

Научная статья  
Статья в открытом доступе  
УДК 331.101.1  
doi:10.30987/2658-4026-2022-1-66-71

## Оценка возможности прогноза эффективности освоения интерфейсов человек-компьютер на основе предварительного психологического тестирования операторов

Ярослав Александрович Туровский<sup>1</sup>, Валерия Андреевна Тищенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН

<sup>2</sup> - Центр культуры здоровья «Олимп-5», г. Воронеж

<sup>1</sup> yaroslav\_turovsk@mail.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-5290-885X>

<sup>2</sup> va-le-ri86@yandex.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-1243-6042>

**Аннотация.** Целью поисковой работы стояло выявление связи успешности работы операторов управляющих различными интерфейсами человек-компьютер, с индивидуальными особенностями операторов установленными на основе психологического тестирования. В ходе исследования был определен ряд шкал в существующих тестовых методиках, связанный с успешностью управления тем или иным интерфейсом. Оценена возможность различных методов машинного обучения для построения регрессионных моделей связывающих психологические шкалы и результат деятельности оператора.

**Ключевые слова:** интерфейс мозг-компьютер, окулографический интерфейс, электромиографический интерфейс, психодиагностика операторов

**Финансирование:** Работа поддержана грантом РФФИ № 19-07-01037 а.

**Для цитирования:** Туровский Я. А., Тищенко В. А. Оценка возможности прогноза эффективности освоения интерфейсов человек-компьютер на основе предварительного психологического тестирования операторов // Эргодизайн. 2022, №1 (15). С. 66-71. doi:10.30987/2658-4026-2022-1-66-71.

Original article  
Open Access Article

## Evaluating the possibility of forecasting the efficiency of mastering human-computer interfaces on the basis of operators' preliminary psychological testing

Yaroslav A. Turovsky<sup>1</sup>, Valeria A. Tishchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Institute of Management Problems named after V.A. Trapeznikov of the Russian Academy of Sciences Russia

<sup>2</sup>Olymp-5 Health Culture Center, Voronezh

<sup>1</sup> yaroslav\_turovsk@mail.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-5290-885X>

<sup>2</sup> va-le-ri86@yandex.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-1243-6042>

**Abstract.** The aim of the search work was to identify the relationship between the successes of operators managing various human-computer interfaces, with the individual characteristics of operators established on the basis of psychological testing. In the course of the study, a number of scales were identified in existing test methods associated with the success of managing a particular interface. The possibility of various machine learning methods for constructing regression models linking psychological scales and the result of the operator's activity was evaluated.

**Keywords:** brain-computer interface, oculographic interface, electromyographic interface, operators' psychodiagnostics

**Financing:** The work was supported by RFBR grant No. 19-07-01037 а.

**For citation:** Turovsky Ya. A., Tishchenko V. A. Evaluating the Possibility of Forecasting the Efficiency of Mastering Human-computer Interfaces on the Basis of Operators' Preliminary Psychological Testing. *Ergodizayn* [Ergodesign], 2022, no. 1 (15). pp. 66-71. doi:10.30987/2658-4026-2022-1-66-71.

### Введение

Современный этап развития эргатических систем, требует совершенствование подходов к подготовке операторов. Одним из таких ме-

ханизмов совершенствования является осуществление отбора операторов, обладающих теми или иными свойствами, необходимыми для успешного управления данной системой.

В последние два десятка лет развитие ИТ

решений позволило создать новый класс устройств, связанных с генерацией управляющих сигналов не по классическому механизму, связанному с активностью верхних конечностей, а с использованием альтернативных каналов коммуникации. К таковым каналам может отнестись активность мышц, особенности моторики пользователя, активность головного мозга, движения глаз и т.д. [1-3]. При этом данные технологии не обеспечивают должный уровень освоения у значительной части операторов, что ставит вопрос о поиске критериев отбора пользователей для управления этими устройствами.

