

НАЗЕМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ, СТАРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

УДК 159.9.07:796

ОЦЕНКА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА

Волков С.С.

*Военная академия Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого,
ул. Карбышева, 8, Балашиха, Московская область, 143900, Россия
e-mail: blockfm@yandex.ru*

Статья поступила в редакцию 30.11.2018

Профессиональная деятельность членов летного экипажа, космонавтов, летчиков-испытателей и других специалистов, эксплуатирующих летательные аппараты (ЛА), требует мониторинга психофизиологического состояния (ПФС) в процессе выполнения ими служебных обязанностей. Для мониторинга ПФС предполагается подход с применением метода газоразрядной визуализации (ГРВ), в котором планируется использование нейросетевых технологий.

Показываются перспективы применения рассматриваемой автоматизированной системы управления для аэрокосмического комплекса.

Ключевые слова: процессы автоматизации, автоматизированная система управления, метод газоразрядной визуализации, MATLAB, нейронная сеть.

Решение задачи повышения эффективности эксплуатации и оптимизации процесса управления организационно-техническими системами, улучшения эргономических и эксплуатационных характеристик наземных комплексов и летательных аппаратов неразрывно связано с мониторингом состояния здоровья летных экипажей, летчиков-испытателей, космонавтов и других представителей аэрокосмического комплекса. Уровнем здоровья определяется вся человеческая жизнь в широком диапазоне человеческого бытия. Здоровье рассматривается как важнейшее условие вос-

производства и качества рабочей силы и человеческого потенциала в целом [19].

Здоровье – это одновременно состояние и сложный динамический процесс, включающий созревание, формирование и работу физиологических структур организма, развитие и функционирование психической сферы, личностное становление и поступки человека [20]. Понятие «психическое здоровье» определяется как состояние душевного благополучия, характеризующееся отсутствием болезненных проявлений и обеспечивающее адекватную условиям окружающей дей-

ствительности регуляцию поведения и деятельности [17]. Следовательно, повышенную утомляемость, синдром хронической усталости, нарушение сна, стресс и т.д. можно определить как психофизиологическое состояние человека. Переутомление вызывает патологические сдвиги в организме, для устранения которых требуется медицинское вмешательство. Усталость можно определить как снижение эффективности выполнения работы, ослабление работоспособности и производительности труда, физических и умственных способностей под воздействием чрезмерной нагрузки на работе, неполноценного отдыха, который следует за периодом умственной или физической активности [8]. Это влияет на скорость реакции, координацию движения, скорость принятия решений во время профессиональной деятельности.

По мере развития производства и увеличения доли РФ на международном рынке встает вопрос об оптимальной модели управления производственной компанией [16]. Профессиональная деятельность предъявляет высокие требования к квалификации летных экипажей, летчиков-испытателей, космонавтов и других представителей аэрокосмического комплекса, определяя сложные, особые условия работы, предполагая определенный образ жизни [7].

Под *особыми условиями деятельности* понимают определенный класс условий, в которых у личности могут формироваться негативные функциональные состояния, приводящие к нарушению психологической регуляции деятельности [18]. Человеческий фактор, а именно неудовлетворительное ПФС, может привести к браку конечной продукции [6]. А если такой продукцией являются комплектующие самолетов, ракет, летных тренажеров, спутников... Существуют профессии, от которых жизни людей зависят напрямую. Например, важной составляющей процесса создания авиационных комплексов (АК) являются испытания [15]. Отсутствие внимания к психофизиологическому состоянию изготовителей и испытателей АК может привести к поломке образца, к травматизму или гибели оператора, участвующего в испытаниях. Особого внимания требуют и космонавты, и летные экипажи, и операторы, сопровождающие запуск ракеты.

Согласно определению толкового словаря Ожегова, оператор — это специалист, управляющий работой какого-нибудь сложного устройства, оборудования [14]. То есть летные экипажи, летчики-испытатели, космонавты, диспетчеры авиа-

ционных служб и специалисты аэрокосмической отрасли, работающие на производствах, являются операторами.

