

§4 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, ПОИСК, АНАЛИЗ И ФИЛЬТРАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ

Алёхин М. Д., Алёхин Ф. Д.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ БИОРАДИОЛОКАЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕТЧИКА

Аннотация: Предметом исследования является автоматизированный биорадиолокационный контроль функционального состояния летчика для обеспечения возможности учета такой оценки в контуре управления самолетом в реальном времени. Разработанные методы и алгоритмы обработки информации впервые позволили обеспечить корректную математическую обработку физиологических сигналов без ограничения двигательной активности летчика при их регистрации за счет учета нестационарности и внутривидовой вариабельности сигналов при их обработке. Это, в свою очередь, существенно расширило потенциальные возможности бесконтактного мониторинга состояния летчика. Методы исследования: системный анализ, фильтрация радиосигналов, вейвлет-анализ, искусственные нейронные сети, математическая кибернетика, распознавание образов. Разработанная методика биорадиолокационного контроля состояния летчика позволяет обеспечить диагностику опасных (для надежной профессиональной деятельности) состояний по показателям активности сердечно-сосудистой и дыхательной системы. Реализация результатов исследования обеспечивает возможность повышения надежности функционирования летательных аппаратов за счет реализации бесконтактного мониторинга состояния летного состава в интересах повышения надежности его профессиональной деятельности и учета оценки текущего состояния в контурах управления воздушным судном.

Ключевые слова: мониторинг состояния человека, биорадиолокационный мониторинг, вейвлет-анализ сигналов, искусственная нейронная сеть, контур управления самолетом, математическая кибернетика, медицинская информатика, управление эргатической системой, паттерн сигнала, автоматизированная обработка сигналов

Review: The subject of the study is an automated functional state bioradiolokation control of pilot to ensure accountability of such an assessment in the process of operation of the aircraft in real time. The developed methods and algorithms of data processing for the first time enable the correct mathematical treatment of physiological signals that are not limited to the pilot motor activity in

their registration by taking into account nonstationarity and intraspecific variability in processing signals. This, in turn, significantly increase the potential for non-contact monitoring of the status of the pilot. Methods used in the research: a systematic analysis, filtering radio signals, wavelet analysis, artificial neural networks, mathematical cybernetics, pattern recognition. The developed technique of monitoring of bioradiolokation of condition of pilot enables the diagnostics of dangerous (for reliable professional activity) states in terms of the activity of the cardiovascular and respiratory system. Implementing the results of the study provides the possibility of increasing the reliability of operation of aircraft through the use of non-contact monitoring of the state of flight personnel in order to improve the reliability of their professional activities and account evaluation of the current state circuits control the aircraft.

Keywords: *medical informatics, mathematical cybernetics, loop control of the aircraft, artificial neural network, wavelet analysis of signals, bioradiolokation monitoring, monitoring of the state human, ergatic management system, pattern of signal, automated signal processing*

Федеральная целевая программа «Обеспечение безопасности полетов воздушных судов государственной авиации Российской Федерации в 2011-2015 годах» определяет одним из приоритетов создание единой системы безопасности полетов, основанной на полном и достоверном анализе информации о состоянии авиационных систем и всестороннем анализе процессов их функционирования. Такая постановка задачи определяет необходимость разработки методов и алгоритмов обработки информации мониторинга состояния авиационных комплексов как эргатических систем (ЭС), позволяющих учитывать характеристики функционального состояния (ФС) операторов в контурах их управления [1-8].

В настоящее время не вызывает сомнений, что опасные ФС операторов эргатических систем (утомление, монотония, гипокинезия, нервно-эмоциональное напряжение и др.) существенно снижают функциональную надежность их профессиональной деятельности, обуславливая снижение безопасности полетов [9-14]. Так, в частности, Международная организация гражданской авиации (ИКАО) определяет утомляемость как ФС пониженной умственной или физической работоспособности в результате нарушений сна или длительного бодрствования, фазы суточного ритма или рабочей нагрузки, которое ухудшает работоспособность операторов ЭС (ОЭС) и снижает надежность их деятельности. При этом наиболее распространенными нарушениями, приводящими к дневной сонливости и повышенной утомляемости ОЭС, являются расстройства дыхания во сне.

