

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР

Р. С. Климов

МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ОПЕРАТОРОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация. Предметом исследования являются процедуры оценивания профессиональной подготовленности операторов дистанционно-управляемых робототехнических комплексов. Актуальность исследования обусловлена тем, что повышающийся уровень роботизации и автоматизации таких комплексов приводит не к исключению человека из контура управления ими, а к усложнению его функций, а техническое совершенствование предъявляет повышенные требования к уровню профессиональной подготовки операторов. Это требует своевременной и полной оценки эргономичности робототехнических комплексов и совершенствования системы обучения операторов с учетом потенциально и фактически достижимых оценок надежности и качества их профессиональной деятельности. Методология исследования объединяет методы системного анализа, эргономики, теории надежности, инженерной психологии, квалиметрии деятельности, технической кибернетики. Рассмотренный подход к оцениванию профессиональной подготовленности качества деятельности операторов дистанционно-управляемых робототехнических комплексов позволяет получить потенциально достижимые и фактически достигнутые оценки их освоения операторами в интересах объективизации процедур квалиметрии профессиональной подготовленности операторов, разработки и реализации управленческих решений, направленных на совершенствование как рабочих мест операторов так и стратегий их профессиональной подготовки.

Ключевые слова: оператор робототехнического комплекса, профессиональная подготовка операторов, дистанционно-управляемый робототехнический комплекс, эргономика, качество профессиональной деятельности, уровень подготовленности операторов, эффективность робототехнического комплекса, квалиметрия профессиональной подготовленности, стратегия обучения оператора, функционал качества подготовки.

Abstract. The subject of this research is the procedures of assessment of the professional readiness of operators of the remotely managed robotic complexes. The relevance of this work is justified by the fact that the growing level of automation of such complexes does not lead to exclusion of a man from the contours of their management, but rather complication of his functions; and the technical improvement demonstrates high demands to the level of the professional readiness of the operators. This requires the current and full assessment of ergonomics of the robotic complexes, as well as improvement of the training system of operators, considering the potentially and actually achievable evaluations of reliability and quality of their professional activity. The examined approach towards assessment of the professional readiness of operators of the remotely managed robotic complexes, allows acquiring the potentially achievable and actually achieved evaluations of their exploitation by the operators in favor of objectivation of qualimetry procedure of the professional readiness of operators, development and realization of management solutions aimed at improvement of operators' workplaces, as well as the strategies of their professional training.

Ключевые слова: Functionality of the quality of training, Strategy of training of the operator, Qualimetry of professional readiness, Efficiency of the robotic complex, Level of operators' readiness, Quality of professional activity, Ergonomics, Remotely managed robotic complex, Professional readiness of operators, Operator of the robotic complex,

В последнее время одной из наиболее востребованных среди органов государственной власти, бизнес-сообществ, ученых и энтузиастов-любителей стала

тема робототехники: наблюдается неуклонный рост числа научных мероприятий, издаваемых книг, статей, публикаций. Основные преимущества, которые дает внедрение робототехники

сводятся к повышению эффективности решения известных задач, решение которых сопряжено с повышенным риском жизни и здоровью человеку, а также появление возможности выполнения новых задач, недоступных для решения человеком в силу ряда естественных ограничений [1-5]. Роботы не подвержены стрессовым влияниям, обусловленным непосредственной опасностью для жизни, усталостью, дефицитом времени на принятие решений и исполнение действий.

За последнее время в фундаментальных и технологических областях произошли существенные изменения, обеспечивающие развитие робототехники. В последнее время разработаны и внедрены экспериментальные (макетные) разнородные, дистанционно-управляемые и полуавтономные образцы робототехнических комплексов (РТК). Перспектива автоматизации движения роботов вплотную подошла к практическому осуществлению [6]. Определенный прогресс достигнут в области интеллектуализации процессов управления РТК и технологий группового управления ими [7-8]. Практически сняты ограничения на мощности, массогабаритные характеристики, производительность вычислительных средств, ожидается значительное увеличение мощности и ресурсов источников питания [9, 10].