Очевидно, что для разных типов интерфейсов, альтернативных классическим (клавиатуре, джойстику, «мышь») существуют разные подходы отбора операторов. Например, для миографического интерфейса требуется определенная скорость реакции оператора, для нейрокомпьютерного интерфейса большую роль играет способность пользователя генерировать те или иные феномены мозговой активности [4-5], для окулографического интерфейса учитывается особенность управления глазом при тех или иных условиях [6]. Все выше сказанное ставит задачу оценки операторской деятельности, отличающейся от классической, связанной с тем, что, например, при управлении окулографическом интерфейсе глаз человека служит одновременно и органом управления и сенсорным органом, сканирующим окружающее пространство. Т.е. оператор должен таким образом управлять своим глазом, чтобы и видеть окружающее пространство и одновременно генерировать управляющие команды. Это, соответственно, ставит новый тип задач, связанный с оценкой и прогнозом успешности операторской деятельности и базирующийся на значительном заделе в этой области [7-8]. Одним из вариантов решения указанных задач является разработка новых методов психологического тестирования операторов. В то же время существует достаточное количество хорошо себя зарекомендовавших тестовых методик, таких как личностный опросник Айзенка, анкета sf36, тест Элерса, шкала тревожности Спилбергера-Ханина, кор-ректурная проба (Тест Бурдона). Таким образом, целью данного исследования стояло выявление возможности оценки операторов на предмет успешности освоения навыков управления данными устройствами с использованием существующих тестовых методик и предварительная оценка возможности методов машинного обучения применительно к этой задаче.

## 1. Материалы и методы исследования

В качестве интерфейсов человек-компьютер были выбраны следующие технические решения: интерфейс мозг-компьютер (ИМК, НКИ), электромиографический интерфейс (ЭИ), дыхательный интерфейс (ДИ). Испытуемыми были 30 добровольца в возрасте от 19 до 25 лет (16 юношей, 14 девушек), давшие информированное согласие на проведение исследования, не имеющие неврологическую или психиатрическую патологию, не употреблявшие лекарственные препараты, влияющие на активность головного мозга.

*Окулографический интерфейс*, основанный на видеорегистрации положения зрачка с использованием оригинального программно-аппаратного решения, показал высокую точность работы и, таким образом, дисперсия показателей его пользователей в аспекте освоения была не велика.

*Дыхательный интерфейс*. В ходе работы с дыхательным интерфейсом испытуемый должен был в эксперименте А, изменяя скорость и объем выдоха, добиваться изменения положения по оси Y курсора, перемещающегося в течении 8 секунд от левого края экрана к правому. В правой области экрана располагалось 6 блоков букв. При совмещении курсора с соответствующим блоком осуществлялся первый уровень выбора требуемого символа. Буквы выбранного блока после этого выбора формировали новый ряд из 6 блоков, каждый из которых содержал теперь только одну букву. Перемещение курсора начиналось заново, что, в итоге, обеспечивало выбор конкретного символа из представленных.

В эксперименте Б круговое поле графического интерфейса было разбито на 6 секторов, каждый из которых был активен в течение 2 секунд, о чём пользователь информировался изменением цвета соответствующего сектора. Для выбора необходимого сектора пользователю требовалось совершить интенсивный выдох. В том случае, если звуковое давление на мембрану микрофона превышало порог, считалось, что пользователь выбрал именно этот сектор. Символы, находившиеся в нем, автоматически перемещались на другие, предварительно очищенные сектора. Таким образом, для выбора символа, как и в предыдущем случае, необходимо было два раза подряд правильно выбрать тот или иной блок.

*Электромиографический интерфейс* использовал в качестве аппаратной части электроэнцефалограф «Нейрон-Спектр-4 ВП» производства ООО «Нейрософт». Электроды рас-

полагались в проекции плечелучевой мышцы на 7-10 см дистальнее латерального мыщелка плечевой кости. Межэлектродное расстояние составляло 4-5 см. Полиграфические каналы прибора обеспечивали регистрацию ЭМГ с частотой до 40кГц, которая потом программно снижалась до 500 Гц. Дизайн графического интерфейса полностью соответствовал дизайну графического интерфейса для эксперимента серии Б. Испытуемый должен был напрягать мышцы предплечья в случае, если подсвеченный сектор на графическом интерфейсе соответствовал блоку букв или букве который необходимо было выбрать.

*Нейро-компьютерный (мозг-компьютер) интерфейс* являлся синхронным и независимым и основывался на детекции устойчивых зрительных вызванных потенциалов (SSVEP). Регистрация ЭЭГ осуществлялась «Нейрон-Спектр-4 ВП» производства ООО «Нейрософт» со включенным режекторным фильтром и выключенными фильтрами высоких и низких частот. Фотостимуляция осуществлялась шестью диодами белого цвета (0,5 Вт), расположенными на специальной рамке по краям монитора. Частота стимуляции составляла 9.009, 10.10, 11.11, 12.19, 13.33, 14.49 Гц. Регистрация ЭЭГ активности осуществлялась электродами в позициях O1, O2, Oz, P3, P4, Pz, референтным электродом служил объединённый ушной электрод. Логика изменения графического интерфейса соответствовала таковой для окулографических исследований.