Проведенный опрос членов Ассоциации пилотов гражданской авиации показал, что более 60% из них испытывали приступы непреодолимой сонливости во время полета, при этом еще 70% ответили, что хотя бы раз совершали ошибки в управлении воздушным судном из-за повышенного уровня утомляемости. Результаты независимого исследования штатных пилотов Изиджет, показали, что почти у 50% из 492 опрошенных отмечена повышенная утомляемость, а еще 20% респондентов испытывали приступы сонливости

во время полёта чаще, чем раз в неделю [15, 16].

Ранние исследования показали целесообразность применения для дистанционного биорадиолокационного мониторинга (БМ) состояния человека биорадиолокационных технологий, для реализации которых разработаны аппаратно-программные комплексы (АПК), удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к аппаратуре биорадиолокационного мониторинга состояния ОЭС [17-20]. Практическое применение таких АПК требует реализации автоматизированной обработки физиологических сигналов, являющихся нестационарными квазипериодическими и низкочастотными.

Общая процедура обработки сигналов о состоянии оператора эргатической системы

Процедура обработки и анализа БРЛ сигналов включает следующие основные этапы: предобработка; извлечение информативных признаков; распознавание паттернов БРЛ сигнала (ПБРЛС) [21-30].

На этапе предварительной обработки БРЛ сигналов для снижения уровня шумов и удаления случайных выбросов используется медианная фильтрация по методу скользящего среднего. При выделении информативных частотных диапазонов БРЛ сигналов эффективными являются полосовые фильтры Баттерворта с максимально плоской амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ). Анализ ПБРЛС целесообразно проводить после использования процедур сглаживания и аппроксимации, используя на заключительных этапах предобработки, методы объединения квадратур БРЛ сигналов, в частности, арктангенсную и комплексную демодуляции.

На этапе извлечения информативных признаков БРЛ сигналов в практических приложениях биорадиолокационного мониторинга состояния ЭС наибольшую ценность представляют значения характерных частот регистрируемых БРЛ процессов за время наблюдения. Традиционно для этих целей используется дискретное преобразование Фурье (ПФ) при том допущении, что на анализируемом участке сигнал является стационарным. В дальнейшем по полученному спектру определяются максимумы, соответствующие значениям характерных частот регистрируемых БРЛ сигналов. В работах отечественных и зарубежных ученых отмечается, что использование оконного преобразования Фурье (ОПФ) при выборе оптимальных параметров окна позволяет получить информацию и о временной зависимости изменения частотных компонент БРЛ сигналов [25-36].

Этап распознавания ПБРЛС в задачах биорадиолокационного мониторинга состояния ЭС является наиболее слабо исследованным и требует разработки с учетом особенностей решаемой прикладной задачи. Начальным этапом распознавания ПБРЛС является определение их информативных признаков. Показано, что перспективным направлением решения этой задачи является использование время-частотного (ВРЧ) анализа [22-30, 37, 38].

Особенности автоматизированного распознавания паттернов биорадиолокационных сигналов

На основе обобщения функциональных особенностей искусственных нейронных сетей (ИНС) прямого распространения обосновывается выбор базовой топологии ИНС для распознавания ПБРЛС - исходя из соображений конструирования ИНС минимальной сложности с возможностью использования широкого арсенала методов поиска оптимальных решений при относительно небольших аппаратных затратах оперативной памяти выбран многослойный перцептрон (МСП) с одним скрытым слоем и сигмоидальной функцией активации [15, 21, 29, 32, 33, 37, 38].

Предложенный метод распознавания ПБРЛС на основе совместного использования ИНС и ВП, включает три основных этапа.

1) Во время предварительной обработки БРЛ сигналов производится фильтрация с использованием фильтров Баттерворта верхних (ФВЧ) и нижних (ФНЧ) частот, сглаживание медианным фильтром скользящего среднего и Z-нормализация данных.

2) Далее пространство признаков ПБРЛС формируется на основе последовательности абсолютных значений детализирующих коэффициентов ВП квадратурных компонент БРЛ сигналов.

3) Описание ПБРЛС подается на вход ИНС, на выходе которой регистрируется значение, соответствующее одному из выбранных классов состояний.

Исследование эффективности разработанной технологии

Сбор верифицированного массива БРЛ сигналов для исследования эффективности предложенных решений осуществлялся при проведении биорадиолокационного БРЛ мониторинга состояния ЭС параллельно с записью полной стандартной полисомнографии (ПСГ) [21, 23, 25, 27, 29].

