

Оценка информационно-управляющего поля кабины пилотов с использованием нейронных сетей и методов

*Махортов И.А. **

Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация
Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем (ФАУ ГосНИИАС), г. Москва, Российская Федерация
e-mail: iamahortov@2100.gosniias.ru

*Грешников И.И. ***

Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем (ФАУ ГосНИИАС), г. Москва, Российская Федерация
Московский государственный психолого-педагогический университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5474-3094>
e-mail: iigreshnikov@2100.gosniias.ru

В работе рассматривается методика оценки ИУП кабины пилотов с использованием показателей глазодвигательной активности и вероятностной нейронной сети, при помощи которой вычисляется итоговая оценка рассматриваемого варианта индикации. Данная методика была апробирована на базе универсального стенда прототипирования с участием лётных экспертов. Применение данной методики способствует быстрому и качественному проведению эргономической оценки ИУП кабины пилотов, что в свою очередь повышает эффективность человеко-машинного взаимодействия и как следствие безопасность авиаперевозок.

Ключевые слова: эргономическая оценка, глазодвигательная активность, информационно-управляющее поле, вероятностная нейронная сеть.

**Махортов Иннокентий Александрович*, студент, Московский государственный психолого-педагогического университет (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация; инженер, Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем (ФАУ ГосНИИАС), г. Москва, Российская Федерация, e-mail: iamahortov@2100.gosniias.ru

***Грешников Иван Игоревич*, кандидат технических наук, начальник сектора, Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем (ФАУ ГосНИИАС), г. Москва, Российская Федерация; аспирант МГППУ (ФГБОУ ВО МГППУ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5474-3094>, e-mail: iigreshnikov@2100.gosniias.ru



Благодарности. Авторы благодарят за научно-технические консультации Л.С. Куравского.

Для цитаты:

Махортов И.А., Грешников И.И. Оценка информационно-управляющего поля кабины пилотов с использованием нейронных сетей и методов // Моделирование и анализ данных. 2023. Том 13. № 3. С. 28–38. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2023130302>

1. ВВЕДЕНИЕ

Целью оценки информационно-управляющего поля (ИУП) кабины пилотов является оптимизация ИУП и как следствие снижение нагрузки на экипаж, что служит залогом снижения числа лётных происшествий, основной причиной которых по-прежнему является человеческий фактор. Рассматриваемый в данной публикации подход основывается на использовании первичных показателей ГДА, фиксируемых в процессе проведения лётных экспериментов с помощью айтрекера, и последующем сравнении данных показателей, относящихся к различным оцениваемым вариантам индикации с помощью вероятностной нейронной сети. Основное преимущество данной оценки – это получение быстрого и обоснованного результата с использованием такого объективного средства контроля, как айтрекинг.

Учитывая колоссальный объём данных, который вынужден обрабатывать пилот при взаимодействии с ИУП современных ВС, задача оптимизации ИУП кабины пилотов является актуальной. ИУП с высокими эргономическими показателями позволяет минимизировать информационную загруженность и улучшить ситуационную осведомленность пилота [1], [2].

Летные происшествия, обусловленные потерей управляемости в полете, чаще остальных являются фатальными по последствиям ([3], [4]). В [5] сказано, что с 2001 по 2011 год летные происшествия, связанные с этими инцидентами, были главной причиной катастроф в гражданской авиации. С этой категорией происшествий связано такое понятие как попадание в сложное пространственное положение (СПП). Корректные действия пилота определяют, разовьется СПП в катастрофическую ситуацию (в частности, аэродинамическое сваливание) или же удастся вернуться к запланированным параметрам полета.

Целью данной работы является разработка системы быстрой оценки на основе видеоокулографии, обеспечивающей выбор наилучшего варианта индикации из рассматриваемых, и решение конкретной прикладной задачи по определению кадра пилотажной индикации оптимального для вывода из СПП. Для этого необходимо решить задачи по разработке соответствующего математического аппарата и программного обеспечения, после чего провести серию лётных экспериментов на специальном пилотажном стенде и с использованием предлагаемой системы оценки определить лучший вариант индикации из рассматриваемых.



2. МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕГО ПОЛЯ КАБИНЫ ПИЛОТОВ

Методика экспресс-оценки ИУП кабины пилотов базируется на анализе первичных показателей ГДА давно известных и описанных в экспериментальной психологии [6].

