



Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2022. Т. 30, № 3
Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Applied Nonlinear Dynamics. 2022;30(3)

Научная статья
УДК 51.7
DOI: 10.18500/0869-6632-2022-30-3-311-321

Измерение когнитивного потенциала на основе выполнения задач различного уровня сложности

А. Ю. Петухов¹✉, С. А. Полевая²

¹Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики
имени М. В. Келдыша РАН, Москва, Россия

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет имени Н. И. Лобачевского, Россия
E-mail: ✉Lectorr@yandex.ru, s453383@mail.ru

Поступила в редакцию 9.11.2021, принята к публикации 26.01.2022,
опубликована 31.05.2022

Аннотация. Цель работы. Статья посвящена теме измерения когнитивного потенциала человека на основе полученных экспериментальных данных с целью выявления его потенциальных возможностей, а также мониторинга их динамики, например, для диагностики восстановления после перенесенного заболевания. Данная цель разбивается в исследовании на две задачи, а именно, чтобы оценить когнитивный потенциал, необходимо разработать два алгоритма. 1. Оценки уровня когнитивной сложности задач. 2. Системы уровней когнитивного потенциала для индивида. **Методы.** Основу методов составляет комплекс экспериментальных, в том числе специально разработанных авторских методик, а также математических методов для обработки данных и расчета введенных специфических параметров для формализации когнитивного потенциала. **Результаты.** На основе указанных методов предложены способы (и конкретные формулы) расчета когнитивного потенциала индивида, используя экспериментальные данные и задачи различного уровня сложности. **Заключение.** В рамках данного исследования создана методология определения значения когнитивного потенциала на основе теории информационных образов/репрезентаций. Для объективизации когнитивных навыков (в том числе, так называемых softskills) разработан специальный web-инструментарий. Полученные метрики позволят исследовать влияние социальных, генетических и патогенетических факторов на динамику когнитивных способностей. Предложена новая теоретическая и технологическая платформа для цифрового картирования и оптимизации когнитивных функций.

Ключевые слова: когнитивный потенциал, информационные образы, репрезентации, когнитивные процессы, тест Струпа, мозг, целевые стимулы.

Для цитирования: Петухов А. Ю., Полевая С. А. Измерение когнитивного потенциала на основе выполнения задач различного уровня сложности // Известия вузов. ПНД. 2022. Т. 30, № 3. С. 311–321. DOI: 10.18500/0869-6632-2022-30-3-311-321

Статья опубликована на условиях Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

Measuring cognitive potential based on the performance of tasks of various levels of complexity

A. Y. Petukhov¹✉, S. A. Polevaya²

¹Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow, Russia

²National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: ✉Lectorr@yandex.ru, s453383@mail.ru

Received 9.11.2021, accepted 26.01.2022, published 31.05.2022

Abstract. *Purpose of work.* The article is devoted to the topic of measuring the cognitive potential of a person on the basis of the obtained experimental data in order to identify its potential capabilities, as well as to monitor their dynamics, for example, to diagnose recovery after an illness. This goal is divided in the study into two tasks, namely, to assess the cognitive potential, it is necessary to develop two algorithms: 1. Assessment of the level of cognitive complexity of tasks. 2. Systems of levels of cognitive potential for an individual. *Methods.* The basis of the methods is a set of experimental, including specially developed author's, techniques, as well as mathematical methods for processing data and calculating the entered specific parameters to formalize the cognitive potential. *Results.* On the basis of these methods, methods (and specific formulas) are proposed for calculating the cognitive potential of an individual using experimental data and tasks of various levels of complexity. *Conclusion.* Within the framework of this study, a methodology for determining the value of cognitive potential was created on the basis of the theory of information images / representations, as well as a specially developed web-toolkit for objectifying cognitive skills (including the so-called softskills). This value can be useful, both in studies related to changes in cognitive abilities as a result of the influence of various internal and external factors (for example, learning, diseases, injuries, etc.), diagnostic goals (for example, with the aim of determining the speed recovery after a disease that affects cognitive activity, such as a stroke or SARS-CoV-2), and in the formation of requirements for certain work positions that significantly depend on the cognitive abilities of the individual.

Keywords: cognitive potential, information images, representations, cognitive processes, Stroop test, brain, target stimuli.

For citation: Petukhov AY, Polevaya SA. Measuring cognitive potential based on the performance of tasks of various levels of complexity. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics.* 2022;30(3):311–321. DOI: 10.18500/0869-6632-2022-30-3-311-321

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

Введение

Необходимость измерения когнитивного потенциала у индивидов связана с актуальностью решения целого ряда проблем.