Верификация сигналов осуществлялась следующим образом. Визуально анализировалась вся запись и если находился участок БРЛ сигнала длительностью более 10 с, потенциально похожий на один из характерных ПБРЛС, то он сравнивался с аналогичным по времени участком на записи ПСГ. Интерпретация результатов мониторинга выполнялась квалифицированными специалистами.

При исследовании информативности биорадиолокационного метода по сравнению со стандартным контактным методом мониторинга состояния ЭС в зависимости от принятия положительного или отрицательного решения о наличии характерных ПБРЛС.

Алгоритм автоматизированного распознавания ПБРЛС на основе детализирующих коэффициентов 3-го уровня ВП по базису Симлет 13 для формирования пространства признаков и МСП с 9 скрытыми нейронами с настройкой по алгоритму Левенберга–Марквардта для классификации обеспечивает общую точность распознавания более 84% при величине ошибки второго рода менее 8%. Рассчитанные показатели чувствительности 69% и прогностической ценности положительного решения 72% о наличии ПБРЛС

удовлетворяют рекомендациям по биорадиолокационному мониторингу состояния оператора ЭС, производимых машиностроительной и оборонной промышленностью.

* * *

Разработанная методика биорадиолокационного контроля состояния лётчика позволяет обеспечить диагностику опасных (для надежной профессиональной деятельности) ФС (утомление, монотония, гипокинезия, нервно-эмоциональное напряжение и др.), информативными для которой являются показатели состояния сердечно-сосудистой и дыхательной системы человека.

Следует отметить, что к настоящему времени создана аппаратура, обеспечивающая бесконтактную регистрацию физиологических сигналов, требуемых для обеспечения диагностики ФС в реальном времени (биорадиолокаторы, актиграфы и др.). Разработанные методы и алгоритмы обработки информации впервые позволили обеспечить корректную математическую обработку физиологических сигналов без ограничения двигательной активности операторов ЭС при их регистрации за счет учета нестационарности и внутривидовой вариабельности сигналов при их обработке. Это, в свою очередь, существенно расширило потенциальные возможности бесконтактного мониторинга состояния оператора ЭС.

Приоритетными направлениями практического использования результатов исследования для обеспечения безопасности полетов являются:

- обеспечение объективной диагностики выраженности опасных ФС летчика в процессе профессиональной деятельности в реальном времени для учета такой оценки в системах автоматического управления ЭС, а также для контролируемого сна членов экипажей многоместных магистральных летательных аппаратов;
- реализация мониторинга функционального напряжения летного состава при проведении тренажерной подготовки;
- объективизация исследования состояния сердечно-сосудистой и дыхательной системы летчика в процессе медицинского освидетельствования, в том числе, при выполнении функциональных нагрузочных проб, при исследованиях особенностей ночного сна и т.п.;
- оптимизация эргономического проектирования летательных аппаратов за счет обеспечения мониторинга ФС летчика на всех этапах его профессиональной деятельности.

Таким образом, можно утверждать, что результаты исследования обеспечивают возможность повышения надежности функционирования летательных аппаратов за счет реализации бесконтактного мониторинга состояния летного состава в интересах повышения функциональной надежности его профессиональной деятельности и учета оценки текущего ФС в контурах управления воздушным судном.

Библиография :

1. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Принципы организации контроля и оптимизации функционального состояния операторов // Безопасность жизнедеятельности. 2006. № 1. С. 4-10.
2. Гузий А.Г., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Теоретические основы функционально-адаптивного управления системами «человек-машина» повышенной аварийности // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. № 1.
3. Кукушкин Ю.А., Гузий А.Г., Богомолов А.В. Методология стабилизации функционального состояния оператора системы «человек-машина» // Мехатроника, автоматизация, управление. 2002. № 5. С. 17.
4. Макаренко В.Г., Подорожняк А.А., Рудаков С.В., Богомолов А.В. Инерциально-спутниковая навигационная система управления транспортными средствами // Проблемы управления. 2007. № 1. С. 64-71.
5. Гузий А.Г., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В. Методология стабилизации функционального состояния оператора системы «человек-машина» // Мехатроника, автоматизация, управление. 2002. № 5. С. 9.
6. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Паттерны функциональных состояний оператора. М.: Наука, 2010. 390 с.
7. Фёдоров М.В., Богомолов А.В., Цыганок Г.В., Айвазян С.А. Технология проектирования многофакторных экспериментальных исследований и построения эмпирических моделей комбинированных воздействий на операторов эргатических систем // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т.8. № 5. С. 53-61.
8. Щербаков С.А., Кукушкин Ю.А., Солдатов С.К., Зинкин В.Н., Богомолов А.В. Психофизиологические аспекты совершенствования методов изучения ошибочных действий летного состава на основе концепции человеческого фактора // Проблемы безопасности полетов. 2007. № 8. С. 10.
9. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Гузий А.Г. Принципы построения системы обеспечения жизнедеятельности операторов систем «человек-машина», адаптивных к их функциональному состоянию // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. № 3. С. 50.
10. Солдатов С.К., Гузий А.Г., Богомолов А.В., Шишов А.А., Кукушкин Ю.А., Щербаков С.А., Кирий С.В. Априорное оценивание профессиональной надежности летчика на этапе подготовки к полетам // Проблемы безопасности полетов. 2007. № 8. С. 33.
11. Ушаков И.Б., Богомолов 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.
12. Гузий А.Г., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Пономаренко А.В., Федоров М.В., Щербаков С.А. Технология синтеза интегральных показателей функционального состояния членов летного экипажа // Проблемы безопасности полетов. 2007. № 1.
13. Горячкина Т.Г., Ушаков И.Б., Евдокимов В.И., Богомолов А.В. Методико-методологические рекомендации авторам инноваций по диагностике функционального состояния человека-оператора // Технологии живых систем. 2006. Т. 3. № 3. С. 33-38.
14. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В. Методика синтеза индекса психофизиологического напряжения оператора // Медицинская техника. 2001. № 4. С. 29-33.

15. Алёхин М.Д., Корчагина Д.А., Демендеев А.А., Темляков А.Ю. Методика бесконтактного контроля состояния оператора эргатической системы // Инженерный вестник. 2013. № 11. С. 15.
16. Алёхин М.Д. Технология бесконтактного мониторинга состояния операторов эргатических систем // Оборонный комплекс-научно-техническому прогрессу России. 2014. № 1 (121). С. 3-7.
17. Бугаев А.С., Васильев И.А., Ивашов С.И. Обнаружение и дистанционная диагностика состояния людей за препятствиями с помощью РЛС // Радиотехника. 2003. № 7. С. 42.
18. Алёхин М.Д., Алёхин Ф.Д., Алборова И.Л., Анищенко Л.Н., Богомолов А.В., Демендеев А.А., Ивашов С.И., Майстров А.И., Корчагина Д.А., Рыжова Н.В., Татарайдзе А.Б., Темляков А.Ю., Ушкова Е.В. Устройство для автоматизированного распознавания паттернов биорадиолокационных сигналов. Патент на полезную модель № 142167. Заявл. 13.02.2014, опубл. 20.06.2014, бюлл. №17. 2 с.
19. Богомолов А.В., Шибанов Г.П., Кукушкин Ю.А., Солдатов С.К. Устройство для прогнозирования медико-биологических эффектов воздушной ударной волны. Патент на полезную модель № 141771. Заявл. 11.09.2013, опубл. 10.06.2014, бюлл. №16. 2 с.
20. Бугаев А.С., Васильев И.А., Ивашов С.И., Чапурский В.В. Радиолокационные методы выделения сигналов дыхания и сердцебиения // Радиотехника и электроника. 2006. Т. 51. № 10. С. 1224-1239.
21. Алёхин М.Д. Процедура определения оптимальных параметров вейвлет-преобразования и нейросетевого классификатора для распознавания паттернов нестационарных биорадиолокационных сигналов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2012. № 6. С. 46-54.
22. Майстров А.И., Богомолов А.В., Алёхин М.Д. Технология автоматизированной обработки участков локальных нестационарностей в ритмокардиографических сигналах // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2012. № 1. С. 4.
23. Алёхин М.Д., Анищенко Л.Н., Корчагина Д.А. Метод биорадиолокации в анализе перемещений грудной клетки при спокойном дыхании // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 10. С. 56-61.
24. Богомолов А.В., Майстров А.И. Теоретико-экспериментальное исследование сходимости оценок спектральных показателей variability сердечного ритма человека // Медицинская техника. 2009. № 2. С. 26-31.
25. Алёхин М.Д., Анищенко Л.Н., Журавлёв А.В., Дьяченко А.И. Методы взаимного корреляционно-спектрального анализа в сравнении данных биорадиолокации и респираторной плетизмографии // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 8. С. 3-10.
26. Богомолов А.В. Концепция математического обеспечения диагностики состояния человека // Информатика и системы управления. 2008. № 2 (16). С. 11-13.
27. Алёхин М.Д., Анищенко Л.Н., Журавлёв А.В. Кратномасштабный вейвлет-анализ в формировании пространства признаков двигательных паттернов биорадиолокационного сигнала // Радиотехника. 2011. № 11. С. 20-24.
28. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В. Методика количественного оценивания функциональных состояний человека // Биомедицинская радиоэлектроника. 2001. № 2. С. 12.