Проблема определения ПФС летных экипажей, космонавтов, летчиков испытателей и других специалистов, эксплуатирующих ЛА во время профессиональной деятельности, как элемента эргатической системы актуальна не только в России.

Наибольший интерес в этом направлении представляет метод газоразрядной визуализации, он позволяет с высокой точностью диагностировать психофизиологическое состояние оператора. Область применения метода ГРВ не ограничивается определением психофизиологического состояния оператора, возможно его использование в промышленности для обнаружения брака в заводских изделиях [9].

Вышесказанное позволяет нам создать перспективную автоматизированную систему оценки психофизиологического состояния оператора (АСУ), благодаря которой мы сможем осуществлять мониторинг способности каждого члена летного экипажа, космонавта или оператора робототехнического комплекса (РТК) выполнять свои служебные обязанности путем оценки его ПФС.

Объективное определение состояния оператора в процессе выполнения служебных обязанностей за аппаратурой, а также во время испытаний летных образцов, при перевозке людей и др. — ключевая цель, от решения которой зависит успешность и результативность выполнения поставленных задач в ходе профессиональной деятельности.

Применение метода ГРВ не требует в громоздкого оборудования — достаточно наличия ноутбука и сканера для получения ГРВ-грамм оператора. Для этого используется прибор ГРВ-камера [4] (рис. 1). Прибор предназначен для регистрации ГРВ-грамм сразу десяти пальцев рук оператора (рис. 2). На первом этапе информация, полученная от изображения пальцев, используется для формирования так называемого шаблона. Полученное изображение обрабатывается с помощью специального математического алгоритма [3].

С помощью снимков на рис. 2 проводится оценка психофизиологического состояния по двум специальным показателям: Нормализованная площадь свечения (энергетический потенциал) и стрессовый фон (СФ) [10, 11]. Для их получения и сравнения с формализованным видом проведем ряд математических операций. На первом этапе осуществляется удаление из изображения точек, интенсивность которых меньше задан-



Рис. 1. ГРВ-камера

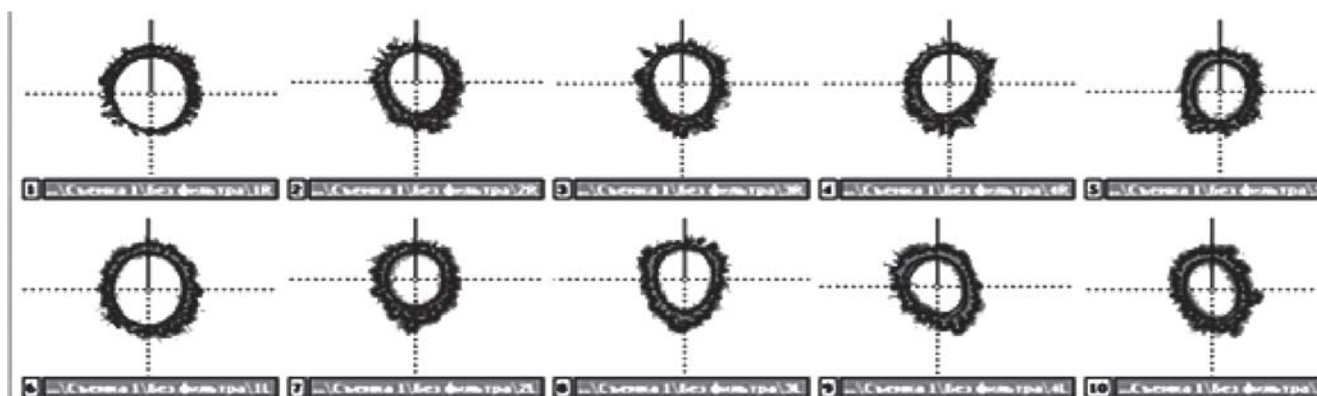


Рис. 2. Примеры ГРВ-грамм пальцев

ного порога $i_{\text{пор}}$. То есть новая интенсивность каждой точки вычисляется как

$$i(x, y) = \begin{cases} i(x, y), & \text{если } i(x, y) > i_{\text{пор}}; \\ 0, & \text{если } i(x, y) \leq i_{\text{пор}}, \end{cases}$$

где $i_{\text{пор}}$ — заданная интенсивность порога. Порог определяется автоматически для каждого изображения по какой-либо характеристике спектра ГРВ-граммы.

