

§ 7 КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА, ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Есев А. А., Лагойко О. С.

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ВИЗУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ВНЕКАБИННОЙ ОБСТАНОВКИ

Аннотация: Представлена методика автоматизированной обработки изображений в авиационных системах визуального мониторинга внекабинной обстановки, предназначенный для использования при проектировании и последующих испытаниях таких средств. Методика разработана с учетом особенностей обеспечения безопасности полетов воздушных судов в темное время суток и характеристик современных оптико-электронных систем, применяемых на пилотируемых и беспилотных воздушных судах. Представлена методика расчета оценки максимальной дальности действия низкоуровневых телевизионных систем визуализации изображения, применяемых в составе средств и систем авиационного оборудования. Методология исследования объединяет методы системного анализа, проектирования оптико-электронных систем, проектирования и испытаний авиационного оборудования, методы квалиметрии сложных систем. Научная новизна полученных результатов определяется тем, что они получены с учетом обеспечения безопасности полетов воздушных судов и могут быть использованы в интересах обоснования рациональных характеристик, проектирования, квалиметрии и испытаний аналогичных систем, предназначенных для использования в составе оборудования эргатических систем различного назначения.

Ключевые слова: безопасность ночных полетов, очки ночного видения, мониторинг внекабинной обстановки, система визуализации изображений, дальность визуального обнаружения, автоматизированная обработка изображений, электронный оптический преобразователь, прибор зарядовой связью, квалиметрия технических систем, авиационное оборудование

При использовании на воздушных судах в качестве одного из средств ночного видения системы получения телевизионного изображений для обзора внекабинного про-

странства и ведения пространственной ориентировки наблюдается перегруженность сенсорно-перцептивных и мыслительных процессов, что приводит к [3 – 8, 14, 15, 19]:

- снижению точности пилотирования примерно в 2 раза;
- снижению контроля выдерживания параметров полёта (более 80% времени выделяется просмотру телевизионного или тепловизионного изображений на индикаторах, что не позволяет достаточно точно определять истинные значения скорости, высоты, пространственного положения вертолёт, удаления до препятствий и т.п.);
- нарушению структуры управляющих движений (имеется до 40% синхронных движений по управлению вертолёт и обзорным комплексом);
- снижению скорости сканирования пространства (до 0,5...1,5°/с);
- высокому нервно-эмоциональному напряжению и предельным нагрузкам внимания лётчика.

Поэтому важное прикладное значение имеют проектирование и последующие испытания средств ночного видения, существенное значение при проведении которых отводится определению дальности действия средств ночного видения.

Расчет дальности действия низкоуровневых телевизионных систем визуализации изображения проводится исходя из того, что на выходе видеосмотрового устройства (ВСУ) имеет место отношение сигнал/шум, рассчитываемое как [12, 16]

$$[S / N] = \frac{C(F_t) \cdot G \cdot |N_0 - N_p|}{\sqrt{F_n \cdot G^2 \cdot (N_0 + N_p + N_{th}) + N_{ccd}}},$$

где G – коэффициент усиления электронов, полученных от фотокатода;

N_{ccd} – число темновых электронов, получаемое от прибора с зарядовой связью (ПЗС) за время τ_c с площади изображения миры.

Пороговое отношение сигнал/шум для глаза является функцией двух переменных пространственной частоты и яркости фона адаптации. Семейство кривых, выражающих зависимость $[S/N]_{lim}$ от пространственной частоты при различных значениях яркости фона адаптации, соответствующих вероятности принятия решения лётчиком, ведущим наблюдение за внекабинным пространством через очки ночного видения (ОНВ) равной 0,5, близко к реально осуществляемому на практике в процессе испытаний [11, 12, 18].