Особенности системы подготовки операторов дистанционно-управляемых РТК

Большинство современных РТК является дистанционно-управляемыми комплексами [10]. Высокий уровень роботизации и автоматизации таких РТК приводит не к исключению человека из контура управления ими, а к усложнению его функций, а техническое совершенствование предъявляет повышенные требования к уровню профессиональной подготовки операторов таких РТК.

При этом возникает ряд существенных противоречий. Структурное и функциональное усложнение РТК приводит к усложнению алгоритма работы операторов, увеличению времени на выполнение подготовительных операций и контроля за исполнительными механизмами. В то же время условия применения РТК требуют

минимизации времени принятия управленческих решений оператором. Современные РТК требуют такой подготовки операторов, которая позволит им максимально использовать потенциальную эффективность. При всей сложности образцов РТК деятельность операторов различных совместно применяемых РТК должна быть максимально защищена от ошибок и согласована в реальном масштабе времени.

Эти противоречия, несомненно, будут нарастать с темпами прогресса РТК: их решение требует своевременной и полной оценки эргономичности робототехнических образцов и комплексов, а также совершенствования системы обучения операторов и определения уровня их профессиональной подготовки.

Результаты исследований демонстрируют, что в силу своей универсальности, пластичности и адаптивности человека-оператора именно ему в большинстве случаев предстоит выполнить функции компенсации возмущений, действующих на РТК [11-17]. Человек способен в случае тех или иных нарушений переходить от одного способа выполнения своих функций к другим, легко меняя программы управления системой «человек-машина» (эргатической системой), к классу которых относятся дистанционно-управляемые РТК. Кроме того, даже выполняя сложную деятельность, оператор обладает определенным резервом функциональных возможностей [18-22].

Анализ развития форм взаимодействия человека и средств управления показывает, что весьма жесткие требования предъявляются к сенсомоторным качествам человека, к скорости и точности его реакций [23-26]. Дальнейшая автоматизация переведет оператора на более высокие уровни управления, однако он должен будет обладать весьма развитыми сенсомоторными качествами достаточными для выполнения ручного труда.

Система подготовки операторов РТК характеризуется существенной ограниченностью по времени обучения с невозможностью значительного увеличения финансирования на внедрение новых дорогостоящих обучающих программ. Одним из приоритетных направлений совершенствования этой системы является совершенствование методического обеспечения

контроля профессиональной подготовки операторов. Действительно, любая система обучения требует непрерывного и достоверного контроля результатов ее применения. От эффективности контроля за действиями обучаемого, достоверности его результатов, полноты учета характеристик деятельности оператора как в нормальных, так и в экстремальных условиях во многом зависит скорость и качество процесса освоения образца РТК.

Формализация оценивания эффективности РТК и стратегий подготовки их операторов

Формализуем задачу оценивания эффективности функционирования РТК в виде расчета следующего целевого функционала [27, 28]:

$$\mathcal{E} = F(x_1 \dots x_n, y_1 \dots y_m, z_1 \dots z_l)$$

при выполнении следующих ограничивающих условий:

$$\begin{cases} x_i \leq x_i^{don}, & \text{при } i = \overline{1 \dots n} \\ y_j \leq y_j^{don}, & \text{при } j = \overline{1 \dots m}, \\ z_k \leq z_k^{don}, & \text{при } k = \overline{1 \dots l} \end{cases}$$

где \mathcal{E} – показатель эффективности функционирования СЧМ; x_i – характеристики деятельности человека-оператора; y_j – характеристики функционирования технических средств; z_k – характеристики условий функционирования (рабочей среды); $x_i^{don}, y_j^{don}, z_k^{don}$ – допустимые значения заданных характеристик.

