эмпирическую функцию $f(t)$ (массив числовых показателей времени реакций на световые стимулы) в соответствии с формулой (1).

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^N A_n \sin(n\omega_1 t + \varphi_n) \quad (1)$$

где: $f(t)$ - функция(сигнал), представленная показателями времени реакций на световые стимулы;

A_0 - амплитуда нулевой гармоники (постоянная составляющая);

N - общее число не нулевых гармоник;

A_n - амплитуда n -ой гармоники;

ω_1 - основная частота гармоник ($\omega_1 = 2*\pi/T$);

T - период функции $f(t)$;

$n*\omega_1$ - частота n -й гармоники;

φ_n - фаза n -й гармоники.

Амплитуды (A_n) и фазы (φ_n) в формуле (1) получены из комплексных чисел в результате применения БПФ к ряду исходных данных $f(t)$. Множества $\{A_n\}$ и $\{\varphi_n\}$

образуют дискретный амплитудный и фазовый спектры сигнала $f(t)$. Величины $\{P_n\}$ образуют спектр мощностей гармоник сигнала $f(t)$ в соответствии с формулой (2):

$$P_n = |A_n|^2 \quad (2)$$

5 где P_n - мощность n -й гармоники сигнала $f(t)$.

Согласно теореме Парсеваля среднюю мощность сигнала (функции) $f(t)$ можно оценить как сумму мощностей всех гармонических составляющих спектра этого сигнала (функции) в соответствии с формулой (3):

$$10 \langle P \rangle = \sum_{n=0}^M P_n = \sum_{n=0}^M |A_n|^2 \quad (3)$$

Средняя мощность сигнала $f(t)$ является энергетической характеристикой этого сигнала. Для учета частот спектра сигнала, введем в рассмотрение параметр: отношения
15 средней мощности сигнала на ширину всего частотного диапазона спектра сигнала и получим параметр, показывающий среднюю плотность мощности сигнала, приходящуюся на каждую частоту в спектре этого сигнала, т.е. среднюю частотную плотность мощности сигнала (P_ω), в соответствии с формулой (4):

$$20 P_\omega = \frac{\sum_{n=0}^M |A_n|^2}{(\omega_{\max} - \omega_{\min})} \quad (4)$$

где: M - общее число гармоник;

25 ω_{\max} - максимальная частота ненулевой гармоники в спектре;

ω_{\min} - минимальная частота ненулевой гармоники в спектре.

Таким образом, средняя частотная плотность мощности сигнала является
30 вычисляемой, интегральной характеристикой всего временного ряда ПСМР на зрительные стимулы и тем самым показателем УФСцнс человека.

С целью стандартизации результатов исследования при различных количествах предъявляемых стимулов ПСМР (32, 64 или 128 стимулов) предлагается использование нормализованного показателя ($P_{\omega_{norm}}$), который рассчитывается по следующей формуле (5):

$$35 P_{\omega_{norm}} = \frac{P_\omega}{(N - 1)} \quad (5)$$

где N - количество предъявляемых стимулов.

40 В связи с большой величиной данного показателя и трудностью визуального сравнения и оценки различий предлагается использовать десятичный логарифм нормализованного показателя $\lg(P_{\omega_{norm}})$.

Заявляемый способ соответствует критерию изобретательский уровень, так как
45 предлагает способ оценки УФСцнс по показателю $\lg(P_{\omega_{norm}})$ простой сенсомоторной реакции, который по отношению к ближайшим аналогам имеет следующие преимущества:

- для анализа берется время простой сенсомоторной реакции (сумма латентного и

двигательного компонента реакции);

- при БПФ анализируется весь спектр частот;
- получаемый специфический показатель средняя частотная плотность мощности сигнала нормируется к количеству сенсомоторных реакций.

5 Особенностью данного показателя является то, что он коррелирует с УФСцнс лучше других аналогов и не используется для таких же целей в каких-либо известных методиках.

Соответствие критерию «пригодность для промышленного применения» подтверждается результатами испытаний заявляемого способа в лаборатории №12 Мультидисциплинарных клинических исследований Отдела №2 Клинической и
10 радиационной медицины в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

В отличие от классической оценки сенсомоторных реакций по двум показателям (среднее время реакции и среднеквадратичное отклонение), по величине предложенного показателя можно оценить УФСцнс (оптимальный, сниженный или существенно
15 сниженный), а значит и уровень готовности оператора к работе, по аналогии с другими методиками оценки УФСцнс (патент №RU 2573340 C2). Таким образом, данный показатель позволяет проводить объективную оценку профессиональных возможностей работника.