Коэффициент усиления электронов рассчитывается как

$$G = G_{mcp} \cdot V_{ph} \cdot E_{ph} \cdot K_{tr}^E \cdot K_{tr}^\lambda \cdot S_{ccd} \cdot K_{fill} \cdot K_\tau,$$

где G_{mcp} – коэффициент умножения микроканальной пластины;

V_{ph} – напряжение разгона электронов в ЭОП, В;

K_{tr}^E – коэффициент преобразования плотности излучения экрана оптикой переноса равный отношению освещенности на ПЗС матрице к светимости экрана ЭОП;

K_{tr}^λ – коэффициент спектрального соответствия люминофора экрана чувствительности ПЗС;

S_{ccd} – интегральная чувствительность ПЗС, A/Bm ;

Γ_{tr} – увеличение оптики переноса;

K_{fill} – коэффициент заполнения матрицы ПЗС;

K_{τ} – коэффициент использования времени накопления глаза.

Коэффициент заполнения матрицы ПЗС рассчитывается по формуле

$$K_{fill} = \frac{d_h \cdot d_v}{d_h^{cc} \cdot d_v^{cc}},$$

где d_h, d_v – эффективные (с учетом локальных линз и анти-алиас фильтров) размеры элемента матрицы по горизонтали и по вертикали, $мкм \times мкм$;

d_h^{cc}, d_v^{cc} – шаг матрицы по горизонтали и по вертикали, $мкм \times мкм$.

Коэффициент использования времени накопления глаза рассчитывается как

$$K_{\tau} = F_k \cdot \tau_{ex},$$

где F_k – кадровая частота, $Гц$;

τ_{ex} – время накопления на элементе ПЗС, $с$.

Число темновых электронов, получаемое от ПЗС – матрицы за время τ_e с площади изображения мира определяется из соотношения

$$N_{ccd} = N_{mir}^{pix} \cdot N_{dk}^{pix},$$

где N_{mir}^{pix} – количество пикселей на площади изображения мира на ПЗС;

N_{dk}^{pix} – число темновых электронов, получаемое от одной чувствительной площадки ПЗС – матрицы за время τ_e .

Количество пикселей на площади изображения мира на ПЗС рассчитывается по формуле

$$N_{mir}^{pix} = 10^6 \cdot \left[\frac{F_{ob}}{L} \cdot \Gamma_{amp} \cdot \Gamma_{tr} \right]^2 \cdot \frac{S_{mir}}{d_v^{cc} \cdot d_h^{cc}},$$

где Γ_{tr} – увеличение оптики переноса, $крат$.

Число темновых электронов, получаемое от одной чувствительной площадки ПЗС – матрицы за время τ_e , рассчитывается из соотношения

$$N_{dk}^{pix} = \frac{I_{dk}}{N_v \cdot N_h} \cdot \frac{\tau_e}{e},$$

где I_{dk} – темновой ток матрицы, A ;

$N_v \cdot N_h$ – размерность матрицы.

Темновой ток матрицы определяется как

$$I_{dk} = 1,83 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 \cdot \exp\left(\frac{-6400}{T}\right),$$

где T – температура, K° .

Сквозная функция передачи модуляции прибора рассчитывается по следующей формуле

$$C(F_t) = C_{ob}(F_t^{ob}) \cdot C_{amp}(F_t^{amp}) \cdot C_{tr}(F_t^{tr}) \cdot C_{ccd}(F_t^{ccd}) \cdot C_{dif}(F_t^{ccd}) \cdot C_{el}(F_t^{el}) \cdot C_{crt}(F_t^{crt}),$$

где $C_{tr}(F_t^{tr})$, $C_{ccd}(F_t^{ccd})$, $C_{dif}(F_t^{ccd})$, $C_{el}(F_t^{el})$, $C_{crt}(F_t^{crt})$ – функции передачи модуляции оптики переноса, геометрическая ПЗС, растекания заряда ПЗС, электронного тракта и ВСУ соответственно;

F_t^{tr} – пространственная частота для оптики переноса (на экране ЭОП), *штр/мм*;

F_t^{ccd} – пространственная частота для ПЗС, *штр/мм*;

F_t^{el} – пространственная (электрическая) частота для электронного тракта, *Гц*;

F_t^{crt} – пространственная частота на экране ВСУ, *штр/мм*.