После проведения фильтрации шумовой составляющей вычисляем площадь свечения на снимках с фильтром и без фильтра:

$$S = \sum_x \sum_y p_{ij},$$

где

$$p_{ij} = 1, \text{ если } b(i, j) \geq m;$$

$$p_{ij} = 0, \text{ если } b(i, j) < m;$$

$b(i, j)$ — яркость элемента изображения (пикселя);

m — пороговое значение яркости, определяемое экспертным путем в зависимости от решаемой задачи [13].

Интегральный коэффициент площади

$$JS = \frac{\ln \frac{S}{S_1}}{\ln \frac{S'}{S'_1}}$$

Рассчитаем основные параметры, необходимые для вычисления ПФС.

1. Нормализованная площадь свечения

$$\text{ЭП} = \frac{n}{N} \cdot 100\%,$$

где n — количество секторов, площадь которых лежит в диапазоне нормы; N — общее количество секторов.

Диапазон нормы определяется на основании калибровочных данных, рассчитываемых в результате съемки и анализа газоразрядных изображений тест-объекта, и результатах статистического анализа большой группы практически здоровых людей.

2. Стрессовый фон

$$\text{СФ} = A + dRMS.$$

Здесь параметры $A + dRMS$ вычисляются следующим образом:

$$dRMS = dRMSL + dRMSR;$$

$$dRMSR = |JSRF_RMS - JSR_RMS|;$$

$$dRMSL = |JSLF_RMS - JSL_RMS|,$$

где $JSRF_RMS$ — среднеквадратичное отклонение (СКО) интегральной площади по правой руке с фильтром; JSR_RMS — СКО интегральной площади по правой руке без фильтра; $JSLF_RMS$ — СКО интегральной площади по левой руке с фильтром; JSL_RMS — СКО интегральной площади по левой руке без фильтра.

Оценку ПФС может проводить любой человек, так как прибор ГРВ-камера прост в использовании, а все операции по обработке и анализу изображений выполняет компьютер [1]. Следовательно, перед началом работ, к примеру, член летного экипажа приходит в кабинет для обследования, которое занимает 5—10 мин. После получения результатов должностное лицо принимает решение о допуске данного члена летного экипажа к трудовой деятельности.

На рис. 3 изображен алгоритм работы программного обеспечения ПЭВМ автоматизированной системы оценки ПФС оператора во время профессиональной деятельности.

Для расчетов ПФС оператора был использован известный метод анализа и вычисления необходимых параметров, а в перспективе планируется использование нейросетевых технологий.

Перед нами стоит задача по распознаванию образов, так как доказано, что для эффективно-го распознавания во многих случаях достаточно

анализировать только контурное изображение. При этом внутренние элементы контуров объектов и фона можно исключить, они малоинформативны. Кроме того, в данном случае происходит уменьшение объемов памяти, необходимых для обработки изображений [12]. Перспективным направлением для дальнейшей обработки цифровых данных является возможное использование нейросетевых технологий.

Для моделирования структуры нейронной сети целесообразно использовать пакет Neural Networks в системе MatLab. При построении нейросетевой динамической системы возможно использование следующих видов нейронных сетей: однослойная сеть для выделения границ объекта; сеть с радиальными базисными элементами (Radial Basis Function Network, сеть RBF); вероятностная сеть (сеть PNN); обобщенно-регрессионная сеть (сеть GRNN); линейная нейронная сеть; сеть встречного распространения (Learning Vector Quantization Network или LVQ-network); многослойная сеть с обучением по методу обратного распространения ошибки (Back Propagation) [5].

П. Мандель, К.Г. Коротков эмпирическим путем установили порядок разбития по секторам ГРВ-изображений пальцев рук. Разбитие по секторам необходимо для вычисления параметров, которые понадобятся для определения ПФС оператора [9].