На этапе освоения операторами РТК при фиксированных характеристиках y_1, \dots, y_m возникает проблема достоверной оценки качества его освоения. Эта проблема традиционно решается сопоставлением факторов $x_1^{ud}, \dots, x_n^{ud}$, присущих некоторому «идеальному» человеку-оператору, с характеристиками $x_1^{реал}, \dots, x_n^{реал}$ реального человека, достигнутыми им за время обучения.

Стратегия обучения оператора РТК, таким образом, заключается в последовательном приближении характеристик обучаемого $x_1^{реал}, \dots, x_n^{реал}$ к нормативным $x_1^{ud}, \dots, x_n^{ud}$

$$\lim_{t \rightarrow t_{осв}} |x_i^{ud} - x_{i,t}^{реал}| = 0,$$

где $t_{осв}$ – период освоения образца РТК.

Соответственно, возникает задача выбора таких значений нормативов x_i^{ud} , при которых функционал \mathcal{E} достигает максимума. Задача не столь проста, как кажется на первый взгляд, т.к. необходимо учитывать множество факторов, начиная от требований к эффективности применения РТК, его конструктивных особенностей и заканчивая требованиями к выносливости и надежности человека-оператора. Очень строгие и высокие требования к нормативам могут привести к нарушению условий устойчивости деятельности человека-оператора, а значит, к снижению ее надежности [29-31].

Следовательно, задавая уровень показателей качества деятельности оператора (КДО), необходимо предусмотреть такие допуски, которые бы обеспечили длительное сохранение высокой устойчивости. Противоречие возникает между необходимостью ужесточения нормативов для максимизации функционала \mathcal{E} и необходимостью предусмотреть существенные допуски для поддержания допустимой работоспособности оператора РТК.

Поскольку, в силу различного рода причин, не у каждого обучаемого показатели КДО за период обучения достигают нормативных значений, возникает проблема оценивания уровня профессиональной подготовки оператора РТК, которая традиционно решается выставлением балльных оценок.

Подобный подход, кроме того, имеет такой существенный недостаток как искусственный отрыв оценок показателей КДО от оценки эффективности функционирования всего РТК (как системы, в целом). Действительно, одни ошибки оператора РТК могут компенсироваться технической частью РТК (как эргатической системы), а другие ошибки могут иметь самые катастрофические последствия.

Таким образом, существующая система контроля уровня освоения обучаемыми образца РТК построена на оценивании качества выполнения отдельных операций (нормативов) и имеет следующие недостатки:

а) наличие множества нормативов – следовательно, множество оценок за них не дают ответа на главный вопрос – как оператор сможет выполнить задачу управления РТК в реальных (особенно в экстремальных) условиях;

б) оценивание каждого норматива производится по балльной шкале вне зависимости от степени его влияния на итоговый результат задачи, решаемой РТК;

в) система вычисления интегрального показателя уровня подготовки оператора РТК имеет субъективный характер;

г) отсутствует связь интегрального показателя уровня подготовки оператора РТК с показателем эффективности применения образца РТК;

д) отсутствует аппарат прогнозирования надежности деятельности оператора РТК при длительных сроках работы;

е) не в полной мере отражен учет условий функционирования и применения образца РТК и оценивания действий их операторов в экстремальных условиях.

Более строгим методом оценивания качества деятельности операторов РТК, с точки зрения эффективности применения РТК, будет метод, основанный на сравнении двух функционалов

$$\mathcal{E}^{ud} = F(x_1^{ud} \dots x_n^{ud}, y_1 \dots y_m, z_1 \dots z_l),$$

$$\mathcal{E}^{real} = F(x_1^{real} \dots x_n^{real}, y_1 \dots y_m, z_1 \dots z_l).$$

Наличие человека-оператора в эргатической системе придает определенную специфичность этой системе с точки зрения исследования ее эффективности [19, 23]. Качественные различия между человеком и техническим устройством не исключают возможности рассматривать их в строго определенном отношении как звенья единой системы. Оператор РТК в этом случае рассматривается как специфическая «подсистема» эргатической системы.