1. Объективизации оценки соответствия претендента на какую-либо рабочую / управленческую позицию.
2. Персонализации стратегий передачи знаний и навыков.
3. Совершенствования методов когнитивной диагностики и реабилитации после инсульта или вирусных инфекций (например, covid-19).

При этом на сегодня имеется немало различных отдельных задач и методов, которые с определенными допущениями дают оценку когнитивным способностям испытуемых [1–7]. Вместе с тем, данные методики часто слабо сочетаются друг с другом, имеется немало проблем с обработкой результатов, а также с их интерпретацией.

Для определения и стратификации по сложности различных когнитивных задач в течение 2014–2021 гг. проводились многочисленные экспериментальные исследования, направленные на решение подобных задач в различных условиях. На основе полученных результатов была

разработана соответствующая база — 35000 записей результатов сенсомоторной активности по 433 заданиям разными целевыми функциями для разных возрастных и профессиональных групп. Каждая запись включает время принятия решений, продолжительность моторной реакции, индикаторы ошибок первого и второго рода [8].

Также следует отметить, что за последний год был проведен целый ряд исследований, которые показали характерную и статистически достоверную зависимость когнитивных способностей индивида от перенесенного заболевания КОВИД-19 (с учетом его тяжести и даже при бессимптомном протекании заболевания), см., например [9].

В рамках данного исследования, будут приведены примеры, где когнитивные функции испытуемых изучались при помощи трех тестов: тест простой сенсомоторной реакции, тест на память «7 слов» и модификация теста Stroop. Все они были представлены на Web-платформе КОГНИТОМ (cogni-nn.ru) [8], что позволило провести объективную диагностику с мгновенной обратной связью и минимизировать участие эксперта-посредника.

Цифровое отображение когнитивных процессов определено в пространстве 15 параметров скорости и точности простой и сенсомоторной активности для 3 интерактивных контекстов (тесты) разного уровня сложности.

Таким образом, для корректной оценки когнитивного потенциала необходимо решить две задачи.

1. Разработать алгоритм оценки уровня когнитивной сложности заданий.
2. Разработать алгоритм оценки уровня когнитивного потенциала для индивида.

Ключом к решению поставленных задач может стать предлагаемая нами теория информационных образов / репрезентаций, как основа модели когнитивной активности человеческого мозга.

1. Теория информационных образов/репрезентаций

Основа предлагаемой теории — представление об универсальной когнитивной единице [9] информационном образе, о пространстве, в котором он существует, его топологии и свойствах. Информационные образы/репрезентации (далее ИО) можно определить как отображения объектов и событий в любом пространстве признаков [11, 12].

В рамках теории ИО мы представляем разум человека как иерархическую систему взаимодействующих образов, находящуюся под регулярным внешним воздействием.

Образы с более высокой энергией (мы вводим понятие энергии E для описания коммуникативной активности образов) располагаются «выше» и ближе к краю пространства информационных образов индивида, поэтому гораздо чаще вступают во взаимодействие, и наоборот, низкоактивные с невысокой энергией и большей инерционностью располагаются ближе к центру пространства и относительно редко вступают в активное взаимодействие с внешними стимулами [11].

Можно выделить 4 условных типа ИО, не претендуя на однозначную классификацию.

1. **Доминирующие** образы определяют так называемую доминанту [5] человеческого поведения, его информационный первичный портрет, его основной набор наиболее используемых сознательно информационных образов, условно проводя аналогию с компьютером — содержимое оперативной памяти.
2. **Активные** образы также являются одними из определяющих факторов в информационной системе человека. Однако их влияние несколько меньше доминантных, используются сознательно несколько реже.

Данные два типа ИО относятся в большей степени к эксплицитным когнитивным процессам индивида.

3. **Пассивные** образы являются, как правило, скрытыми в человеческой деятельности и отвечают за его виртуальное поведение — то есть мечты, фантазии, проявления в виртуальной среде, например, в социальных сетях под вымышленными именами, в онлайн-играх и т. д. Также в этой области находится большинство образов, относящихся к рефлексорным приобретенным функциям, пассивным навыкам и т. д.
4. **Отложенные.** Данные образы практически не проявляются внешне в осознанной деятельности индивида, и включаются, как правило, лишь в определенных случаях или оказывают свое воздействие без их осознания и выделения в потребность.

Данные два типа ИО относятся к имплицитной когнитивной деятельности индивида.