29. Алёхин М.Д., Анищенко Л.Н., Журавлёв А.В. Метод классификации дыхательных паттернов биорадиолокационного сигнала на основе искусственных нейронных сетей и вейвлет-анализа // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. № 10. С. 57-64.
30. Кукушкин Ю.А., Майстров А.И., Богомолов А.В. Методы аппроксимации ритмокардиограмм для расчета оценок спектральных показателей variability сердечного ритма // Медицинская техника. 2010. № 3. С. 15-30.
31. Богомолов А.В., Майстров А.И. Моделирование ритмокардиографических сигналов в частотной области // Динамика сложных систем-XXI век. 2009. № 1. С. 49.
32. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Ушаков И.Б. Математическое обеспечение оценивания состояния материальных систем // Информационные технологии. 2004. № 7 (приложение). 32 с.
33. Ушаков И.Б., Ворона А.А., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В. Аппаратно-программные комплексы для медико-психологического обеспечения контроля надежности профессиональной деятельности человека в условиях высокого риска возникновения чрезвычайной ситуации // Безопасность жизнедеятельности. 2004. № 3. С. 8.
34. Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Автоматизация персонифицированного мониторинга условий труда // Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 3. С. 6-8.
35. Ушаков И.Б., Богомолов А.В. Информатизация программ персонифицированной адаптационной медицины // Вестник Российской академии медицинских наук. 2014. № 5-6. С. 124-128.
36. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Психофизиологические механизмы формирования и развития функциональных состояний // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2014. Т. 100. № 10. С. 1130-1137.
37. Аджемов С.С., Терешонок М.В., Чиров Д.С. Распознавание видов цифровой модуляции радиосигналов с использованием нейронных сетей // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2015. № 1. С. 23-28.
38. Виноградов А.Н., Макаренков С.А., Чиров Д.С. Применение методов data mining для формирования базы знаний экспертной системы классификации радиосигналов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2010. Т. 4. № 11. С. 61-64.
39. Столяр В.П. Методологические особенности прогнозирования ситуационной медицинской обстановки // Тренды и управление.-2015.-1.-С. 3-9. DOI: 10.7256/2307-9118.2015.1.14118.
40. Лушкин А.М. Технология автоматизированной рискометрии функциональной надёжности оператора эргатической системы // Тренды и управление.-2015.-1.-С. 78-86. DOI: 10.7256/2307-9118.2015.1.14117.
41. Воробьёв А.А., Лагойко О.С. Информационно-диагностические системы встроенного контроля состояния воздушных судов // Программные системы и вычислительные методы.-2014.-4.-С. 437-445. DOI: 10.7256/2305-6061.2014.4.13995.
42. Столяр В.П. Методологические особенности прогнозирования ситуационной медицинской обстановки // Тренды и управление. - 2015. - 1. - С. 3 - 9. DOI: 10.7256/2307-9118.2015.1.14118.
43. Лушкин А.М. Технология автоматизированной рискометрии функциональной надёжности оператора эргатической системы // Тренды и управление. - 2015. - 1. - С. 78 - 86. DOI: 10.7256/2307-9118.2015.1.14117.