В качестве характеристик $x_1^{ud}, \dots, x_n^{ud}$ используются вероятностно-временные характеристики человека-оператора РТК, рассчитанные аналитическим методом на основе различных эргономических исследований. Тогда стратегия предлагаемой системы контроля за эффективностью обучения выражается следующим образом

$$\lim_{t \rightarrow t_{loc}} \mathcal{E}_t^{real} / \mathcal{E}^{ud} \approx 1.$$

Такой подход обладает большей объективностью, так как уровень профессиональной под-

готовки операторов оценивается с позиций эффективности функционирования РТК в целом.

Концепции представления операторов эргатических систем

В соответствии с поставленной задачей рассмотрим две наиболее часто реализуемых концепций операторов эргатических систем:

- концепцию «идеального» оператора;
- концепцию «реального» оператора.

В соответствии с ГОСТ В 29.08.002-84 показатели КДО классифицируются на показатели точности, быстродействия и надежности. Концепция «идеального» оператора описывает некоторого абстрактного оператора с максимально возможными значениями показателей КДО. Показатель быстродействия в этом случае рассчитывается аналитически на основе существующих методов априорного оценивания КДО [14, 23, 31, 32]. Точность и надежность «идеального» оператора будем считать абсолютными, так как само понятие ошибки рассматривается как нестандартное, исключительное событие, свидетельствующие о его недостаточном уровне подготовки. Поскольку изначально под «идеальным» оператором понимался специалист с максимально возможным уровнем профессиональной подготовки и, соответственно, с наивысшими показателями КДО, то и ошибки считаются для него невозможными.

Поскольку существенное практическое значение имеет управление несколькими совместно применяемыми РТК (групповое управление, осуществляемое несколькими операторами), рассмотрим групповую деятельность как процесс взаимодействия, осуществляемый группой операторов для решения задач [15]. Рабочую группу, укомплектованную «идеальными» операторами, назовем «идеальной» рабочей группой. Требования к показателям качества деятельности подобной группы аналогичны выше рассмотренным. Такая модель человека-оператора применима для оценивания потенциальной (максимально достижимой) эффективности функционирования РТК.

Модель «реального» оператора представляет собой математическую модель обычного человека с некоторым уровнем освоения конкретной эрга-

тической системы. В качестве значений показателей КДО принимают характеристики какого либо конкретного человека-оператора, полученные на основе тестирования, либо рассчитанные априорно на основе представленных в эргономической литературе методик [23, 27, 32]. Такая модель используется для получения оценки реальной эффективности функционирования РТК.

Процедура определения эффективности функционирования РТК

При моделировании собственных отказов элементов комплекса технических средств (КТС), воздействия условий применения на КТС и оператора РТК необходимо составление сценария выполнения задачи, поставленной перед образцом РТК с формированием списка технических элементов у которых произойдут собственные отказы, с моментами этих отказов, а также степень воздействия неблагоприятных факторов условий деятельности на оператора с моментами такого воздействия. Таким образом фиксируются показатели $y_1 \dots y_m$ и $z_1 \dots z_l$. Например,

- отказ элемента КТС «блок №1» в начале выполнения i -й подзадачи;
- полная потеря работоспособности оператором в начале выполнения j -й подзадачи и так далее.

Далее проводится аналитический расчет эффективности функционирования образца РТК, управляемого «идеальным» оператором (группы

РТК, управляемых «идеальной» рабочей группой) при выполнении заданного сценария.

При использовании в качестве «реального» оператора РТК конкретного человека (тестируемого) проводится контрольное выполнение боевой задачи по заданному сценарию с учетом показателей КДО по результатам её выполнения. Естественно, что при выполнении сценария «реальный» оператор может допускать аварийные и катастрофические ошибки.