Пространственные частоты оптики переноса, геометрическая ПЗС, растекания заряда ПЗС, электронного тракта и ВСУ определяются с использованием следующих зависимостей [2 – 7, 9, 12, 18]

$$F_t^{tr} = \frac{L}{T_{mir}} \cdot \frac{1}{F_{ob} \cdot \Gamma_{amp}},$$

$$F_t^{ccd} = \frac{L}{T_{mir}} \cdot \frac{1}{F_{ob} \cdot \Gamma_{amp} \cdot \Gamma_{tr}},$$

$$F_t^{el} = 10^{-3} \cdot \frac{L}{T_{mir}} \cdot \frac{d_{cc}}{F_{ob} \cdot \Gamma_{amp} \cdot \Gamma_{tr}} \cdot \frac{F_k}{N_v \cdot N_h},$$

где d_{cc} – шаг матрицы в направлении считывания, *мкм*.

$$F_t^{crt} = 10^{-3} \cdot \frac{L}{T_{mir}} \cdot \frac{1}{F_{ob} \cdot \Gamma_{amp} \cdot \Gamma_{tr}} \cdot \frac{d_{cc} \cdot N_{v(h)}}{D_{crt}},$$

где D_{crt} – размер экрана ВСУ в направлении определения F_t^{crt} , *мм*;

$N_{v(h)}$ – размерность матрицы в направлении определения F_t^{crt} ;

d_{cc} – шаг матрицы в направлении определения F_t^{crt} , *мкм*.

Функция передачи модуляции ПЗС, определяемая геометрией матрицы, имеет вид

$$C_{ccd}(F_t^{ccd}) = \frac{\sin(10^{-3} \cdot \pi \cdot d_{v(h)} \cdot F_t^{ccd})}{10^{-3} \cdot \pi \cdot d_{v(h)} \cdot F_t^{ccd}},$$

где $d_{v(h)}$ – эффективный размер элемента матрицы в направлении определения функции передачи модуляции, мкм.

Функция передачи модуляции ПЗС, определяемую диффузией заряда ПЗС матрицы в направлении перпендикулярном считыванию, определяется как

$$C_{dif}(F_t^{ccd}) = \frac{\sin(10^{-3} \cdot \pi \cdot d_{cc} \cdot F_t^{ccd})}{10^{-3} \cdot \pi \cdot d_{cc} \cdot F_t^{ccd}} \cdot \frac{\sin(10^{-3} \cdot \pi \cdot (d_{cc} - \beta) \cdot F_t^{ccd})}{10^{-3} \cdot \pi \cdot (d_{cc} - \beta) \cdot F_t^{ccd}},$$

где β – размер плоской вершины пикселя, мкм.

Для большинства современных ПЗС на пространственных частотах 20...40 штр/мм снижение $C_{dif}(F_t^{ccd})$ составляет 3...4 %, следовательно, можно принять линейную аппроксимацию [1, 6, 17-25]

$$C_{dif}(F_t^{ccd}) = 1 - 0.001 \cdot F_t^{ccd}.$$

Коэффициент передачи модуляции ПЗС, определяемый диффузией заряда ПЗС матрицы в направлении считывания можно принять за единицу.

Функция передачи модуляции электрического тракта в направлении считывания, есть не что иное, как амплитудно-частотная характеристика этого тракта, поэтому коэффициент передачи модуляции в направлении, перпендикулярном считыванию, можно считать равным единице.

Функция передачи модуляции ВСУ может быть представлена в виде

$$C_{crt}(F_t^{crt}) = \exp \left[-2 \cdot \pi^2 \cdot \left(\frac{N_{v(h)}}{2,35 \cdot N_{v(h)}^{tv}} \cdot d_{v(h)}^{crt} \cdot F_t^{crt} \right)^2 \right],$$

где $N_{v(h)}^{tv}$ – количество разрешенных телевизионных линий в направлении определения функции передачи модуляции;

$$d_{v(h)}^{tv} = \frac{D_{crt}}{d_{cc} \cdot N_{v(h)}} \cdot d_{v(h)} - \text{приведенный к экрану ВСУ размер элемента матрицы ПЗС, мм.}$$

Расчет дальности действия низкоуровневых телевизионных систем визуализации изображений, как одного из средств ночного видения, осуществляется с использованием приведенных выше выражений в соответствии с алгоритмом, блок-схема которого представлена на рисунке 1.