Авторами статьи была проведена оценка уровня корреляционных связей между показателями ГДА. С помощью метода главных компонент, были выделены три основных компонента, объясняющих 86,5 % суммарной наблюдаемой дисперсии. Для упрощения вычислений и в целях наибольшей наглядности при интерпретации результатов эргономической оценки, для каждого компонента были найдены наиболее близкие (коллинеарные) показатели ГДА, которые в контексте решаемой задачи являются критериями оценки эффективности считывания информации с индикаторов (см. Таблица 1):

Таблица 1

Критерии для оценки эффективности считывания информации с индикаторов

Критерий	Маркером/предиктором чего является	Оцениваемая характеристика пилота
Общая продолжительность фиксации взора	Наличие опыта в решении поставленной задачи, наличие затруднений в переработке получаемой информации, предиктор скорости протекания когнитивных процессов. Дольше рассматриваются зоны, содержащие высокоинформативные объекты или изменяющиеся объекты	Сумма величины, представляющей распределённое время, потраченное на обдумывание ситуации, планирование действий и принятие решений, и времени, необходимого для «технического» считывания информации с индикаторов без обдумывания её содержания и последующих действий. Уменьшение общей продолжительности фиксации свидетельствует о повышении эффективности считывания информации с индикаторов. <u>В целом критерий оценивает продолжительность считывания информации с индикатора и сопутствующие считыванию действия пилота, включая время принятия решений.</u>
Частоты горизонтальных и вертикальных саккад	Маркер уровня нагрузки на память, уровня возбуждения, наличия психиатрических и нейрофизиологических расстройств	Увеличение частоты саккад свидетельствует о повышении эффективности считывания динамически изменяющейся информации с индикаторов. <u>В целом критерий интегрально оценивает интенсивность переходов взора между зонами внимания, характеризующую пространственно-временную динамику переключения внимания между зонами внимания стимулов.</u>
Энтропия распределения пребывания взора в области индикатора	Среднее время распознавания ситуации по зрительному стимулу	Среднее время распознавания ситуации, которое, как экспериментально установлено, прямо пропорционально энтропии распределения пребывания взора в области индикатора. Уменьшение этого показателя свидетельствует о повышении эффективности считывания информации с индикаторов. <u>В целом критерий оценивает продолжительность считывания информации с индикатора с учётом её распределения по зонам внимания и сопутствующие считыванию действия пилота, включая время принятия решений.</u>

Общая оценка ИУП кабины пилотов вычисляется с помощью вероятностной нейронной сети, суть работы которой заключается в классификации образцов на основе оценок их близости к эталонам, принадлежащим к различным классам. В контексте задачи под эталонами понимаются оцениваемые варианты индикации и их признаки (первичные показатели ГДА).

Данная сеть не требует обучения в обычном понимании и способна настраиваться по малым выборкам эталонов. Для построения модели требуется обучающий набор данных, и настройка параметров функций активации нейронов внутреннего слоя.

В контексте рассматриваемой задачи сеть состоит из 3-х слоев:

- **Входной слой.** Кол-во компонентов входного сигнала равно количеству параметров класса (в данной задаче – количеству критериев оценки, т.е. трём).
- **Слой эталонов (внутренний слой).** Этот слой состоит из элементов на радиальных базисных функциях. Количество его элементов равно количеству эталонов, которые должны быть сгруппированы по классам. В контексте задачи каждый элемент на радиальных базисных функциях соответствует одному из вариантов индикации. Количество классов равно двум – «хорошая индикация» и «плохая индикация», причём принадлежность каждого варианта индикации к одному из этих классов определяется с помощью экспертных оценок.
- **Выходной слой,** построенный по схеме «Один-из-N» (в данной задаче N=2). В этом слое суммируются полученные значения из внутреннего слоя. Каждому классу соответствует один выходной элемент. Каждый такой элемент соединен со всеми радиальными элементами, относящимися к его классу, со всеми остальными радиальными элементами соединение отсутствует. Таким образом, выходной элемент просто складывает отклики всех элементов, принадлежащих к его классу. Значения выходных сигналов интерпретируются как пропорциональные оценкам вероятности принадлежности соответствующим классам. После нормировки получаются окончательные оценки вероятностей принадлежности к заданным классам.