Точность работы всех интерфейсов определялась как число правильно выбранных блоков, содержащих необходимый символ, заданный испытуемому.

Было проведено тестирование участников исследования по следующим методикам: личностный опросник Айзенка, анкета sf36, шкала тревожности Спилбергера-Ханина, корректурная проба (Тест Бурдона).

Личностный опросник Ганса Айзенка направлен на выявление типа темперамента личности на основании степени выраженности личностных свойств: экстраверсия — интроверсия, психотизм, нейротизм. анкета sf36 — неспецифический опросник для оценки качества жизни испытуемого. Опросник позволяет оценить степень удовлетворенности теми сторонами жизни, на которые влияет состояние здоровья. Диагностика Спилбергера-Ханина позволяет дифференцировано измерять тревожность и как личностное свойство и как состояние, связанное с текущей ситуацией. Корректурная проба (Тест Бурдона) — метод патопсихологического исследования, направ-

ленный на оценку устойчивости и концентрации внимания, а так же выявление утомляемости. Во время исследования применялся специально разработанный бланк с рядами букв, расположенных в произвольном порядке. Диагностика проводилась с отметкой промежуточного результата каждые 60 секунд. Так же был применен тест Элерса на мотивацию к успеху.

Для статистической обработки, с целью выявления связи между указанной батареей тестов и результатов работы оператора с исследуемыми интерфейсами, использовались следующие методы: корреляционный анализ по Спирмэну [9 - 10], факторный анализ, искусственные нейронные сети с возрастающими функциями активации скрытого слоя и с радикальными базисными функциями, метод случайного леса, метод опорных векторов.

## 2. Результаты и обсуждение

Результаты тестирования испытуемых представлены в табл.1.

На основании корреляционного анализа выявлена обратная корреляция между числом выполненных заданий при использовании окулографического интерфейса и уровнем личной тревожности ( $p < 0.05$ ). Для других видов интерфейсов такой закономерности не было установлено. Это может говорить о том, что высокие показатели тревожности приводят к особенностям движения глаз, не связанным как с оценкой окружающей обстановки, так и с генерацией новых команд управления. В результате, «трек» окулограммы оказывается более зашумлённым, что сказывается на работе интерфейса. Так же обратная корреляция выявлена между количеством выполненных заданий для окулографического интерфейса и показателями устойчивости и концентрации внимания полученной на основе корректурной пробы Бурдона ( $p < 0.05$ ). В этом случае можно предположить наличие иного механизма: высокая концентрация внимания снижает скорость движения зрачка, что приводит к более медленной реакции пользователя, а это в свою очередь негативно сказывается на работе интерфейса. Для теста Бурдона установлено, что чем больше испытуемый совершает ошибок на первой минуте тестирования (соответственно, чем ниже концентрация и устойчивость внимания), тем меньше точность попаданий. При этом, между устойчивостью внимания на второй минуте тестирования и способностью испытуемого переключаться между задачами в управлении интерфейса прослеживается

прямая корреляция ( $p < 0.05$ ). По отношению к остальным видам интерфейсов такие законо-

мерности не выявлены.

Таблица 1

Описательная статистика тестирования операторов исследуемых интерфейсов и результатов их работы  
( $M \pm m$ , Me; Q25; Q75, Минимум, Максимум)

Table 1

*Descriptive statistics of testing the interfaces' operators under study and the results of their work  
( $M \pm m$ , Me; Q25; Q75, Minimum, Maximum)*