На основе эксперимента производится расчет эффективности функционирования образца РТК, управляемого «реальным» оператором. Используя полученные данные проводится сравнение значений двух функционалов $\mathcal{E}^{ид}$ и $\mathcal{E}^{реал}$ согласно рассмотренной методике.

* * *

Рассмотренный метод оценивания качества деятельности операторов дистанционно-управляемых РТК позволяет получить потенциально достижимые и фактически достигнутые оценки освоения образцов РТК операторами на основе комплексной характеристики результатов их использования и соответствия предназначению назначению. Такие оценки объективизируют процедуры квалиметрии профессиональной подготовленности операторов РТК и позволяют разрабатывать и реализовывать управленческие решения, направленные на совершенствование как рабочих мест операторов РТК так и стратегий их профессиональной подготовки.

Библиография

1. Цариченко С.Г. Направления развития экстремальной робототехники МЧС России с учетом опыта практического применения // Робототехника и техническая кибернетика. 2013. №1 (1). С. 4-6.
2. Хрипунов С.П., Чиров Д.С., Благодарящев И.В. Военная робототехника: современные тренды и векторы развития // Тренды и управление. 2015. №4. С. 410-422.
3. Шеремет И.А., Шеремет И.Б., Рудианов Н.А. Роботы в войсках: проблемы освоения, применения и взаимной адаптации//Оборонный комплекс-научно-техническому прогрессу России. 2014. №3 (123). С. 66-69.
4. Климов Р.С., Лопота А.В., Спаский Б.А. Тенденции развития наземных робототехнических систем военного назначения//Робототехника и техническая кибернетика. 2015. №3 (8). С. 3-10.
5. Корнилов В.И., Маев С.А., Машков К.Ю., Пантелеев А.Л., Соколенко В.Н. Зарубежные робототехнические комплексы военного назначения и требования предъявляемые к ним // Труды НАМИ. 2015. №263. С. 65-85.
6. Шеремет И.А., Шеремет И.Б., Ищук В.А. К вопросу о системной оценке эффективности робототехнических комплексов военного назначения с использованием инновационных технологий на базе