44. Воробьёв А.А., Лагойко О.С. Информационно-диагностические системы встроенного контроля состояния воздушных судов // Программные системы и вычислительные методы. - 2014. - 4. - С. 437 - 445.
DOI: 10.7256/2305-6061.2014.4.13995.
45. Солнцев В.И., Сомов М.В., Скуратовский Н.И. Автоматизация эргономических экспертиз средств защиты от шума // Программные системы и вычислительные методы. - 2014. - 4. - С. 446 - 455.
DOI: 10.7256/2305-6061.2014.4.14054.
46. Есев А.А., Лагойко О.С. Методика автоматизированной обработки изображений в авиационных системах визуального мониторинга внекабинной обстановки // Программные системы и вычислительные методы. - 2015. - 1. - С. 79 - 88. DOI: 10.7256/2305-6061.2015.1.14304

References:

1. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Printsipy organizatsii kontrolya i optimizatsii funktsional'nogo sostoyaniya operatorov // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2006. № 1. S. 4-10.
2. Guzii A.G., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Teoreticheskie osnovy funktsional'no-adaptivnogo upravleniya sistemami «chelovek-mashina» povyshennoi avariinosti // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2005. № 1.
3. Kukushkin Yu.A., Guzii A.G., Bogomolov A.V. Metodologiya stabilizatsii funktsional'nogo sostoyaniya operatora sistemy «chelovek-mashina» // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2002. № 5. S. 17.
4. Makarenko V.G., Podorozhnyak A.A., Rudakov S.V., Bogomolov A.V. Inertsial'no-sputnikovaya navigatsionnaya sistema upravleniya transportnymi sredstvami // Problemy upravleniya. 2007. № 1. S. 64-71.
5. 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.
6. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Patterny funktsional'nykh sostoyanii operatora. M.: Nauka, 2010. 390 s.
7. Fedorov M.V., Bogomolov A.V., Tsyganok G.V., Aivazyan S.A. Tekhnologiya proektirovaniya mnogofakturnykh eksperimental'nykh issledovaniy i postroyeniya empiricheskikh modelei kombinirovannykh vozdeystvii na operatorov ergaticheskikh sistem // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2010. T.8. № 5. S. 53-61.
8. Shcherbakov S.A., Kukushkin Yu.A., Soldatov S.K., Zinkin V.N., Bogomolov A.V. Psikhofiziologicheskie aspekty sovershenstvovaniya metodov izucheniya oshibochnykh deystvii letnogo sostava na osnove kontseptsii chelovecheskogo faktora // Problemy bezopasnosti poletov. 2007. № 8. S. 10.
9. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Guzii A.G. Printsipy postroyeniya sistemy obespecheniya zhiznedeyatel'nosti operatorov sistem «chelovek-mashina», adaptivnykh k ikh funktsional'nomu sostoyaniyu // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2005. № 3. S. 50.
10. Soldatov S.K., Guzii A.G., Bogomolov A.V., Shishov A.A., Kukushkin Yu.A., Shcherbakov S.A., Kirii S.V. Apriornoe otsenivanie professional'noi nadezhnosti letchika na etape podgotovki k poletam // Problemy bezopasnosti poletov. 2007. № 8. S. 33.
11. 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 chrezvychaynykh situatsiyakh. 2010. № 4-2. S. 6-12.