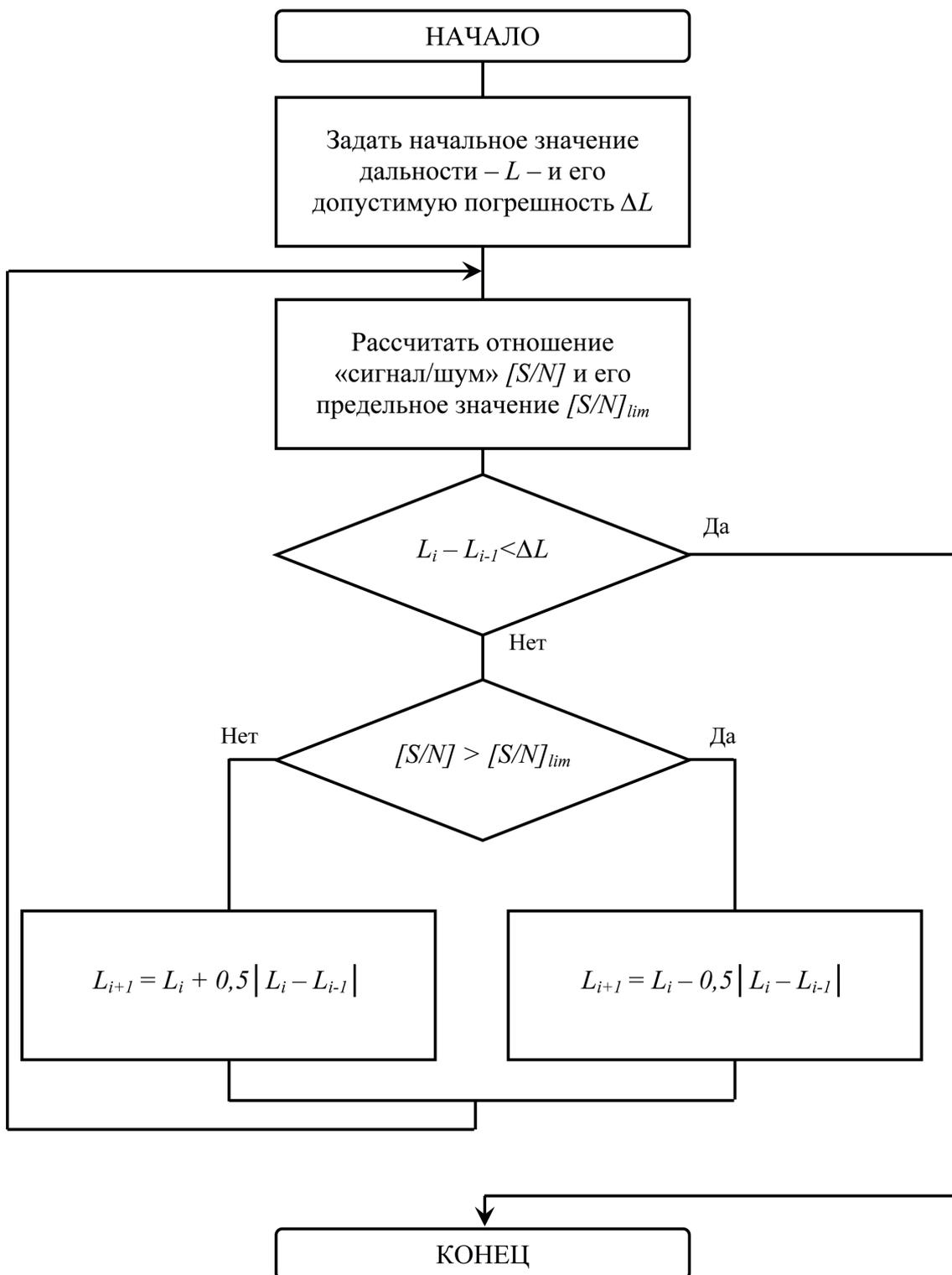


Рисунок 1 – Алгоритм расчета дальности действия низкоуровневых телевизионных систем визуализации изображений

В результате исследований показана удовлетворительная сходимости результатов расчетов с результатами экспериментального определения дальности при проведении летных испытаний вертолетов, что позволяет рекомендовать изложенный метод для использования при проектировании и последующих испытаниях приборов и средств ночного видения, предназначенных для воздушных судов.