Показатели	Mean
Шкала экстраверсии по Айзенку	11,1±0,6; 11; 9; 13; 4; 17
Шкала нейротизма по Айзенку	10,9±0,6; 10; 8; 12; 5; 20
'1 минута корректурная проба Бурдона	7,3±0,1; 7; 7; 8; 5; 9
'2 минута корректурная проба Бурдона	8,2±0,1; 8; 8; 9; 7; 10
'3 минута корректурная проба Бурдона	8,7±0,1; 9; 8; 9; 7; 10
'4 минута корректурная проба Бурдона	9,1±0,1; 9; 9; 10; 7; 10
'5 минута корректурная проба Бурдона	9,4±0,1; 10; 9; 10; 8; 10
Ситуативная тревожность при работе с интерфейсом МИО	35,1±1,2; 35; 30; 39; 22; 58
Ситуативная тревожность при работе с интерфейсом 2 Дыхание	35±1,2; 34; 31; 40; 21; 48
Ситуативная тревожность при работе с интерфейсом 3 Нейро	35,2±1,3; 35,5; 30; 38; 24; 55
Ситуативная тревожность при работе с интерфейсом 4 Окуло	34,4±9; 34,5; 32; 37; 20; 43
Уровень личностной тревожности по Спилбергу	44±1; 43; 40; 47; 34; 60
Мотивация к успеху по Элерсу	15,3±0,7; 15; 13; 17; 7; 27
Избегание неудач по Элерсу	15,6±0,6; 16; 14; 18; 8; 22
PF - (PhysicalFunctioning) физическое функционирование по опроснику sf-36	95,3±1,1; 97,5; 95; 100; 75; 100
RP - (Role-PhysicalFunctioning) Рольное функционирование, обусловленное физическим состоянием по опроснику sf-36	85±4,4; 100; 75; 100; 0; 100
BP - (Bodilypain) Интенсивность боли по опроснику sf-36	82,1±3; 84; 72; 100; 42; 100
GH - (GeneralHealth) Общее состояние здоровья по опроснику sf-36	67,6±3,2; 69,5; 57; 77; 20; 100
PH - (Physicalhealth) физический компонент (PF+RP+BP+GH) по опроснику sf-36	54,1±1,1; 55,7; 49,1; 58,7; 38,3; 63,8
VT- (Vitality) Жизненная активность по опроснику sf-36	55,8±3,7; 60; 40; 70; 20; 100
SF - (SocialFunctioning) Социальное функционирование по опроснику sf-36	84,9±3,4; 87,5; 75; 100; 22; 100
RE - (Role-Emotional) Рольное функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием по опроснику sf-36	70±5,1; 66,6; 66,6; 100; 0; 100
MH - (MentalHealth) Психическое здоровье по опроснику sf-36	67,4±2,6; 70; 56; 76; 32; 92
MH2 — (MentalHealth) психологический компонент здоровья (MH+RE+SF+VT) по опроснику sf-36	44,5±1,7; 46,4; 38,3; 51,3; 22,7; 59,4
Число правильно выполненных заданий из 20 для представленных интерфейсов	
Нейроинтерфейс	4,6±0,7; 2,5; 1; 8; 0; 16
Миоинтерфейс	13,5±0,8; 13; 11; 18; 3; 20
Дыхательный интерфейс тип А	12,5±0,8; 13; 10; 16; 2; 20
Дыхательный интерфейс тип Б	18,6±0,4; 20; 18; 20; 10; 20
Окулографический интерфейс	17,1±0,7; 18; 16; 20; 0; 20

По итогам факторного анализа было выявлено, что общий итог точности работы с миоинтерфейсом коррелирует со шкалами: RE - (Role-Emotional) Рольное функционирова-

ние, обусловленное эмоциональным состоянием и MH2 — (MentalHealth) психологический компонент здоровья (MH+RE+SF+VT) по опроснику sf-36. Из чего следует, что чем боль-

ше у испытуемого ограничена повседневная деятельность его физическим состоянием и ниже показатели общего психологического здоровья, тем хуже освоение интерфейса. При этом, опять же, с точностью работы оператора с использованием остальных интерфейсов корреляции установить не удалось.

При использовании методов машинного обучения, для построения регрессионной зависимости следует обратить внимание на то, что вариационный размах и показатели точности работы операторов сильно отличаются

для разных устройств (Таб. 1). В свете этого была осуществлена нормировка показателей как отношение среднеквадратического отклонения ошибок регрессии ( $СКО_p$ ) к среднеквадратическому отклонению исходного ряда данных ( $СКО_n$ ). На рис.1 продемонстрированы результаты для многослойного перцептрона. Искусственные нейронной сети на основе радиальных базисных функций показали существенно более худшие результаты (в ряде случаев на порядок), равно как и методы опорных векторов и случайного леса.