12. Guzii A.G., Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Ponomarenko A.V., Fedorov M.V., Shcherbakov S.A. Tekhnologiya sinteza integral'nykh pokazatelei funktsional'nogo sostoyaniya chlenov letnogo ekipazha // Problemy bezopasnosti poletov. 2007. № 1.
13. Goryachkina T.G., Ushakov I.B., Evdokimov V.I., Bogomolov A.V. Metodiko-metodologicheskie rekomendatsii avtoram innovatsii po diagnostike funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka-operatora // Tekhnologii zhivykh sistem. 2006. T. 3. № 3. S. 33-38.
14. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Metodika sinteza indeksa psikhofiziologicheskogo napryazheniya operatora // Meditsinskaya tekhnika. 2001. № 4. S. 29-33.
15. Alekhin M.D., Korchagina D.A., Demendeev A.A., Temlyakov A.Yu. Metodika beskontaktnogo kontrolya sostoyaniya operatora ergaticheskoi sistemy // Inzhenernyi vestnik. 2013. № 11. S. 15.
16. Alekhin M.D. Tekhnologiya beskontaktnogo monitoringa sostoyaniya operatorov ergaticheskikh sistem // Oboronny kompleks-nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. 2014. № 1 (121). S. 3-7.
17. Bugaev A.S., Vasil'ev I.A., Ivashov S.I. Obnaruzhenie i distantsionnaya diagnostika sostoyaniya lyudei za prepyatstviyami s pomoshch'yu RLS // Radiotekhnika. 2003. № 7. S. 42.
18. Alekhin M.D., Alekhin F.D., Alborova I.L., Anishchenko L.N., Bogomolov A.V., Demendeev A.A., Ivashov S.I., Maistrov A.I., Korchagina D.A., Ryzhova N.V., Tataraidze A.B., Temlyakov A.Yu., Ushkova E.V. Ustroistvo dlya avtomatizirovannogo raspoznavaniya patternov bioradiolokatsionnykh signalov. Patent na poleznuyu model' № 142167. Zayavl. 13.02.2014, opubl. 20.06.2014, byull. №17. 2 s.
19. Bogomolov A.V., Shibanov G.P., Kukushkin Yu.A., Soldatov S.K. Ustroistvo dlya prognozirovaniya mediko-biologicheskikh effektivov vozduшной udarnoi volny. Patent na poleznuyu model' № 141771. Zayavl. 11.09.2013, opubl. 10.06.2014, byull. №16. 2 s.
20. Bugaev A.S., Vasil'ev I.A., Ivashov S.I., Chapurskii V.V. Radiolokatsionnye metody vydeleniya signalov dykhaniya i serdtsebeniya // Radiotekhnika i elektronika. 2006. T. 51. № 10. S. 1224-1239.
21. Alekhin M.D. Protseura opredeleniya optimal'nykh parametrov veivlet-preobrazovaniya i neurosetevogo klasifikatora dlya raspoznavaniya patternov nestatsionarnykh bioradiolokatsionnykh signalov // Neurokomp'yutery: razrabotka, primeneniye. 2012. № 6. S. 46-54.
22. Maistrov A.I., Bogomolov A.V., Alekhin M.D. Tekhnologiya avtomatizirovannoi obrabotki uchastkov lokal'nykh nestatsionarnosti v ritmokardiograficheskikh signalakh // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii. Elektronnoe izdanie. 2012. № 1. S. 4.
23. Alekhin M.D., Anishchenko L.N., Korchagina D.A. Metod bioradiolokatsii v analize peremeshchenii grudnoi kletki pri spokoinom dykhanii // Biomeditsinskaya radioelektronika. 2009. № 10. S. 56-61.
24. Bogomolov A.V., Maistrov A.I. Teoretiko-eksperimental'noe issledovanie skhodimosti otsenok spektral'nykh pokazatelei variabel'nosti serdechnogo ritma cheloveka // Meditsinskaya tekhnika. 2009. № 2. S. 26-31.
25. Alekhin M.D., Anishchenko L.N., Zhuravlev A.V., D'yachenko A.I. Metody vzaimnogo korrelyatsionno-spektral'nogo analiza v sravnenii dannykh bioradiolokatsii i respiratornoi pletizmografii // Biomeditsinskaya radioelektronika. 2012. № 8. S. 3-10.
26. Bogomolov A.V. Kontseptsiya matematicheskogo obespecheniya diagnostiki sostoyaniya cheloveka // Informatika i sistemy upravleniya. 2008. № 2 (16). S. 11-13.