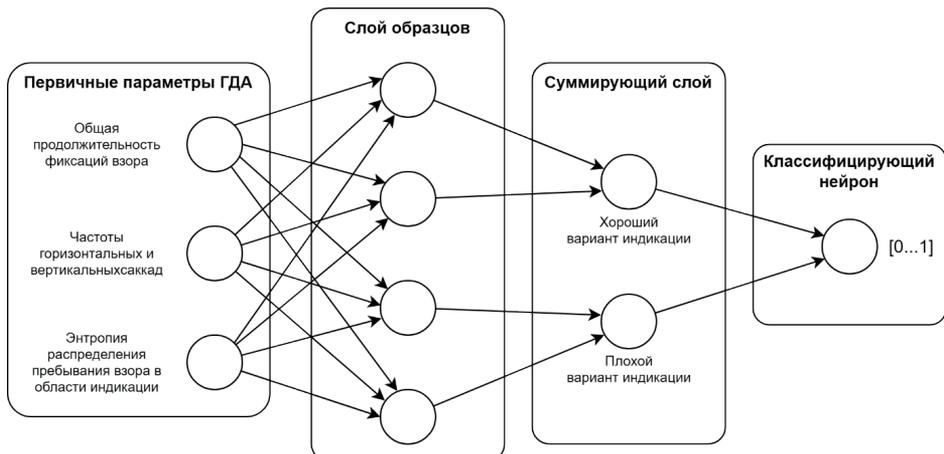


Рис 1. Модель вероятностной нейронной сети для получения итоговой оценки



В качестве функции активации эталонов внутреннего слоя используется функция Гаусса:

$$O_j = \exp\left(\frac{-\sum(w_{ij} - x_i)^2}{\sigma^2}\right),$$

где x обозначает сигнал с входящего синапса, σ задает «ширину» функции, причем для каждого элемента на радиальных базисных функциях можно задать свое значение для получения наиболее достоверного результата.

Общая оценка представляет из себя вещественное значение в диапазоне от 0 до 1, где в качестве нуля принимается наихудший вариант индикации, а в качестве единицы – наилучший.

3. АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ИУП

Программный модуль экспресс-оценки ИУП является составной частью комплекса эргономических оценок [7], [8]. Процесс получения показателей ГДА и других данных с использованием данного комплекса подробно рассмотрен в соответствующей публикации [9], поэтому в данном разделе будет рассмотрен только процесс обработки уже полученных данных – первичных показателей ГДА.

Итак, рассмотрим архитектуру программной реализации модуля экспресс-оценки ИУП (см. Рисунок 2).

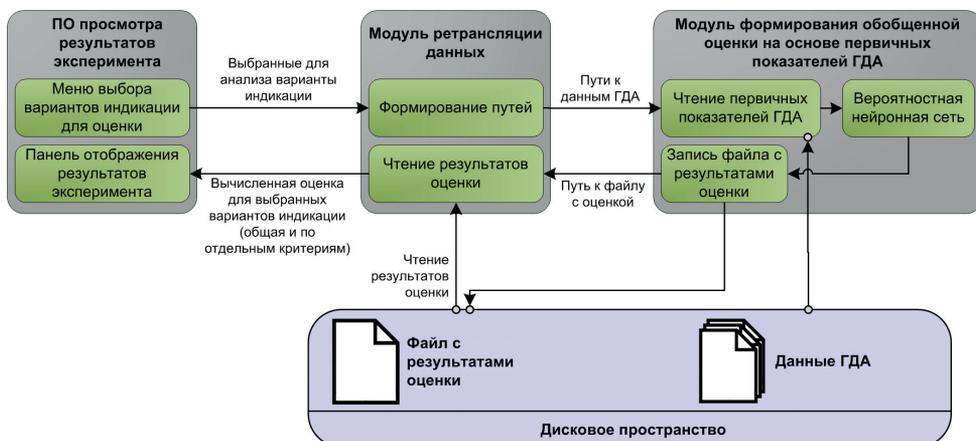


Рис. 2. Архитектура программной реализации модуля экспресс-оценки

С помощью ПО просмотра результатов эксперимента, производится выбор вариантов индикации для оценки. Затем формируются пути к файлам содержащим данные с первичными показатели ГДА для выбранных вариантов индикации и передаются в модуль ретрансляции данных.

Модуль ретранслятор данных запускает приложение формирования обобщенной оценки, которое читает данные об экспериментальной ситуации из файла данных ГДА, на основании которых вычисляются первичные показатели ГДА, которые затем используются при формировании итоговой оценки, с помощью вероятностной нейронной сети. По завершении вычислений, приложение сохраняет в файл оценку по каждому критерию и общую итоговую оценку.