Таким образом, рассчитанные в программном комплексе параметры сравниваются по пятибалльной шкале от -2 до $+2$, где -2 соответствует низкому значению параметра, 0 — норме, $+2$ — повышенному значению параметра [2]. Это дает возможность дать оценку ПФС оператора в данный момент времени и принять решение о его допуске к работам.

Выводы

Возможности описанной автоматизированной системы оценки психофизиологического состояния операторов позволяют решить проблемы авиационной, ракетной и космической отрасли в части предупреждения травматизма. Кроме снижения затрат на выплату страховки и лечения, уменьшаются риски поломки дорогостоящего оборудования и аварийности. Мониторинг здоровья специалистов, эксплуатирующих летательные аппараты и наземные комплексы, повысит эффективность полетов, запусков ракет, испытаний авиационных комплексов; сохранит множество человеческих жизней.

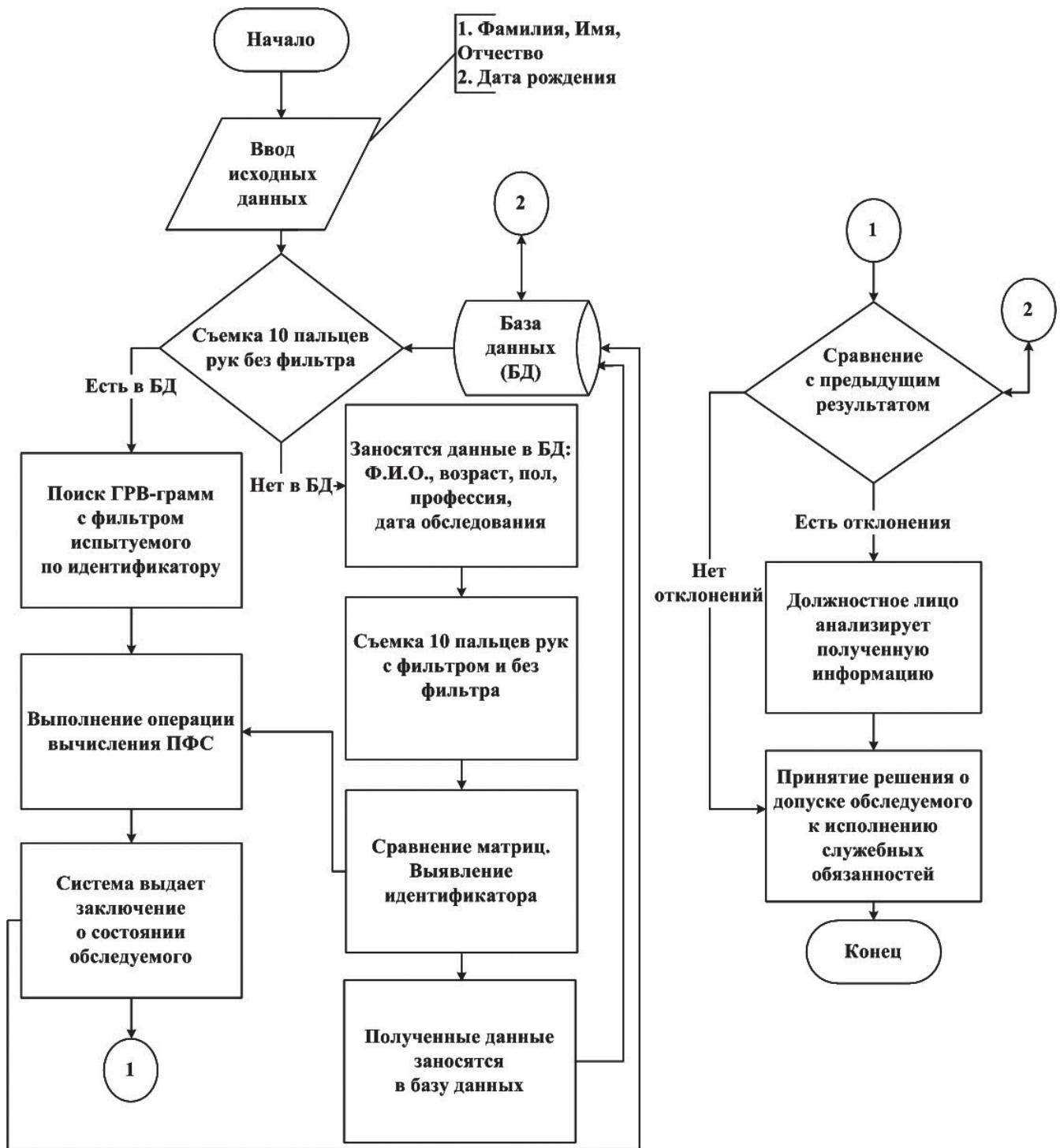


Рис. 3. Алгоритм работы программного обеспечения

Автоматизированная система оценки ПФС способствует совершенствованию эргономических характеристик наземных комплексов и летательных аппаратов, повышает эффективность эксплуатации систем «человек — техника».

Предложенный подход для оперативной оценки психофизиологического состояния операторов во время профессиональной деятельности путем получения ГРВ-грамм пальцев рук требует своего экспериментального продолжения.

Библиографический список

1. Бундзен П.В., Коротков К.Г., Короткова А.К., Мухин В.А., Прияткин Н.С. Психофизиологические корреляты успешности соревновательной деятельности спортсменов Олимпийского резерва // Сознание и физическая реальность. 2006. Т. 11. № 3. С. 45-54.
2. Величко Е.Н. Программно-аппаратный комплекс оценки психофизиологического состояния спортсмена: Дисс. ... канд. техн. наук. — СПб.: С.-Петербург.

- гос. электротехн. ун-т (ЛЭТИ), 2010. С.54,55 (138 с.)
3. *Коротков К.Г., Яковлева Е.Г.* Применение метода ГРВ-биоэлектрографии в медицине (обзор литературы) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2014. №2. С. 175-188.
 4. *Воронов И.А.* Информационные технологии в физической культуре и спорте: Электронный учебник. — СПб.: Изд-во СПб ГУФК им. П.Ф. Лесгафта, 2005. — 80 с.
 5. *Волков С.С., Зайцев А.В.* Применение метода газоразрядной визуализации и нейросетевых технологий в создании модели определения психофизиологического состояния человека-оператора эргатической системы // Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем: Сб. трудов XXXVII Всероссийской научно-технической конференции (г. Серпухов, 28-29 июня 2018 г.). — Серпухов: Изд-во Военной академии РВСН им. Петра Великого (филиал г. Серпухов Московской обл.), 2018. Ч. 2. С. 164-170.