Важно отметить, что основную реальную информационную деятельность человека определяют лишь два первых типа образов, третий — в большей степени виртуальную.

Очевидно, что информационный образ невозможно передать путем коммуникации между индивидами неизменным. Ведь, по сути, каждый ИО уникален, ведь индивид обладает специфическим индивидуальным опытом.

Кроме того, человек не способен передать образ, который существует у него в голове, в его пространстве ИО, другому человеку напрямую. Для этого он пользуется различными коммуникативными аппаратами, сформированными у него с помощью социальной надстройки коммуникации или — коммуникационного поля (КП). КП — это информационная общность индивидуального опыта и коллективного бессознательного, сформированная в результате нахождения человека в социуме. Коммуникативный аппарат представляет собой: речь, визуальный способ передачи информации, тактильный, символичный и т. д. Таким образом КП шифрует передаваемый образ в некий код и расшифровывает принимаемый код в собственный образ при коммуникации с другим индивидом.

Соответственно, передача ИО осуществляется с помощью следующей цепочки:

**Образ → коммуникативное поле → сигнал-сообщение →
→ возмущение в коммуникативном поле другого индивида → восприятие → образ**

Теория ИО позволяет иначе взглянуть на ряд характерных закономерностей в разуме человека, корректно интерпретировать и объяснить некоторые из них. Подробнее см. в работах [11, 12]. Также основы теории применяются для построения моделей для диагностики различных состояний человека [13, 14]. В целом, в мире подобное направление описания когнитивной активности индивида является достаточно популярным, регулярно выходят публикации, посвященные моделированию динамики репрезентаций/образов в человеческом мозге [15–17].

В такой интерпретации реакция индивида на оказанное информационное воздействие будет представлена в виде активации (то есть перемещения образа/образов) с относительно низкого уровня на более высокий. С точки зрения теории ИО, образы, используемые бессознательно, обладают значительно большей инерционностью, что приводит к относительно большому количеству времени для их использования в осознанной коммуникации. При этом человеческий мозг, как правило, выбирает ближайшие образы для взаимодействия, поэтому при осознанной попытке стратификации противоречащих информационных потоков мы видим существенное увеличение интерференции для родного языка и увеличение эффекта когнитивного диссонанса.

2. Расчет уровня сложности заданий

Есть несколько способов расчета уровня сложности задач с точки зрения оценки когнитивных способностей отдельно взятого индивида. Их можно упрощенно разделить на два способа:

- 1) относительная оценка;
- 2) абсолютная оценка.

Первая относится к результатам экспериментальных исследований, а именно — относительной оценке ресурсных затрат (когнитивных, временных) конкретного индивида на решение задач в сравнении со средними по выборке, а также количества ошибок.

Второй тип оценки базируется на определении фундаментальных характеристик и различий предлагаемых задач с целью выявления уровня когнитивных затрат, а также порога решений (то есть представляют ли задачи невыполнимую сложность для индивида или группы индивидов).

Для первого типа оценки необходима существенная база накопленных проведенных тестов, чтобы выявить наиболее сложные и менее сложные тесты для различных выборок индивидов в среднем. Такая база фактически была нами создана [8].

Однако такой большой объем данных достаточно трудно корректно обработать в короткие сроки и, по сути, это серьезная задача класса Big Data, требующая отдельного внимания. Поэтому в данном исследовании мы сосредоточимся больше на абсолютной оценке сложности предлагаемых задач.

Основным фактором, определяющим такую сложность, будет для нас количество информационных потоков, которые возникают при решении отдельной задачи [13]. Данное решение можно интерпретировать, как обработку информационного образа (или образов), предлагаемого задачей за определенный промежуток времени (время реакции), и активацию собственного образа для выдачи ответной реакции.

Понятно, что наиболее простой вариант воздействия здесь будет воздействие одного образа без необходимости его распознавания (например, задача, когда необходимо нажимать на кнопку при появлении любого изображения на экране). В тесте «Простая сенсомоторная активность» (ПСМА) предъявлялось последовательно 70 одинаковых стимулов (красный круг диаметром 5 см), межстимульный интервал 1000 мс, экспозиция 100 мс. Задание: нажимать на кнопку сразу, как только на экране появится изображение круга. Продолжительность теста не более 2 мин.

Схематически это отображено на рис. 1.

Более сложный вариант, когда образов несколько и более, требуется когнитивная работа для распознавания и/или сравнения образов.