Библиография :

1. 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.
2. Веселов Ю.Г., Мельник С.Ю., Островский А.С., Тихоныхев В.В., Юлегин Е.В. Зависимость оценки разрешающей способности от метода интерполяции при масштабировании в процессе визуального анализа изображений штриховых тест-объектов // Проблемы безопасности полетов. 2010. № 7. С. 42–62.
3. Волков В.Г., Креопалов В.И. Очки ночного видения с повышенными параметрами // Оборонный комплекс – научно–техническому прогрессу России. 2009. № 2. С. 55–58.
4. Есев А.А., Ткачук А.В. Методическое обеспечение оценивания технического уровня очков ночного видения, используемых экипажами вертолетов // Проблемы безопасности полетов. 2013. № 6. С. 25-34.
5. Айвазян С.А., Солдатов А.С., Есев А.А., Ткачук А.В., Зыкин А.П. Методическое обеспечение синтеза систем интерактивного управления эргатическими авиационными комплексами // Оборонный комплекс-научно-техническому прогрессу России. 2013. № 2. С. 22-25.
6. 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. № 1, 2007.
7. Коломиец Л.В., Фёдоров М.В., Богомолов А.В., Мережко А.Н., Солдатов А.С., Есев А.А. Метод поддержки принятия решений по управлению ресурсами при испытаниях авиационной техники // Информационно–измерительные и управляющие системы. № 5, т.8, 2010. С. 38–41.
8. Есев А.А. Метод расчета оценки коэффициента технического уровня вертолетных очков ночного видения // Оборонный комплекс-научно-техническому прогрессу России. 2013. № 2. С. 56-62.
9. Димитриев Ю.В., Лагойко О.С. Структурный системный анализ информационных потоков при эргономическом проектировании воздушных судов // Кибернетика и программирование. 2015. № 1. С. 67-76.
10. Есев А.А., Зыкин А.П., Яковлева Е.В., Ткачук А.В., Голосовский М.С. Методика оценки технического уровня очков ночного видения, применяемых в составе оборудования боевых вертолетов // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2013. № 7. С. 40-46.
11. Маслов С.В., Есев А.А. Методика расчёта максимальной дальности действия очков ночного видения лётчиков вертолётов // Проблемы безопасности полетов. 2010. № 7. С. 36–41.
12. Маслов С.В., Есев А.А. Модели фоноцелевой обстановки, обнаружения и сопровождения объектов в оперативном поле зрения очков ночного видения, используемых лётчиками вертолётов // Проблемы безопасности полетов. 2010. № 11.