Когда модуль ретранслятор получает сигнал о завершении расчета критериев, он передает путь к данному файлу программе просмотра экспериментов (является частью комплекса эргономических оценок), которая в свою очередь использует эти данные для отображения данных и графиков.

4. ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ СРЕДА

Первичные показатели ГДА фиксировались на пилотажном стенде разработанным в ФАУ «ГосНИИАС» при помощи айтрекера Gazepoint GP3 (см. Рисунок 3). Для проведения эксперимента использовалась модель системы управления и динамики самолёта SSJ100 к которой были подключены оцениваемые кадры пилотажной индикации. Перед проведением экспериментов у пилотов была возможность совершить тестовой полёт с каждым вариантом индикации в течении 25 минут.



Рис. 3. Пилотажный стенд ФАУ «ГосНИИАС»



5. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПО ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПИЛОТАЖНОЙ ИНДИКАЦИИ ДЛЯ ВЫВОДА ИЗ СПП. ИЗ СЛОЖНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ

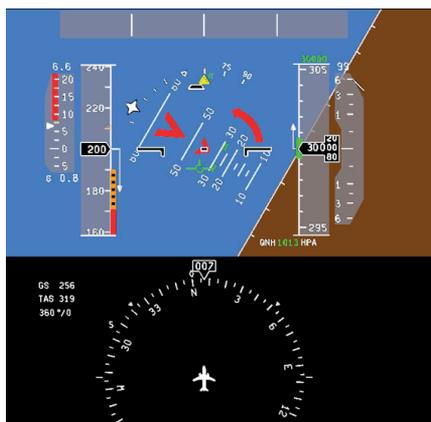
Задача ставится как поиск оптимального варианта пилотажной индикации для вывода из СПП. На основе анализа зарубежного и отечественного опыта, а также на основе консультации с лётными экспертами, авторами были разработаны три варианта индикации для вывода из СПП. Варианты различаются между собой местонахождением и типом шкал и цифробуквенных обозначений, принципом поведения динамических мнемосимволов, наличием слоя синтезированного видения, и т.д. (см. Рисунок 4).



Вариант КПИ 1 (Штатный)



Вариант КПИ 2 (Штатный с синтезированным видением)



Вариант КПИ 3 (Штатный с дополнительными символами)

Рис. 4. Варианты индикации для вывода из СПП

В экспериментах участвовали три опытных пилота (см. Таблица 2).

Таблица 2

Участники экспериментов

№	Рост, см	Возраст, лет	Налёт с различными видами индикации, час
Пилот 1	171	71	12000
Пилот 2	188	41	3500
Пилот 3	183	54	5400

В результате эксперимента были получены результаты, свидетельствующие о превосходстве варианта 2 над другими вариантами (см. Рисунок 5). Полученные данные также согласуются с экспертной оценкой пилотов, сформированной после проведения экспериментов.