 6. *Гришин Д.В.* Разработка эффективных форм кадрового обеспечения производственного процесса в авиастроительной отрасли // Вестник Московского авиационного института. 2018. Т.25. №1. С.209-219.
 7. *Калашикова С.А.* Показатели психологического здоровья личности в особых условиях профессиональной деятельности // Ученые записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н.Г. Чернышевского. 2009. № 5. С.26-32.
 8. *Каретников В.В., Козик С.В., Соколова И.А.* Исследование влияния усталости судоводителя на процесс обеспечения безопасности судоходства // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2017. Т. 9. № 2. С. 272-279.
 9. *Коротков К.Г.* Принципы анализа ГРВ биоэлектрографии: Монография. — СПб.: Реноме, 2007. — 286 с.
 10. *Коротков К.Г., Короткова А.К.* Инновационные технологии в спорте: исследование психофизиологического состояния спортсменов методом газоразрядной визуализации: Монография. — М.: Советский спорт, 2008. — 280 с.
 11. *Коротков К.Г., Крыжановский Э.В., Филатов С.И., Филиппосьянц Ю.Р.* Метод выявления лиц, склонных к совершению противоправных действий. — М.: ГУ НПО «Специальная техника и связь» МВД России, 2005. — 32 с.
 12. *Кревецкий А.В.* Распознавание трехмерных объектов по форме пространственных контуров // Автометрия. 2001. № 2. С. 21-30.
 13. *Крылов Б.А., Гришенцев А.Ю., Величко Е.Н.* Методы регистрации, обработки и анализа изображений: Учебно-методическое пособие. — СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2010. — 60 с.
 14. *Ожегов С.И.* Словарь русского языка. — М.: Русский язык, 1984. — 816 с.
 15. *Патрикеев С.А.* Возможности инновационных систем бортовых измерений при наземных и летных испытаниях // Вестник Московского авиационного института. 2018. Т. 25. № 1. С.76-83.
 16. *Просвирина Н.В.* Разработка и реализация принципов эффективного производственного менеджмента на основе концепции бережливого производства на предприятиях авиационного двигателестроения // Вестник Московского авиационного института. 2017. Т. 24. № 2. С. 223-232.
 17. *Головин С.Ю.* Словарь практического психолога. — Минск: Харвест, 1998. — 551 с.
 18. *Собольников В.В.* Психология развития зрелой личности в особых условиях: Монография. — Новосибирск: Министерство общего и профессионального образования РФ, НГУ, Юнеско, 1998. — 278 с.
 19. *Соколов А.В.* Интегральная оценка резервов здоровья в восстановительной медицине // Вестник восстановительной медицины. 2002. № 1. С. 16-18.
 20. *Шувалов А.В.* Антропологический подход к проблеме психологического здоровья // Вопросы психологии. 2011. № 5. С. 3-16.