Классический пример таких задач — тест Stroop [5]. В модифицированном тесте Stroop (Stroop_smr) стимулами являются цветные изображения слов, обозначающих цвет: красный, зеленый, синий, желтый, черный. Цвет букв назначается из этого же набора вариантов. Межстимульный интервал 1000 мс, экспозиция 500 мс. Задание: нажимать на кнопку сразу, как только цвет букв соответствует смыслу слова. Всего последовательно предъявлялись 99 стимулов, из которых 20 являлись целевыми. Продолжительность теста не более 2 мин. Общая продолжительность тестирования составляла не более 10 минут.

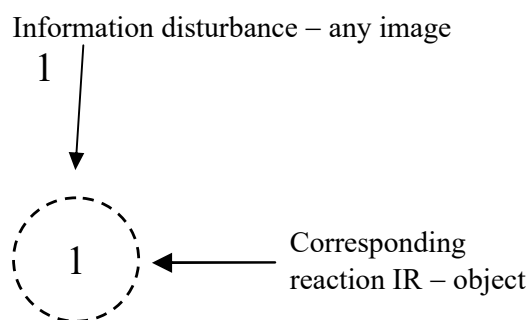


Рис. 1. Простейшая задача

Fig. 1. Simple task

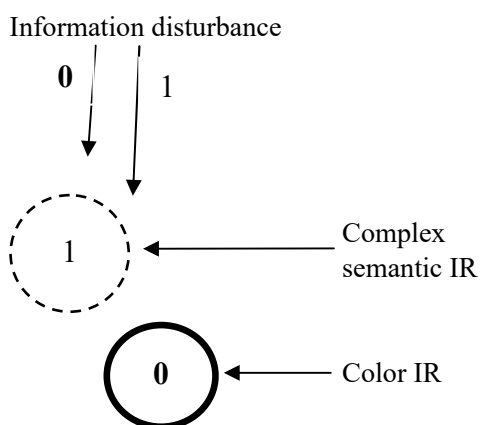
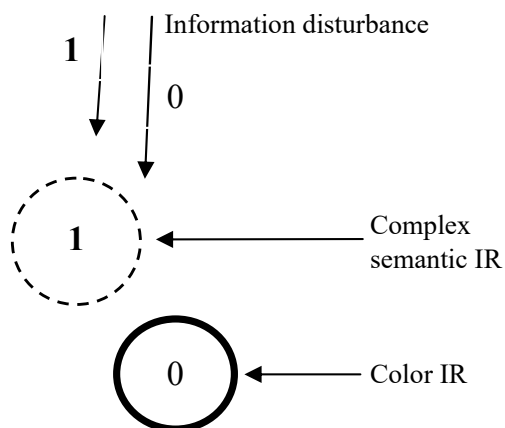


Рис. 2. Тест Stroop

Fig. 2. Test Stroop

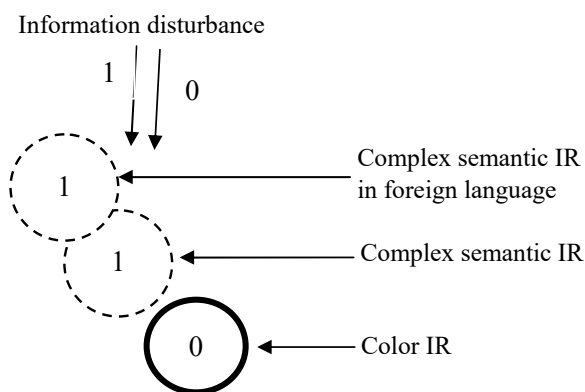


Рис. 3. Схема процесса обработки информационных потоков при переводе иностранного языка

Fig. 3. Framework of information flow for interpretation foreign language

С точки зрения теории ИО, возникающие рассогласования восприятия текстовых и цветовых образов связаны с образованием разных потоков информационного возмущения в пространстве ИО. Соответственно, реакция на данное возмущение дается наиболее близкими и активными образами.

На рис. 2 изображен схематически процесс обработки информационных потоков при тесте Stroop. Есть два условных информационных возмущения (потока) — «текст» — 1 и «цвет» — 0. Они не совпадают, вызывая когнитивный диссонанс взаимодействия двух ИО — смыслового и цветового. Есть два варианта, когда нужно выбрать либо смысл слова — на рис. 2 сверху, либо цвет слова — на рис. 2 снизу.