- моделирования военных действий // Оборонный комплекс–научно-техническому прогрессу России. 2014. №4 (124). С. 21-26.
7. Минаков Е.П., Тарасов А.Г. Робототехнические комплексы автоматизированных систем управления подготовкой и пуском ракет космического назначения и показатели эффективности их применения // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. №6. С. 19-24.
 8. Наговицин А.И., Наговицин К.А., Сазыкин А.М. робототехнические комплексы военного назначения и перспективы их применения в ракетных войсках и артиллерии Сухопутных войск // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2015. №2. С. 57-62.
 9. Симанов С.Е., Цариченко С.Г., Павлов Е.В., Исавнина И.Н. Стандартизация и унификация в области экстремальной робототехники (пути и решения на примере МЧС России) // Робототехника и техническая кибернетика. 2015. №1 (6). С. 3-5.
 10. Робототехнические комплексы военного и двойного назначения. Справочные материалы. Москва: ФГБУ «ГНИИЦ РТ» МО РФ, 2014. 288 с.
 11. Чаусов Д.Н., Петухов И.В., Беляев В.В., Богачев К.А., Курасов П.А. Программно-аппаратный комплекс оценки эффективности деятельности операторов // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2014. №2. С. 80-86.
 12. Богомоллов А.В., Кукушкин Ю.А. Концептуальные основы математического обеспечения обработки информации о функциональных состояниях операторов в инженерно-психологических и эргономических исследованиях // Развитие психологии в системе комплексного человекознания: часть 2 / Отв. ред. А. Л. Журавлев, В. А. Кольцова.–М.: Изд-во Института психологии РАН, 2012. С. 415-417.
 13. Бондаренко А.Г., Харитонов В.В., Соловей Ю.Н. Эргономическая оптимизация обучающей среды при подготовке авиационных специалистов с использованием компьютерных систем // Тренды и управление. 2015. №3. С. 301–317.
 14. Крылов А.А. Человек в автоматизированных системах управления. Л.: ЛГУ, 1972. 192 с.
 15. Вопросы инженерной психологии в автоматизированных системах управления / Под ред. С.Н.Сафаряна Л.: ЛГУ, 1972. 144 с.
 16. Богомоллов А.В., Кукушкин Ю.А., Пономаренко А.В., Козловский Э.А. Методическое обеспечение исследования нервно-эмоционального напряжения и резервов внимания оператора в процессе тренажерной подготовки // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. Выпуск 5 / Под ред. А.А.Обознова, А.Л.Журавлева. М.: Издательство Института психологии РАН, 2013. С. 153–176.
 17. Петухов И.В. Исследование сенсорно-моторного взаимодействия человека-оператора и технической системы // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. №2. С. 33-37.
 18. Денисов В.А. Сравнительный анализ операторской деятельности и ее срывов // Психологические проблемы деятельности в особых условиях. / Под ред. Б.Ф.Ломова, Ю.М.Забродина М.: Наука, 1985.232 с.
 19. Ломов Б.Ф. Человек и техника. М.: Знание, 1966. 256 с.
 20. Богомоллов А.В., Кукушкин Ю.А. Автоматизация персонифицированного мониторинга условий труда // Автоматизация. Современные технологии. 2015. №3. С. 6-8.
 21. Никифоров Д.А., Ворона А.А., Богомоллов А.В., Кукушкин Ю.А. Методика оценивания потенциальной ненадежности действий летчика // Безопасность жизнедеятельности. 2015. №7 (175). С. 7-16.
 22. Гузий А.Г., Кукушкин Ю.А., Богомоллов А.В. Методология стабилизации функционального состояния оператора системы «человек-машина» // Мехатроника, автоматизация, управление. 2002. №5. С. 9.
 23. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника. М.: Машиностроение, 1983. 263 с.
 24. Петухов И.В. Модель и система оценки успешности операторской деятельности в человеко-машинных системах управления // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. №3. С. 156-162.
 25. Ушаков И.Б., Богомоллов А.В., Кукушкин Ю.А. Методологические аспекты динамического контроля функциональных состояний операторов опасных профессий // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2010. №4-2. С. 6-12.

26. Гридин Л.А., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В. Использование математических методов при оценке функционального состояния оператора системы человек-машина // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2003. №3. С. 108.
27. Фрумкин А.А., Зинченко Т.П., Винокуров Л.В. Методы и средства эргономического обеспечения проектирования. СПб.: ПГУПС, 1999. 179 с.
28. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В. Методы обработки информации в задачах диагностики функциональных состояний оператора // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. Выпуск 3 / Под. ред. В.А. Бодрова, А.Л. Журавлева. М.: Издательство Института психологии РАН, 2012. С. 316-336.
29. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Ушаков И.Б. Математическое обеспечение оценивания состояния материальных систем. Информационные технологии. 2004. №7 (приложение). 32 с.
30. Лукаш А.А., Димитриев Ю.В., Житников А.Г. Методы эргономического обеспечения разработки систем управления эргатических комплексов // Тренды и управление. 2015. №2. С. 154-161.
31. Богомолов А.В. Концепция математического обеспечения диагностики состояния человека // Информатика и системы управления. 2008. №2 (16). С. 11-13.
32. Введение в эргономику / Под ред. В.П.Зинченко М.: Советское радио, 1974. 352 с

References (transliterated)