PSYCHOPHYSIOLOGICAL CONDITION ASSESSMENT OF AN OPERATOR OF THE GROUND COMPLEX'S ERGATIVE SYSTEM

Volkov S.S.

*Military Academy of Strategic Rocket Troops named after Peter the Great,
SRTMA, 8, Karbysheva str., Balashikha, Moscow region, 143900, Russia
e-mail: blockfm@yandex.ru*

Abstract

The article considers an automated system for psychophysiological condition (PPhC) assessment of a flight crew, spacemen, test pilots and other representatives of the airspace industry. The PPhC operation is based on the gas discharge visualization (GDV) method.

The purpose of the work consists in demonstrating the effectiveness and necessity of the psychophysiological state monitoring of the ergative system operators. The ergative system operators are the flight crew of both military and civil aviation; astronauts; test pilots; robotic systems specialists.

This work novelty consists in the GDV method application in a new area. The interest to this method application is caused by the fact that operators are working in special conditions of professional activities. In this regard, they suffer fatigue, overtiredness, undersleeping, performance decrement, stress etc. The PPhC neglecting may lead to tragic aftermath. Thus, the authors suggest developing prospective automated system for operators' psychophysiological condition estimation, which would allow monitor operators' readiness to perform their service duties while their professional activities.

During the survey, the snapshots of ten fingers are made with the filter, and another ten without it. The obtained images are being separated into sectors. Further, the mathematical apparatus described in the article is applied to them. The stressed background and normalized glow area, necessary for the psychophysiological state determining, are being computed. After obtaining the information on the operator's PPhC the official takes a decision on the given person's readiness to perform his service duties.

The results of the studies allowed developing an algorithm for the software operation of the operators PPhC estimation system. Neural network technologies are supposed to be the basis of this work. They will improve and expedite the information processing process.

The automated PPhS estimation system, described in the article, introduction into the aerospace industry, will allow monitoring the health of the flight crew,

cosmonauts, test pilots and robotic complexes operators, as well as reduce the risk of injury and death while equipment operation.

Keywords: automation processes, automated control system, gas-discharge visualization method, MATLAB, neuron network.