В целом, концентрация на одном из информационных потоков без активации другого требует осознанной блокировки бессознательных реакций на привычные раздражители (такие, как выбор цвета по цвету) и сам эффект когнитивного диссонанса объясняется здесь рассогласованием активности информационных образов, задействованных разнонаправленными возмущениями коммуникационного поля, несогласующимися с бессознательными адаптивными реакциями. Потребность разума в выстраивании новых логических цепочек в обход уже существующих и сопоставления иных кодов образа с кодами информационного возмущениями коммуникационного поля приводит к информационному «провалу», в результате чего испытуемые иногда «зависали» над выбором цвета, дергая стрелкой на экране монитора от одного к другому. И только после устранения части противоречащих образов в структуре решения делается итоговый выбор.

Следующий уровень сложности представляют задания с необходимостью расшифровки, или определения искомого образа при противоречащих информационных потоках. Например, при переводе с иностранного языка, при невысоком уровне владения (рис. 3).

Таким образом, на основе такой интерпретации когнитивной активности можно стратифицировать уровень сложности предлагаемых задач — в зависимости от количества информационных потоков и типов когнитивных действий, требуемых для их обработки.

Например, на рис. 1 изображен простейший случай, где есть один информационный поток, без необходимости его обработки (интерпретации), таким образом его когнитивная сложность $S = 1$ (определение появления какого-либо потока) $\times 1$ (выбор необходимого информационного потока).

Умножение на количество потоков происходит по причине параллельности предоставления информации, а не последовательным способом, что существенно усложняет принятие решения и вызывает появление эффекта когнитивного диссонанса.

Важно отметить, что мы говорим о заданиях без учета эффекта обучения.

На рис. 2 у нас два потока и необходимость в интерпретации одного из них, таким образом: $S_c = (1(\text{соответствие смыслу или цвету}) + 1(\text{определение появления какого-либо потока})) \times 2(\text{выбор необходимого информационного потока}) = 4$.

Для рис. 3 добавляется перевод (то есть определение образа на родном языке к образу на иностранном языке) и $S_c = 6$.

Примерный вид обобщенной формулы когнитивной сложности задания можно представить так:

$$S_c = \left(\sum_i^n 1 \right) * I(1), \quad (1)$$

где n — количество задействованных в обработке образов, i — номер образа, а I — количество информационных потоков, которые надо обработать.

3. Когнитивный потенциал

Таким образом мы определили уровень сложности задач с точки зрения когнитивных затрат на их решение. Однако, очевидно, что ввиду индивидуальных особенностей и способностей человека не следует напрямую говорить о соответствии когнитивного потенциала и уровня решения задач. То есть, если индивид с допустимым количеством ошибок и затрат по времени решает задачи уровня $S = 5$, то его когнитивный потенциал равен 5. Ведь вполне возможно, ему по каким-то причинам будет легче решить задачи уровня 6 (например, потому что там будут операции с цветовыми образами, а на уровне 5 ему дали семантические, что конкретно для данного испытуемого является более трудным заданием).

Поэтому в такой парадигме необходимо взять интегральный рейтинг с учетом решения задач разного уровня и с разными типами образов в одном уровне. Кроме того, поскольку ранее уже поднималась тема относительных показателей индивида, то в идеале необходимо учитывать средние показатели по большой выборке индивидов по заданиям различного уровня и с разными типами образов. Также, в этой логике можно определить когнитивный потенциал, как пороговое значение сложности решаемых задач. При превышении порога индивид совершает ошибки.

Также важным фактором для наших расчетов является и то, что в качестве параметров мы будем использовать те показатели, которые нам доступны в рамках исследуемой базы экспериментальных данных. Вместе с тем, следует отметить, что плюсом выбранных показателей является их относительная доступность, отсутствие необходимости в сложном оборудовании для получения (по сути кроме компьютера с мышкой), что дает существенный потенциал для масштабного применения и апробации.

Какие параметры мы можем извлечь из данной базы?

1. Время принятия решений (временной интервал между появлением изображения на экране монитора и моментом нажатия на кнопку) в среднем по заданию — T_d / среднее время на принятие решений по базе для данного типа заданий — T_{dmid} .

2. Продолжительность удержания кнопки при моторной реакции (MR, миллисекунды) — T_p / среднее по базе — $T_{p\text{mid}}$.
3. Количество пропусков целевого стимула (ERR1) — P_p / среднее по базе — $P_{p\text{mid}}$.
4. Количество двойных нажатий (ERR2) — P_d / среднее по базе — $P_{d\text{mid}}$.
5. Количество нажатий на нецелевой стимул — P_m / среднее по базе — $P_{m\text{mid}}$.