27. Alekhin M.D., Anishchenko L.N., Zhuravlev A.V. Kratnomasshtabnyi veivlet-analiz v formirovanii prostranstva priznakov dvigatel'nykh patternov bioradiolokatsionnogo signala // Radiotekhnika. 2011. № 11. S. 20-24.
28. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Metodika kolichestvennogo otsenivaniya funktsional'nykh sostoyanii cheloveka // Biomeditsinskaya radioelektronika. 2001. № 2. S. 12.
29. Alekhin M.D., Anishchenko L.N., Zhuravlev A.V. Metod klassifikatsii dykhatel'nykh patternov bioradiolokatsionnogo signala na osnove iskusstvennykh neironnykh setei i veivlet-analiza // Biomeditsinskaya radioelektronika. 2011. № 10. S. 57-64.
30. Kukushkin Yu.A., Maistrov A.I., Bogomolov A.V. Metody approksimatsii ritmokardiogramm dlya rascheta otsenok spektral'nykh pokazatelei variabel'nosti serdechnogo ritma // Meditsinskaya tekhnika. 2010. № 3. S. 15-30.
31. Bogomolov A.V., Maistrov A.I. Modelirovanie ritmokardiograficheskikh signalov v chastotnoi oblasti // Dinamika slozhnykh sistem-XXI vek. 2009. № 1. S. 49.
32. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Ushakov I.B. Matematicheskoe obespechenie otsenivaniya sostoyaniya material'nykh sistem // Informatsionnye tekhnologii. 2004. № 7 (prilozhenie). 32 s.
33. Ushakov I.B., Vorona A.A., Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Apparatno-programmnye komplekсы dlya mediko-psikhologicheskogo obespecheniya kontrolya nadezhnosti professional'noi deyatel'nosti cheloveka v usloviyakh vysokogo riska vozniknoveniya chrezvychainoi situatsii // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2004. № 3. S. 8.
34. Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Avtomatizatsiya personifitsirovannogo monitoringa uslovii truda // Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii. 2015. № 3. S. 6-8.
35. Ushakov I.B., Bogomolov A.V. Informatizatsiya programm personifitsirovannoi adaptatsionnoi meditsiny // Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk. 2014. № 5-6. S. 124-128.
36. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Psikhofiziologicheskie mekhanizmy formirovaniya i razvitiya funktsional'nykh sostoyanii // Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova. 2014. T. 100. № 10. S. 1130-1137.
37. Adzhemov S.S., Tereshonok M.V., Chirov D.S. Raspoznavanie vidov tsifrovoi modulyatsii radiosignalov s ispol'zovaniem neironnykh setei // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya. 2015. № 1. S. 23-28.
38. Vinogradov A.N., Makarenkov S.A., Chirov D.S. Primenenie metodov data mining dlya formirovaniya bazy znaniy ekspertnoi sistemy klassifikatsii radiosignalov // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2010. T. 4. № 11. S. 61-64.
39. Stolyar V.P. Metodologicheskie osobennosti prognozirovaniya situatsionnoi meditsinskoj obstanovki // Trendy i upravlenie. -2015.-1.-C. 3-9. DOI: 10.7256/2307-9118.2015.1.14118.
40. Lushkin A.M. Tekhnologiya avtomatizirovannoi riskometrii funktsional'noi nadezhnosti operatora ergaticheskoi sistemy // Trendy i upravlenie. -2015.-1.-C. 78-86. DOI: 10.7256/2307-9118.2015.1.14117.
41. Vorob'ev A.A., Lagoiko O.S. Informatsionno-diagnosticheskie sistemy vstroennogo kontrolya sostoyaniya vozdukhnykh sudov // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. -2014.-4.-C. 437-445. DOI: 10.7256/2305-6061.2014.4.13995.
42. Stolyar V.P. Metodologicheskie osobennosti prognozirovaniya situatsionnoi meditsinskoj obstanovki // Trendy i upravlenie. - 2015. - 1. - C. 3 - 9. DOI: 10.7256/2307-9118.2015.1.14118.
43. Lushkin A.M. Tekhnologiya avtomatizirovannoi riskometrii funktsional'noi nadezhnosti operatora ergaticheskoi sistemy // Trendy i upravlenie. - 2015. - 1. - C. 78 - 86. DOI: 10.7256/2307-9118.2015.1.14117.

44. Vorob'ev A.A., Lagoiko O.S. Informatsionno-diagnosticheskie sistemy vstroennogo kontrolya sostoyaniya vozdukhnykh sudov // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. - 2014. - 4. - С. 437 - 445.
DOI: 10.7256/2305-6061.2014.4.13995.
45. Solntsev V.I., Somov M.V., Skuratovskii N.I. Avtomatizatsiya ergonomicheskikh ekspertiz sredstv zashchity ot shuma // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. - 2014. - 4. - С. 446 - 455. DOI: 10.7256/2305-6061.2014.4.14054.
46. Esev A.A., Lagoiko O.S. Metodika avtomatizirovannoi obrabotki izobrazhenii v aviatsionnykh sistemakh vizual'nogo monitoringa vnekabinnoi obstanovki // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. - 2015. - 1. - С. 79 - 88.
DOI: 10.7256/2305-6061.2015.1.14304