References

1. Bundzen P.V., Korotkov K.G., Korotkova A.K., Mukhin V.A., Priyatkin N.S. *Soznanie i fizicheskaya real'nost'*, 2006, vol. 11, no. 3, pp. 45-54.
2. Velichko E.N. *Programmno-apparatnyi kompleks otsenki psikhofiziologicheskogo sostoyaniya sportsmena* (Software-hardware complex for evaluation of an athlete psychophysiological state), Doctor's thesis, St. Petersburg, LETI, 2010, pp. 54-55 (138 p.)
3. Korotkov K.G., Yakovleva E.G. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Meditsina*, 2014, no. 2, pp. 175-188.
4. Voronov I.A. *Informatsionnye tekhnologii v fizicheskoi kul'ture i sporte* (Information technologies in physical culture and sports), St. Petersburg, SPb GUFK im. P.F. Lesgafta, 2005, 80 p.
5. Volkov S.S., Zaitsev A.V. *Materialy XXXVII Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Problemy effektivnosti i bezopasnosti funktsionirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh i informatsionnykh sistem"* (Serpukhov, 28-29 June 2018), Serpukhov, Voennaya akademiya RVSN im. Petra Velikogo, 2018. Part 2, pp. 164-170.
6. Grishin D. V. Development of effective forms of production process stuffing in aircraft building industry. *Aerospace MAI Journal*, 2018, vol. 25, no 1, pp. 209-219.
7. Kalashnikova S.A. *Uchenye zapiski zabaikal'skogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta im. N.G. Chernyshevskogo*, 2009, no. 5, pp. 26-32.
8. Karetnikov V.V., Kozik S.V., Sokolova I.A. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, 2017, vol. 9, no. 2, pp. 272-279.
9. Korotkov K.G. *Printsipy analiza GRV bioelektrografii* (Principles of GDV Bioelectrography analysis), St. Petersburg, Renome, 2007, 286 p.
10. Korotkov K.G., Korotkova A.K. *Innovatsionnye tekhnologii v sporte: issledovanie psikhofiziologicheskogo sostoyaniya sportsmenov metodom gazorazryadnoi*

- vizualizatsii* (Innovative technologies in sports: research of psychophysiological state of sportsmen by gas-discharge visualization method), Moscow, Sovetskii sport, 2008, 280 p.
11. Korotkov K.G., Kryzhanovskii E.V., Filatov S.I., Filippos'yants Yu.R. *Metod vyyavleniya lits, sklonnykh k soversheniyu protivopravnykh deistvii* (A method to identifying individuals prone to illegal actions committing), Moscow, GU NPO "Spetsial'naya tekhnika i svyaz" MVD Rossii, 2005, 32 p.
 12. Krevetskij A.V. Recognition of three-dimensional objects by the shape of spatial contours. *Optoelectronics, instrumentation and data processing*, 2001, no. 2, pp. 21-30.
 13. Krylov B.A., Grishentsev A.Yu., Velichko E.N. *Metody registratsii, obrabotki i analiza izobrazhenii* (Methods of images registration, processing and analysis), St. Petersburg, SPb GU IT-MO, 2010, 60 p.
 14. Ozhegov S. I. *Slovar' russkogo yazyka* (Dictionary of Russian language), Moscow, Russkii yazyk, 1984, 816 p.
 15. Patrikeev S. A. Capabilities of onboard innovation measuring systems while ground and flight tests. *Aerospace MAI Journal*, 2018, vol. 25, no 1, pp. 76-83.
 16. Prosvirina N. V. Development and implementation of efficient production management principles based on lean production concept at the aircraft engine-building enterprises. *Aerospace MAI Journal*, 2017, vol. 24, no. 2, pp. 223-232.
 17. Golovin S.Yu. *Slovar' prakticheskogo psikhologa* (Dictionary of practical psychologist), Minsk, Kharvest, 1998, 551 p.
 18. Sobol'nikov V.V. *Psikhologiya razvitiya zreloi lichnosti v osobykh usloviyakh* (Psychology of a mature personality development in special conditions), Novosibirsk, Ministerstvo obshchego i professional'nogo obrazovaniya RF, NGU, Yunesko, 1998, 278 p.
 19. Sokolov A.V. *Vestnik vosstanovitel'noi meditsiny*, 2002, no. 1, pp. 16-18.
 20. Shuvalov A.V. *Voprosy psikhologii*, 2011, no. 5, pp. 3-16.