Обладая набором таких данных, можно определить сложность используемых задач с точки зрения относительных величин по выбранным 5 параметрам. Это будет выглядеть так:

$$S_r = \frac{T_d/T_{d\text{max}} + T_p/T_{p\text{max}} + P_p/P_{p\text{max}} + P_d/P_{d\text{max}} + P_m/P_{m\text{max}}}{u}, \quad (2)$$

где u — количество параметров, в нашем случае 5, если же какого-то параметра нет (например, в задании нет варианта ошибок), то тогда просто записывается 0 вместо соответствующей дроби. В каждой из дробей делится параметр исследуемого задания на максимальный параметр из базы для всех заданий. Таким образом, значение относительной сложности будет колебаться от 0 до 1, никогда не достигая 0 и имея теоретическую возможность достижения 1 для задания, которое является самым сложным по всем выбранным параметрам.

На основе данных параметров мы составили формулу, определяющую когнитивный потенциал индивида (конечно, с точки зрения данных, полученных в результате прохождения им ряда тестов и сравнения с результатами выборки из базы):

$$P_c = \sum_{j=1}^m \left(\frac{T_{d\text{mid}}^j}{T_d^j} + \frac{T_{p\text{mid}}^j}{T_p^j} + \frac{P_{p\text{mid}}^j}{P_p^j} + \frac{P_{d\text{mid}}^j}{P_d^j} + \frac{P_{m\text{mid}}^j}{P_m^j} \right) S_c^j S_r^j, \quad (3)$$

где j — номер задания, m — количество заданий. Соответственно в дробях вычисляется отношение среднего полученного значения параметра по отдельному заданию в базе, поделенного на полученное значение параметра у исследуемого индивида.

Это умножается на сложность задания и суммируется по всем заданиям. Итоговое число и есть условное значение когнитивного потенциала, в котором учитываются и абсолютные факторы когнитивной сложности, и относительные (получаемые из базы данных по заданиям).

Заключение

В рамках данного исследования создана методология определения значения когнитивного потенциала на основе теории информационных образов/репрезентаций, а также специально разработанного web-инструментария для объективизации когнитивных навыков (в том числе, так называемых — softskills).

Данное знание может быть полезно как в исследованиях связанных с изменением когнитивных способностей в результате влияния различных внутренних и внешних факторов (например, обучения, заболеваний, травм и т. д.), так и в диагностических целях (например, с целью определения скорости восстановления после заболевания, влияющего на когнитивную активность, такого как инсульт или SARS-CoV-2). Кроме того, данный подход можно использовать при формировании требований (в том числе и процессов собеседования) к некоторым трудовым позициям, которые существенным образом зависят от когнитивных способностей индивида.

Как правило, методики, обычно используемые в таких случаях, часто требуют самооценки состояния от людей с нарушенными механизмами осознания, слабо сочетаются друг с другом, имеется немало проблем с обработкой результатов, а также с их интерпретацией. Предлагаемый метод способен помочь в решении подобных проблем.

Следующим этапом развития данной идеи будет проведение экспериментального исследования динамики восстановления когнитивных способностей индивида, сравнения показателей, введенных в нашей работе, с данными других методов оценки восстановления когнитивного потенциала. Это позволит в достаточной степени апробировать подход и проверить его эффективность по сравнению с иными способами.