1. Tsarichenko S.G. Napravleniya razvitiya ekstremal'noi robototekhniki MChS Rossii s uchetom opyta prakticheskogo primeneniya // Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika. 2013. №1 (1). S. 4-6.
2. Khripunov S.P., Chirov D.S., Blagodaryashchev I.V. Voennaya robototekhnika: sovremennye trendy i vektory razvitiya // Trendy i upravlenie. 2015. №4. S. 410-422.
3. Sheremet I.A., Sheremet I.B., Rudianov N.A. Roboty v voiskakh: problemy osvoeniya, primeneniya i vzaimnoi adaptatsii//Oboronnyi kompleks-nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. 2014. №3 (123). S. 66-69.
4. Klimov R.S., Lopota A.V., Spasskii B.A. Tendentsii razvitiya nazemnykh robototekhnicheskikh sistem voennogo naznacheniya//Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika. 2015. №3 (8). S. 3-10.
5. Kornilov V.I., Maev S.A., Mashkov K.Yu., Panteleev A.L., Sokolenko V.N. Zarubezhnye robototekhnicheskie komplekсы voennogo naznacheniya i trebovaniya pred'yavlyaemye k nim // Trudy NAMI. 2015. №263. S. 65-85.
6. Sheremet I.A., Sheremet I.B., Ishchuk V.A. K voprosu o sistemnoi otsenke effektivnosti robototekhnicheskikh komplekсов voennogo naznacheniya s ispol'zovaniem innovatsionnykh tekhnologii na baze modelirovaniya voennykh deistvii // Oboronnyi kompleks-nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. 2014. №4 (124). S. 21-26.
7. Minakov E.P., Tarasov A.G. Robototekhnicheskie komplekсы avtomatizirovannykh sistem upravleniya podgotovkoi i puskom raket kosmicheskogo naznacheniya i pokazateli effektivnosti ikh primeneniya // Promyshlennye ASU i kontroly. 2015. №6. S. 19-24.
8. Nagovitsin A.I., Nagovitsin K.A., Sazykin A.M. robototekhnicheskie komplekсы voennogo naznacheniya i perspektivy ikh primeneniya v raketnykh voiskakh i artillerii Sukhoputnykh voisk // Izvestiya Rossiiskoi akademii raketnykh i artilleriiskikh nauk. 2015. №2. S. 57-62.
9. Simanov S.E., Tsarichenko S.G., Pavlov E.V., Isavnina I.N. Standartizatsiya i unifikatsiya v oblasti ekstremal'noi robototekhniki (puti i resheniya na primere MChS Rossii) // Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika. 2015. №1 (6). S. 3-5.
10. Robototekhnicheskie komplekсы voennogo i dvoynogo naznacheniya. Spravochnye materialy. Moskva: FGBU «GNIITs RT» MO RF, 2014. 288 с.
11. Chausov D.N., Petukhov I.V., Belyaev V.V., Bogachev K.A., Kurasov P.A. Programmno-apparatnyi kompleks otsenki effektivnosti deyatel'nosti operatorov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-matematika. 2014. №2. S. 80-86.
12. Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Kontseptual'nye osnovy matematicheskogo obespecheniya obrabotki informatsii o funktsional'nykh sostoyaniyakh operatorov v inzhenerno-psikhologicheskikh i ergonomicheskikh