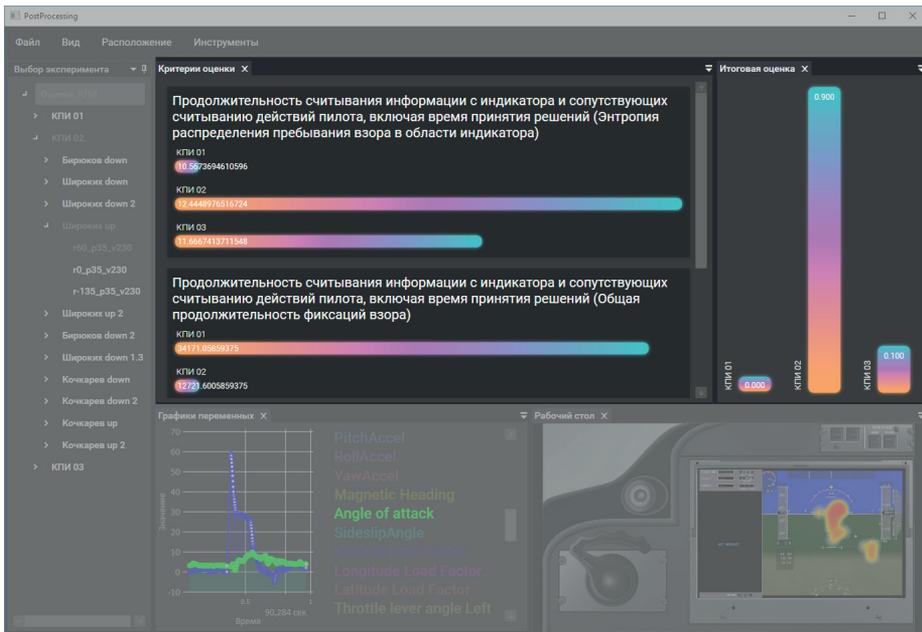


Рис. 5. Результаты проведения оценки

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования были успешно выполнены задачи по разработке математического аппарата для поиска оптимальных вариантов индикации на основе вероятностной нейронной сети и созданию программного обеспечения на его основе. Данное ПО было внедрено в комплекс эргономической оценки ИУП и апробировано при решении задачи поиска оптимального варианта индикации для выхода из СПП.



Применение данного подхода позволяет проводить быструю эргономическую оценку ИУП кабины пилотов, получая результаты с достаточно высокой степенью достоверности, что снижает временные затраты пилотов и другого высококвалифицированного персонала, и определяет высокую практическую значимость работы, поэтому целесообразно продолжать развитие и внедрение систем эргономической оценки, основанных на применении данного подхода.

Литература

1. Грешиников И.И., Златомрежев В.И. Перспективное информационно-управляющее поле кабины, реализующее новые способы информационного обеспечения экипажа и управления информационным полем вс. 5-я Международная конференция «Перспективные направления развития бортового оборудования гражданских воздушных судов», сборник докладов. 2019 г.
2. Грешиников И.И., Златомрежев В.И. Использование передовых технологий для оптимизации информационно-управляющего поля кабины перспективного самолёта. XVIII все-российская научная конференция «нейрокомпьютеры и их применение», тезисы докладов. 2020 г.
3. «IATA» International Air Transport Association, 2019. [В Интернете]. Available: https://www.iata.org/contentassets/b6eb2adc248c484192101edd1ed36015/loc-i_2019.pdf. [Дата обращения: 14 июля 2023].
4. Ахrameев В. Подготовка пилотов по предотвращению и выводу из сложных пространственных положений и сваливания, Москва: Совещание рабочей группы Совета Федерации, 2019.
5. Руководство по подготовке для предотвращения попадания самолета в сложные пространственные положения и вывода из них, Montreal: International Civil Aviation Organisation, 2014.
6. Барабаничиков В.А., Жегалло А.В. Регистрация и анализ направленности зрения человека. – Москва : Институт психологии РАН, 2013. – 316 с. – (Методы психологии). – ISBN 978-5-9270-0278-8. – EDN RVLGBN.
7. Грешиников И.И., Куравский Л.С., Златомрежев В.И., Юрьев Г.А. Патент на изобретение № 2787317. Комплекс проведения эргономических оценок информационно-управляющего поля /Правообладатель ФАУ «ГосНИИАС» (Россия). – Заявка № 2021130113; Заяв. 15.10.2021; Зарегистр. 09.01.2023.–(РОСПАТЕНТ).
8. Грешиников И.И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020663266 «ПО постобработки результатов экспериментов глазодвигательной активности» /Правообладатель ФГУП «ГосНИИАС» (Россия). – Заявка № 2020662389; Заяв. 15.10.2020; Зарегистр. 26.10.2020.–(РОСПАТЕНТ).
9. Грешиников И.И. Разработка архитектуры системы объективных и субъективных оценок информационно-управляющего поля для универсального стенда прототипирования кабины пилотов // Труды ГосНИИАС. Серия: Вопросы авионики. – 2020. – № 5(51). – С. 30–42. – EDN ВСЕJКК.



Assessment of Cockpit Information and Control Field Using Neural Networks and Methods

Innokenty A. Makhortov*

Moscow State University of Psychology and Education (MSUPE), Moscow, Russia
State Research Institute of Aviation Systems (GosNIIAS), Moscow, Russia
e-mail: iamahortov@2100.gosniias.ru

Ivan I. Greshnikov **

State Research Institute of Aviation Systems (GosNIIAS), Moscow, Russia
Moscow State University of Psychology and Education (MSUPE), Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5474-3094>
e-mail: iigreshnikov@2100.gosniias.ru

The paper deals with the methodology of estimating the cockpit information and control field using indicators of oculomotor activity and a probabilistic neural network, which is used to calculate the final estimate of the considered display version. This methodology was tested on the universal prototyping bench basis with the participation of pilots. The using of this methodology contributes to the rapid and qualitative ergonomic assessment of the cockpit information and control field, which in turn increases the efficiency of human-machine interaction and, as a consequence, the safety of air transportation.