Список литературы

1. Александров Ю. И. Психофизиологические закономерности научения и методы обучения // Психологический журнал. 2012. Т. 33, № 6. С. 5–19.
2. Кожевников В. В., Полевая С. А., Шишалов И. С., Бахчина А. В. Мобильный HR-измеритель (HR-измеритель). Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ 2014618634 от 26.08.2014.
3. Vandekerckhove J. A cognitive latent variable model for the simultaneous analysis of behavioral and personality data // Journal of Mathematical Psychology. 2014. Vol. 60. P. 58–71. DOI: 10.1016/j.jmp.2014.06.004.
4. Faugeras O., Inglis J. Stochastic neural field equations: a rigorous footing // Journal of Mathematical Biology. 2015. Vol. 71, no. 2. P. 259–300. DOI: 10.1007/s00285-014-0807-6.
5. Kooi B. W. Modelling the dynamics of traits involved in fighting-predators-prey system // Journal of Mathematical Biology. 2015. Vol. 71, no. 6–7. P. 1575–1605. DOI: 10.1007/s00285-015-0869-0.
6. Haazebroek P., van Dantzig S., Hommel B. A computational model of perception and action for cognitive robotics // Cognitive Processing. 2011. Vol. 12, no. 4. P. 355. DOI: 10.1007/s10339-011-0408-x.
7. Geukes S., Gaskell M. G., Zwitserlood P. Stroop effects from newly learned color words: effects of memory consolidation and episodic context // Frontiers in Psychology. 2015. Vol. 6. P. 278. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.00278.
8. Полевая С. А., Еремин Е. В., Буланов Н. А., Бахчина А. В., Ковальчук А. В., Парин С. Б. Событийно-связанная телеметрия ритма сердца для персонализированного дистанционного мониторинга когнитивных функций и стресса в условиях естественной деятельности // Современные технологии в медицине. 2019. Т. 11, № 1. С. 109–115. DOI: 10.17691/stm2019.11.1.13.
9. Almeria M., Cejudo J. C., Sotoca J., Deus J., Krupinski J. Cognitive profile following COVID-19 infection: Clinical predictors leading to neuropsychological impairment // Brain, Behavior, & Immunity – Health. 2020. Vol. 9. P. 100163. DOI: 10.1016/j.bbih.2020.100163.
10. Анохин К. В. Генные зонды для картирования нервных сетей при обучении // Принципы и механизмы деятельности мозга человека. Л.: Наука, 1989. С. 191–192.
11. Petukhov A. Y., Polevaya S. A., Yakhno V. G. The theory of information images: Modeling based on diffusion equations // International Journal of Biomathematics. 2016. Vol. 9, no. 6. P. 1650087. DOI: 10.1142/S179352451650087X.
12. Petukhov A. Y., Polevaya S. A. Modeling of communicative individual interactions through the theory of information images // Current Psychology. 2017. Vol. 36, no. 3. P. 428–433. DOI: 10.1007/s12144-016-9431-5.
13. Petukhov A. Y., Polevaya S. A. Modeling of cognitive brain activity through the information images theory in terms of the bilingual Stroop test // International Journal of Biomathematics. 2017. Vol. 10, no. 7. P. 1750092. DOI: 10.1142/S1793524517500929.
14. Petukhov A. Y., Polevaya S. A., Polevaya A. V. Experimental diagnostics of the emotional state of individuals using external stimuli and a model of neurocognitive brain activity // Diagnostics. 2022. Vol. 12, no. 1. P. 125. DOI: 10.3390/diagnostics12010125.

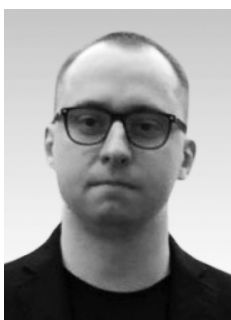
15. *Friston K. J., Price C. J.* Dynamic representations and generative models of brain function // *Brain Research Bulletin*. 2001. Vol. 54, no. 3. P. 275–285. DOI: 10.1016/S0361-9230(00)00436-6.
16. *Güçlü U., van Gerven M. A. J.* Modeling the dynamics of human brain activity with recurrent neural networks // *Frontiers in Computational Neuroscience*. 2017. Vol. 11. P. 7. DOI: 10.3389/fncom.2017.00007.
17. *Herweg N. A., Kahana M. J.* Spatial representations in the human brain // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2018. Vol. 12. P. 297. DOI: 10.3389/fnhum.2018.00297.