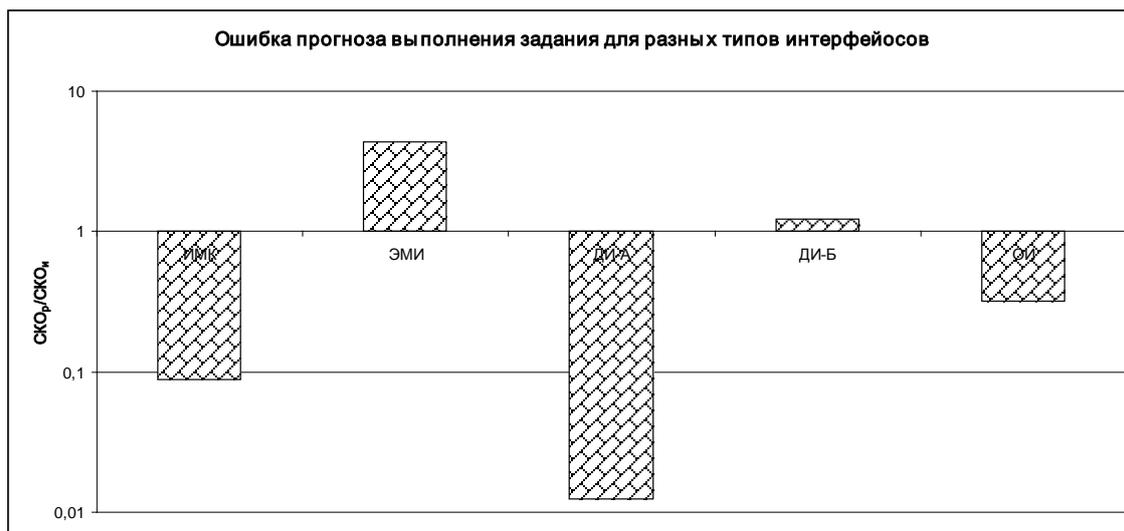


Рис.1. Ошибка прогноза выполнения задания для разных типов интерфейсов

Fig.1. Task execution prediction error for different types of interfaces

### Заключение

В работе показано, что ряд шкал в существующих тестовых методиках коррелируют с успешностью освоения навыков управлением окулографическим и миоинтерфейсом.

Для окулографического интерфейса выявлены зависимости между количеством выполненных заданий и шкалами личностной тревожности (шкала тревожности Спилберга-Ханина), устойчивости и концентрации внимания (корректирующая проба). В свою очередь для миоинтерфейса наблюдается зависимость между точностью выполнения задания операторами и шкалами «Ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием», « Психологический компонент здоровья» (опросник sf-36). В то же время не смотря на достоверность корреляций, сами коэф-

фициенты корреляции относительно не велики (диапазон корреляции составил от 0,51 до 0,39 по модулю), что не позволяет рассматривать данные шкалы в качестве прогностически-значимых. С другой стороны, методы машинного обучения показали возможность выстраивания корректной регрессионной модели в первую очередь для дыхательных интерфейсов типа А и интерфейсов мозг-компьютер. В то же время как для электромиографических интерфейсов показатели точности регрессионной модели были наихудшими. Таким образом, перспективным представляется возможность дальнейшего изучения психологического профиля операторов интерфейса мозг — компьютер, окулографического, дыхательного и миографического интерфейсов на основе конструирования опросных шкал с использованием нейросетевых моделей.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Parini S. [et al.] A robust and self-paced BCI system based on a four class SSVEP paradigm: algorithms and protocols for a high-transfer-rate direct brain communication // Computational Intelligence and Neuroscience. 2009. 11 p.

### REFERENCES

1. Parini S. [et al.] A robust and Self-Paced BCI System Based on a Four Class SSVEP Paradigm: Algorithms and Protocols for a High-Transfer-Rate Direct Brain Communication. Computational Intelligence and Neuroscience, 2009. 11 p. DOI:

DOI:10.1155/2009/864564.

2. **Zhu D. [et al.]** A Survey of Stimulation Methods Used in SSVEP-Based BCIs // Hindawi Publishing Corporation // Computational Intelligence and Neuroscience, 2010. DOI:10.1155/2010/702357/

3. **Amiri S., Fazel-Rezai R., Asadpour V.** A Review of Hybrid Brain-Computer Interface Systems // Advances in Human-Computer Interaction, 2013. Article ID 187024 . P. 1–8. DOI:10.1155/2013/187024.

4. **Wolpaw J. R. [et al.]** Brain-computer interfaces for communication and control // Clinical Neurophysiol. 2002. V. 113. P. 767–791. DOI:10.1145/1296843.1296845.