- issledovaniyakh // Razvitie psikhologii v sisteme kompleksnogo chelovekoznanija: chast' 2 / Otv. red. A. L. Zhuravlev, V. A. Kol'tsova.–M.: Izd-vo Instituta psikhologii RAN, 2012. S. 415-417.
13. Bondarenko A.G., Kharitonov V.V., Solovei Yu.N. Ergonomicheskaya optimizatsiya obuchayushchei sredy pri podgotovke aviatsionnykh spetsialistov s ispol'zovaniem komp'yuternykh sistem // Trendy i upravlenie. 2015. №3. С. 301–317.
 14. Krylov A.A. Chelovek v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya. L.: LGU, 1972. 192 s.
 15. Voprosy inzhenernoi psikhologii v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya / Pod red. S.N.Safaryana L.: LGU, 1972. 144 s.
 16. Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A., Ponomarenko A.V., Kozlovskii E.A. Metodicheskoe obespechenie issledovaniya nervno-emotsional'nogo napryazheniya i rezervov vnimaniya operatora v protsesse trenazhnoi podgotovki // Aktual'nye problemy psikhologii truda, inzhenernoi psikhologii i ergonomiki. Vypusk 5 / Pod red. A.A.Oboznova, A.L.Zhuravleva. M.: Izdatel'stvo Instituta psikhologii RAN, 2013. S. 153–176.
 17. Petukhov I.V. Issledovanie sensorno-motornogo vzaimodeistviya cheloveka-operatora i tekhnicheskoi sistemy // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2012. №2. S. 33-37.
 18. Denisov V.A. Sravnitel'nyi analiz operatorskoi deyatel'nosti i ee sryvov // Psikhologicheskie problemy deyatel'nosti v osobykh usloviyakh. / Pod red. B.F.Lomova, Yu.M.Zabrodina M.: Nauka, 1985.232 s.
 19. Lomov B.F. Chelovek i tekhnika. M.: Znanie, 1966. 256 s.
 20. Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Avtomatizatsiya personifitsirovannogo monitoringa uslovii truda // Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii. 2015. №3. S. 6-8.
 21. Nikiforov D.A., Vorona A.A., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Metodika otsenivaniya potentsial'noi nenadezhnosti deistvii letchika // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2015. №7 (175). S. 7-16.
 22. Guzii A.G., Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Metodologiya stabilizatsii funktsional'nogo sostoyaniya operatora sistemy «chelovek-mashina» // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2002. №5. S. 9.
 23. Shibanov G.P. Kolichestvennaya otsenka deyatel'nosti cheloveka v sistemakh chelovek-tekhnika. M.: Mashinostroenie, 1983. 263 s.
 24. Petukhov I.V. Model' i sistema otsenki uspehnosti operatorskoi deyatel'nosti v cheloveko-mashinnykh sistemakh upravleniya // Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya. 2011. №3. S. 156-162.
 25. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Metodologicheskie aspekty dinamicheskogo kontrolya funktsional'nykh sostoyanii operatorov opasnykh professii // Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychainykh situatsiyakh. 2010. №4-2. S. 6-12.
 26. Gridin L.A., Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Ispol'zovanie matematicheskikh metodov pri otsenke funktsional'nogo sostoyaniya operatora sistemy chelovek-mashina // Chelovecheskii faktor: problemy psikhologii i ergonomiki. 2003. №3. S. 108.
 27. Frumkin A.A., Zinchenko T.P., Vinokurov L.V. Metody i sredstva ergonomicheskogo obespecheniya proektirovaniya. SPb.: PGUPS, 1999. 179 s.
 28. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Metody obrabotki informatsii v zadachakh diagnostiki funktsional'nykh sostoyanii operatora // Aktual'nye problemy psikhologii truda, inzhenernoi psikhologii i ergonomiki. Vypusk 3 / Pod. red. V.A. Bodrova, A.L. Zhuravleva. M.: Izdatel'stvo Instituta psikhologii RAN, 2012. S. 316-336.
 29. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Ushakov I.B. Matematicheskoe obespechenie otsenivaniya sostoyaniya material'nykh sistem. Informatsionnye tekhnologii. 2004. №7 (prilozhenie). 32 s.
 30. Lukash A.A., Dimitriev Yu.V., Zhitnikov A.G. Metody ergonomicheskogo obespecheniya razrabotki sistem upravleniya ergaticheskikh kompleksov // Trendy i upravlenie. 2015. №2. S. 154-161.
 31. Bogomolov A.V. Kontseptsiya matematicheskogo obespecheniya diagnostiki sostoyaniya cheloveka // Informatika i sistemy upravleniya. 2008. №2 (16). S. 11-13.
 32. Vvedenie v ergonomiku / Pod red. V.P.Zinchenko M.: Sovetskoe radio, 1974. 352 s