Keywords: ergonomic assessment, oculomotor activity, cockpit information and control field, probabilistic neural network.

Acknowledgements. The authors are grateful for scientific and technical support Kuravsky L.S.

For citation:

Makhortov I.A., Greshnikov I.I. Assessment of Cockpit Information and Control Field Using Neural Networks and Methods. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2023. Vol. 13, no. 3, pp. 28–38. DOI: 10.17759/mda.2023130302 (In Russ., abstr. in Engl.).

****Innokenty A. Makhortov***, Student, Moscow State University of Psychology and Education (MSUPE), Moscow, Russia; Engineer, State Research Institute of Aviation Systems (GosNIIAS), Moscow, Russia, e-mail: iamahortov@2100.gosniias.ru

*****Ivan I. Greshnikov***, PhD (Technical Sciences), Head of Sector, State Research Institute of Aviation Systems (GosNIIAS), Moscow, Russia; Graduate Student, Moscow State University of Psychology and Education (MSUPE), Moscow, Russia ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5474-3094>, e-mail: iigreshnikov@2100.gosniias.ru



References

1. Greshnikov I.I., Zlatomrezhev V.I. Perspektivnoe informacionno-upravlyayushchee pole kabiny, realizuyushchee novye sposoby informacionnogo obespecheniya ekipazha i upravleniya informacionnym polem vs. 5-ya Mezhdunarodnaya konferenciya «Perspektivnye napravleniya razvitiya bortovogo oborudovaniya grazhdanskih vozдушnyh sudov», sbornik dokladov.
2. Greshnikov I.I., Zlatomrezhev V.I. Ispol'zovanie peredovyh tekhnologij dlya optimizacii informacionno-upravlyayushchego polya kabiny perspektivnogo samolyota. XVIII vserossiyskaya nauchnaya konferenciya «nejrokomп'yutery i ih primeneniye», abstracts. 2020 г. (In Russ.).
3. “IATA” International Air Transport Association, 2019. [On the Internet]. Available: https://www.iata.org/contentassets/b6eb2adc248c484192101edd1ed36015/loc-i_2019.pdf. [Date of access: 14 July 2023].
4. Akhrameev V. Podgotovka pilotov po predotvrashcheniyu i vyvodu iz slozhnyh prostranstvennyh polozhenij i svalivaniya, Moscow: Federation Council Working Group Meeting, 2019. (In Russ.).
5. Rukovodstvo po podgotovke dlya predotvrashcheniya popadaniya samoleta v slozhnye prostranstvennye polozheniya i vyvodu iz nih, Montreal: International Civil Aviation Organization, 2014. (In Russ.).
6. Drumshchikov V.A., Zhegallo A.V. Registraciya i analiz napravlenosti vzora cheloveka. – Moscow: Institute of Psychology RAS, 2013. – 316 с. – (Methods of psychology). – ISBN 978-5-9270-0278-8. – EDN RVLGBN. (In Russ.).
7. Greshnikov I.I., Kuravsky L.S., Zlatomrezhev V.I., Yuriev G.A. Patent for invention № 2787317. Kompleks provedeniya ergonomicheskikh ocenok informacionno-upravlyayushchego polya / Right holder FAU “GosNIAS” (Russia). – Application No. 2021130113; Application. 15.10.2021; Registered. 09.01.2023.–(ROSPATENT). (In Russ.).
8. Greshnikov I.I. Certificate of state registration of the computer program № 2020663266 “PO postobrabotki rezul'tatov eksperimentov glazodvigatel'noj aktivnosti “/Right holder FGUP “GosNIAS” (Russia). – Application № 2020662389; Application. 15.10.2020; Registered. 26.10.2020.–(ROSPATENT). (In Russ.).
9. Greshnikov I.I. Razrabotka arhitektury sistemy ob'ektivnyh i sub'ektivnyh ocenok informacionno-upravlyayushchego polya dlya universal'nogo stenda prototipirovaniya kabiny pilotov // Proceedings of GosNIAS. Series: Issues of avionics. – 2020. – № 5(51). – С. 30–42. – EDN BCEJJK. (In Russ.).

Получена 15.07.2023

Принята в печать 09.08.2023

Received 15.07.2023

Accepted 09.08.2023