5. **Garcia, G.** High frequency SSVEPs for BCI applications // Computer-Human Interaction, April 2008. – Florence, Italy, 2008.

6. **Славущая, М. В., Моисеева В.В., Шульговский В.В.** Внимание и движения глаз. Строение глазодвигательной системы, феноменология и программирование саккады // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 2008. Т. 58, № 1. С. 28–45.

7. **Благинин, А. А., Синельников С.Н., Благинин А.А.** Особенности оценки функционального состояния у операторов с учетом индивидуальных психологических характеристик // Физиология человека. 2017. Т. 43, № 1. С. 11–17. DOI: 10.7868/S0131164616060035.

8. **Бодров В. А., Орлов В. Я.** Психология и надежность: человек в системах управления техникой. М., 1998. 176 с. ISBN 5-201-02230-8.

9. **Гланц, С.** Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1998. 459 с. ISBN 5-89816-009-4.

10. **Рунион, Р.** Справочник по непараметрической статистике. Современный подход. М.: Финансы и статистика, 1982. 198 с.

10.1155/2009/864564.

2. **Zhu D. [et al.]** A Survey of Stimulation Methods Used in SSVEP-Based BCIs. Hindawi Publishing Corporation. Computational Intelligence and Neuroscience, 2010. DOI: 10.1155/2010/702357.

3. **Amiri S., Fazel-Rezai R., Asadpour V.** A Review of Hybrid Brain-Computer Interface Systems. Advances in Human-Computer Interaction, 2013. Article ID 187024, pp. 1-8. DOI: 10.1155/2013/187024.

4. **Wolpaw J. R. [et al.]** Brain-Computer Interfaces for Communication and Control. Clinical Neurophysiol, 2002, vol. 113, pp. 767-791. DOI: 10.1145/1296843.1296845.

5. **Garcia G.** High Frequency SSVEPs for BCI Applications. Computer-Human Interaction, April 2008. Florence, Italy, 2008.

6. **Slavutskaya M.V., Moiseeva V.V., Shulgovsky V.V.** Attention and Eye Movements. Structure of the Oculomotor System, Phenomenology and Saccade Programming. Zhurnal vysshei nervnoi deiatelnosti imeni I.P. Pavlova [Journal of Higher Nervous Activity named after I.P. Pavlov], 2008, vol. 58, no. 1, pp. 28-45.

7. **Blaginin A.A., Sinelnikov S.N., Blaginin A.A.** Evaluation of the Functional State of Operators with Allowance for Individual Psychological Characteristics. Fiziologiya cheloveka [Human Physiology], 2017, vol. 43, no. 1, pp. 11-17. DOI: 10.7868/S0131164616060035.

8. **Bodrov V.A., Orlov V.Ya.** Psychology and Reliability: Man in Control Systems of Technique. Moscow, 1998. 176 p. ISBN 5-201-02230-8.

9. **Glantz S.** Biomedical Statistics. Moscow: Praktika, 1998. 459 p. ISBN 5-89816-009-4.

10. **Runion R.** Handbook of Non-Parametric Statistics. Modern Approach. Moscow: Finansy i statistika, 1982. 198 p.

#### Информация об авторах:

##### **Ярослав Александрович Туровский**

доктор технических наук, кандидат медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник института проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН. Scopus Author ID 56136046200; WOS Research ID (AAQ-1746-2020); ID РИНЦ 6903-1375

##### **Валерия Андреевна Тищенко**

частный практикующий психолог. Тел.:89515446844.

#### Information about the authors:

##### **Ya. A. Turovsky**

Doctor of Technical Sciences, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Institute of Management Problems named after V.A. Trapeznikov the Russian Academy of Sciences. Scopus Author ID 56136046200; WOS Research ID (AAQ-1746-2020); ID РИНЦ 6903-1375

##### **V. A. Tishchenko**

private practicing psychologist. Ph.:89515446844.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 15.02.2022; одобрена после рецензирования 18.02.2022;**

**принята к публикации 22.02.2022.**

**The article was submitted 04.02.2022; approved after reviewing 08.02.2022; accepted for publication 11.02.2022.**

**Рецензент - Спасеников В.В., д.п.с.н., профессор Брянского государственного технического университета, главный редактор журнала «Эргодизайн».**

**Reviewer – Spasennikov V.V., Doctor of Psychological Sciences, Professor of Bryansk State Technical University, Editor-in-Chief of the journal “Ergodesign”.**