13. Айвазян С.А., Есев А.А., Ткачук А.В., Солдатов А.С., Зыкин А.П. Комплексная автоматизированная визирная система перспективных авиационных комплексов // Двойные технологии. 2013. № 3 (64). С. 57-59.
14. Айвазян С.А., Солдатов А.С., Есев А.А., Ткачук А.В., Зыкин А.П. Прикладные аспекты синтеза интерактивных систем управления эргатическими авиационными комплексами // Двойные технологии. 2014. № 1 (66). С. 56-58.
15. Есев А.А., Мережко А.Н., Ткачук А.В. Технология квалиметрии технического уровня сложных систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 7 (121). С. 28-34.
16. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. / Под ред. Я.Д.Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. 512 с.
17. Рудаков И.С., Рудаков С.В., Богомолов А.В. Методика идентификации вида закона распределения параметров при проведении контроля состояния сложных систем // Информационно–измерительные и управляющие системы. 2007. Т. 5. № 1. С. 66–72.
18. Солдатов Т.А., Солдатова Е.С., Солдатов А.С. Особенности определения видимого увеличения электронно–оптических каналов очков ночного видения, используемых лётчиками // Проблемы безопасности полетов. 2010. № 10. С. 36–38.
19. Чунтул А.В., Пономаренко В.А., Овчаров В.Е., Артемов В.Н., Спицын Г.Н. Надежность экипажа вертолета при полетах в условиях ограниченной видимости. – М., 1999. 141 с.
20. Богомолов А.В., Майстров А.И. Технология анализа системных причинно-следственных связей на основе диаграмм Исикавы // Материалы VIII международной научной конференции «Системный анализ в медицине» (САМ 2014). Благовещенск, 2014. С. 13-16.
21. Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В. Математическое прогнозирование состояния оператора эргатической системы, эксплуатируемой в условиях высокого риска гипоксических состояний человека // В сборнике трудов XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014 . М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 6384-6389.
22. Кукушкин Ю.А., Гузий А.Г., Богомолов А.В. Методология стабилизации функционального состояния оператора системы «человек-машина» // Мехатроника, автоматизация, управление. 2002. № 5. С. 17.
23. Макаренко В.Г., Богомолов А.В., Рудаков С.В., Подорожняк А.А. Технология построения инерциально-спутниковой навигационной системы управления транспортными средствами с нейросетевой оптимизацией состава вектора измерений // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 1. С. 39-44.
24. Фёдоров М.В., Калинин К.М., Богомолов А.В., Стецюк А.Н. Математическая модель автоматизированного контроля выполнения мероприятий в органах военного управления // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2011. Т. 9. № 5. С. 46-54.
25. Кукушкин Ю.А., Гузий А.Г., Богомолов А.В. Методология стабилизации функционального состояния оператора системы «человек-машина» // Мехатроника, автоматизация, управление. 2002. № 5. С. 17.

References:

1. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Guzii A.G. Printsipy postroeniya sistemy obespecheniya zhiznedeyatel'nosti operatorov sistem «chelovek-mashina», adaptivnykh k ikh funktsional'nomu sostoyaniyu // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2005. № 3. S. 50.