References

1. Alexandrov YI. Psychophysiological regularities of learning and methods of training. *Psychological Journal*. 2012;33(6):5–19 (in Russian).
2. Kozhevnikov VV, Polevaya SA, Shishalov IS, Bakhchina AV. Mobile HR-Meter (HR-Meter). Certificate of State Registration of Computer Programs 2014618634 dated 26.08.2014 (in Russian).
3. Vandekerckhove J. A cognitive latent variable model for the simultaneous analysis of behavioral and personality data. *Journal of Mathematical Psychology*. 2014;60:58–71. DOI: 10.1016/j.jmp.2014.06.004.
4. Faugeras O, Inglis J. Stochastic neural field equations: a rigorous footing. *Journal of Mathematical Biology*. 2015;71(2):259–300. DOI: 10.1007/s00285-014-0807-6.
5. Kooi BW. Modelling the dynamics of traits involved in fighting-predators-prey system. *Journal of Mathematical Biology*. 2015;71(6–7):1575–1605. DOI: 10.1007/s00285-015-0869-0.
6. Haazebroek P, van Dantzig S, Hommel B. A computational model of perception and action for cognitive robotics. *Cognitive Processing*. 2011;12(4):355. DOI: 10.1007/s10339-011-0408-x.
7. Geukes S, Gaskell MG, Zwitserlood P. Stroop effects from newly learned color words: effects of memory consolidation and episodic context. *Frontiers in Psychology*. 2015;6:278. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.00278.
8. Polevaya SA, Eremin EV, Bulanov NA, Bakhchina AV, Kovalchuk AV, Parin SB. Event-related telemetry of heart rate for personalized remote monitoring of cognitive functions and stress under conditions of everyday activity. *Modern Technologies in Medicine*. 2019;11(1):109–115. DOI: 10.17691/stm2019.11.1.13.
9. Almeria M, Cejudo JC, Sotoca J, Deus J, Krupinski J. Cognitive profile following COVID-19 infection: Clinical predictors leading to neuropsychological impairment. *Brain, Behavior, & Immunity – Health*. 2020;9:100163. DOI: 10.1016/j.bbih.2020.100163.
10. Anokhin KV. The genetic probes for mapping the neural network during training // In: *The Principles and Mechanisms of the Human Brain*. Leningrad: Nauka; 1989. P. 191–192 (in Russian).
11. Petukhov AY, Polevaya SA, Yakhno VG. The theory of information images: Modeling based on diffusion equations. *International Journal of Biomathematics*. 2016;9(6):1650087. DOI: 10.1142/S179352451650087X.
12. Petukhov AY, Polevaya SA. Modeling of communicative individual interactions through the theory of information images. *Current Psychology*. 2017;36(3):428–433. DOI: 10.1007/s12144-016-9431-5.
13. Petukhov AY, Polevaya SA. Modeling of cognitive brain activity through the information images theory in terms of the bilingual Stroop test. *International Journal of Biomathematics*. 2017;10(7):1750092. DOI: 10.1142/S1793524517500929.
14. Petukhov AY, Polevaya SA, Polevaya AV. Experimental diagnostics of the emotional state of individuals using external stimuli and a model of neurocognitive brain activity. *Diagnostics*. 2022;12(1):125. DOI: 10.3390/diagnostics12010125.

15. Friston KJ, Price CJ. Dynamic representations and generative models of brain function. *Brain Research Bulletin*. 2001;54(3):275–285. DOI: 10.1016/S0361-9230(00)00436-6.
16. Güçlü U, van Gerven MAJ. Modeling the dynamics of human brain activity with recurrent neural networks. *Frontiers in Computational Neuroscience*. 2017;11:7. DOI: 10.3389/fncom.2017.00007.
17. Herweg NA, Kahana MJ. Spatial representations in the human brain. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2018;12:297. DOI: 10.3389/fnhum.2018.00297.

Петухов Александр Юрьевич — родился в Горьком (1987). Окончил радиофизический факультет Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского (2009). Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата политических наук в ННГУ в области моделирования процессов манипуляции сознанием в обществе (2011). В 2015 году принял обязанности руководителя научно-исследовательской лаборатории «Моделирования социальных и политических процессов», также работает в ННГУ на должности доцента. В 2016 году получил звание доцента. С февраля 2020 года – сотрудник Института прикладной математики имени М. В. Келдыша РАН. С декабря 2020 года — руководитель лаборатории в МГУ имени М. В. Ломоносова. Автор монографии на тему моделирования социальных и политических процессов. Опубликовал более 80 статей в рецензируемых научных изданиях.



Россия, 125047 Москва, Миусская площадь, 4
 Институт прикладной математики имени М. В. Келдыша РАН
 Россия, 119991 Москва, Ленинские горы, 1
 Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
 E-mail: Lectort@yandex.ru
 ORCID: 0000-0002-7412-5397
 AuthorID (eLibrary.Ru): 623135

Полевая Софья Александровна — родилась в Горьком (1964), окончила биологический факультет Горьковского государственного университета (1986). Защитила диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук (ННГУ, 1997) и доктора биологических наук (ИТЭБ, 2009). Автор более 300 научных публикаций и 10 патентов РФ. В настоящее время заведует кафедрой психофизиологии Нижегородского государственного университета. Научные интересы: физика когнитивных систем, алгоритмы кодирования и распознавания сенсорной информации, динамика функциональных состояний, разработка информационных технологий для персонализированной диагностики и оптимизаций когнитивного потенциала и адаптационных процессов.



Россия, 603022 Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23
 Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского
 E-mail: s453383@mail.ru
 ORCID: 0000-0002-3896-787X
 AuthorID (eLibrary.Ru): 77263