В таблице №1 представлены данные, полученные при проведении периодического психофизиологического обследования оперативного персонала Курской АЭС в
20 лаборатории психофизиологического обеспечения эксплуатации. Для сравнения в таблице приведены результаты расчета УФСцнс и нормализованного показателя $Ig(P\omega_{norm})$ для простой зрительно-

25 моторной реакции (ПЗМР) на основании обследования 540 операторов. Оценка уровня функционального состояния ЦНС (оптимальный, сниженный, существенно сниженный) была проведена в рамках комплексного психофизиологического обследования, включающего тестирование по психофизиологическим методикам и экспресс-диагностики психофизиологического состояния человека с помощью компьютерного комплекса «ДИАКОМС» и объективного осмотра физиологом.

30 Как видно из таблицы, нормализованный показатель $Ig(P\omega_{norm})$ более точно отражает УФСцнс в сравнении с альтернативными методами оценки УФСцнс- Об этом свидетельствует меньшая величина показателей точности определения средней (C_s) [Лакин Г.Ф. Биометрия. 1990].

35 Данный показатель часто используется в медико-биологических исследованиях при сравнении, если средние показатели с их ошибками средней выражены в разных единицах измерения: мСек. и Вт/Гц. Показатель точности определения средней рассчитывается по следующей формуле (6):

$$40 \quad C_s = \frac{V}{\sqrt{n}} (\%) \quad (6)$$

где V- коэффициент вариации;

n - количество наблюдений.

45 Величина показателя точности определения средней, по которым оценивают полученные результаты наблюдений, считается вполне удовлетворительной, если коэффициент C_s не превышает 3-5%. Чем меньше этот показатель, тем точнее определено среднее значение рассчитываемого показателя. Таким образом, классификация УФСцнс человека (оптимальный, сниженный, существенно сниженный) с помощью расчета

нормализованного показателя $\lg(P\omega_{\text{norm}})$ по сравнению с альтернативными методами оценки

УФСцнс является более точной в соответствии с величиной C_s ($2,94 > 1,74$; $3,07 > 1,81$; и $3,89 > 1,97$) рассчитанной для всех трех уровней функциональных состояний ЦНС.

Таблица №1

Результаты сравнения показателей УФСцнс и $\lg(P\omega_{\text{norm}})$.

Уровень функционального состояния ЦНС	ПСМР			
	УФСцнс	$C_s(\%)$	$\lg(P\omega_{\text{norm}})$	$C_s(\%)$
Оптимальный	$27,54 \pm 0,81^*$	2,94	$4,62 \pm 0,19^{**}$	1,74
Сниженный	$19,86 \pm 0,61^*$	3,07	$5,17 \pm 0,21^{**}$	1,81
Существенно сниженный	$14,92 \pm 0,58^*$	3,89	$5,42 \pm 0,22^{**}$	1,97

* Статистически значимые различия ($P < 0,05$).

** Статистически значимые различия ($P < 0,001$).

На основании средних значений УФСцнс полученных в результате анализа результатов тестирования оперативного персонала Курской атомной электростанции нами рассчитаны границы уровней ФС ЦНС:

оптимальный

сниженный

существенно сниженный

менее 4,5;

от 4,51 до 4,89;

более 4,9.

(57) Формула изобретения

Способ оценки уровня функционального состояния центральной нервной системы (УФСцнс), основанный на анализе вариабельности сенсомоторных реакций, включающий проведение спектрального анализа временных рядов зрительной сенсомоторной реакции, отличающийся тем, что среднюю частотную плотность мощности сигнала (P_ω) вычисляют на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ) по формуле (1):

$$P_\omega = \frac{\sum_{n=0}^M |A_n|^2}{(\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{min}})}, \quad (1)$$

где A_n - амплитуда n-й гармоники;

ω_{max} и ω_{min} - максимальная и минимальная частоты гармоник,

затем проводят нормирование показателя средней частотной плотности мощности сигнала ($P\omega_{\text{norm}}$) по формуле (2):

$$P_{\omega_{norm}} = \frac{P_{\omega}}{(N-1)}, \quad (2)$$

5 где N - количество стимулов сенсомоторной реакции, затем берут десятичный
логарифм $\lg(P_{\omega_{norm}})$, по величине которого определяют УФСцнс, причем при значении
УФСцнс менее 4,5 уровень функционального состояния ЦНС оценивают как
оптимальный, при УФСцнс от 4,51 до 4,89 - как сниженный и при УФСцнс более 4,9 -
10 как существенно сниженный.

15

20

25

30

35

40

45