2. Veselov Yu.G., Mel'nik S.Yu., Ostrovskii A.S., Tikhonychev V.V., Yulegin E.V. Zavisimost' otsenki razreshayushchei sposobnosti ot metoda interpol'yatsii pri masshtabirovanii v protsesse vizual'nogo analiza izobrazhenii shtrikho-vykh test-ob'ektov // Problemy bezopasnosti poletov. 2010. № 7. S. 42–62.
3. Volkov V.G., Kreopalov V.I. Ochki nochnogo videniya s povyshennymi parametrami // Oboronnyi kompleks – nauchno–tekhnicheskomu progressu Rossii. 2009. № 2. S. 55–58.
4. Esev A.A., Tkachuk A.V. Metodicheskoe obespechenie otsenivaniya tekhnicheskogo urovnya ochkov nochnogo videniya, ispol'zuemykh ekipazhami vertoletov // Problemy bezopasnosti poletov. 2013. № 6. S. 25–34.
5. Aivazyan S.A., Soldatov A.S., Esev A.A., Tkachuk A.V., Zykin A.P. Metodicheskoe obespechenie sinteza sistem interaktivnogo upravleniya ergaticheskimi aviatsionnymi kompleksami // Oboronnyi kompleks-nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. 2013. № 2. S. 22–25.
6. 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. № 1, 2007.
7. Kolomiets L.V., Fedorov M.V., Bogomolov A.V., Merezhko A.N., Soldatov A.S., Esev A.A. Metod podderzhki prinyatiya reshenii po upravleniyu resursami pri ispytaniyakh aviatsionnoi tekhniki // Informatsionno–izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. № 5, t.8, 2010. S. 38–41.
8. Esev A.A. Metod rascheta otsenki koeffitsienta tekhnicheskogo urovnya vertoletnykh ochkov nochnogo videniya // Oboronnyi kompleks–nauchno–tekhnicheskomu progressu Rossii. 2013. № 2. S. 56–62.
9. Dimitriev Yu.V., Lagoiko O.S. Strukturnyi sistemnyi analiz informatsionnykh potokov pri ergonomicheskom proektirovanii vozduzhnykh sudov // Kibernetika i programmirovaniye. 2015. № 1. S. 67–76.
10. Esev A.A., Zykin A.P., Yakovleva E.V., Tkachuk A.V., Golosovskii M.S. Metodika otsenki tekhnicheskogo urovnya ochkov nochnogo videniya, primenyaemykh v sostave oborudovaniya boevykh vertoletov // Polet. Obshcherossiiskii nauchno–tekhnicheskii zhurnal. 2013. № 7. S. 40–46.
11. Maslov S.V., Esev A.A. Metodika rascheta maksimal'noi dal'nosti deistviya ochkov nochnogo videniya letchikov vertoletov // Problemy bezopasnosti poletov. 2010. № 7. S. 36–41.
12. Maslov S.V., Esev A.A. Modeli fonotselevoi obstanovki, obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob'ektov v operativnom pole zreniya ochkov nochnogo videniya, ispol'zuemykh letchikami vertoletov // Problemy bezopasnosti poletov. 2010. № 11.
13. Aivazyan S.A., Esev A.A., Tkachuk A.V., Soldatov A.S., Zykin A.P. Kompleksnaya avtomatizirovannaya vizirnaya sistema perspektivnykh aviatsionnykh kompleksov // Dvoynye tekhnologii. 2013. № 3 (64). S. 57–59.
14. Aivazyan S.A., Soldatov A.S., Esev A.A., Tkachuk A.V., Zykin A.P. Prikladnye aspekty sinteza interaktivnykh sistem upravleniya ergaticheskimi aviatsionnymi kompleksami // Dvoynye tekhnologii. 2014. № 1 (66). S. 56–58.
15. Esev A.A., Merezhko A.N., Tkachuk A.V. Tekhnologiya kvalimetrii tekhnicheskogo urovnya slozhnykh sistem // Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii. 2014. № 7 (121). S. 28–34.
16. Radioelektronnye sistemy: osnovy postroeniya i teoriya. / Pod red. Ya.D.Shirmana. – M.: Radiotekhnika, 2007. 512 s.
17. Rudakov I.S., Rudakov S.V., Bogomolov A.V. Metodika identifikatsii vida zakona raspredeleniya parametrov pri provedenii kontrolya sostoyaniya slozhnykh sistem // Informatsionno–izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2007. T. 5. № 1. S. 66–72.

18. Soldatov T.A., Soldatova E.S., Soldatov A.S. Osobennosti opredeleniya vidimogo uvelicheniya elektronno–opticheskikh kanalov ochkov nochnogo videniya, ispol'zuemykh letchikami // Problemy bezopasnosti poletov. 2010. № 10. S. 36–38.
19. Chuntul A.V., Ponomarenko V.A., Ovcharov V.E., Artemov V.N., Spitsyn G.N. Nadezhnost' ekipazha vertoleta pri poretakh v usloviyakh ogranichennoi vidimosti. – M., 1999. 141 s.
20. Bogomolov A.V., Maistrov A.I. Tekhnologiya analiza sistemnykh prichinno-sledstvennykh svyazei na osnove diagramm Isikavy // Materialy VIII mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Sistemnyi analiz v meditsine» (SAM 2014). Blagoveshchensk, 2014. S. 13-16.
21. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Matematicheskoe prognozirovanie sostoyaniya operatora ergaticheskoi sistemy, ekspluatiruemoi v usloviyakh vysokogo riska gipoksicheskikh sostoyanii cheloveka // V sbornike trudov XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU-2014 . M.: Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN. 2014. S. 6384-6389.
22. 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.
23. Makarenko V.G., Bogomolov A.V., Rudakov S.V., Podorozhnyak A.A. Tekhnologiya postroyeniya inertsiyal'no-sputnikovoi navigatsionnoi sistemy upravleniya transportnymi sredstvami s neirosetevoi optimizatsiei sostava vektora izmerenii // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2007. № 1. S. 39-44.
24. Fedorov M.V., Kalinin K.M., Bogomolov A.V., Stetsyuk A.N. Matematicheskaya model' avtomatizirovannogo kontrolya vypolneniya meropriyatii v organakh voennogo upravleniya // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2011. T. 9. № 5. S. 46-54.
25. 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.