DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-4-135-145

ВОЗМОЖНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ НА ВОЗДУШНЫХ СУДАХ

С.Б. СТУКАЛОВ[1], Д.С. СТУКАЛОВ[2], В.И. КОНДРИКОВ[3]
[1]Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва, Россия
[2]Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия
[3]Открытое акционерное общество «ЛИК», г. Москва, Россия

Рассматриваются вопросы по развитию и практическому применению на воздушных судах гражданской авиации бортовых оптико-электронных систем, обеспечивающих получение информации видения пилоту в полете днем и ночью в простых и сложных метеоусловиях. Представлены нормативно-правовые документы, устанавливающие требования по применению подобного типа оптико-электронных систем на воздушных судах. Проанализирована классификация бортовых оптико-электронных систем, объединенных общим названием электронные системы визуализации. Рассмотрены пути реализации рекомендаций по их построению. Проанализированы возможности систем разных классов: систем улучшенного видения (Enhanced Vision Systems (EVS)), систем искусственного видения (Synthetic Vision Systems (SVS)), комбинированных систем искусственного видения (Combine Vision Systems (CVS)) и бортовых систем технического зрения с расширенными возможностями визуализации Enhanced Flight Vision Systems (EFVS)). Указано, что в настоящее время к системам перспективного применения относят системы класса EVS. С целью анализа возможностей практического применения таких систем в задачах обеспечения безопасности полета на малых высотах и посадки были проведены летные эксперименты системы, установленной на легком вертолете. Представлены результаты летных экспериментов по практической работе телевизионного и инфракрасного каналов видения типовой перспективной системы визуализации в простых и сложных условиях наблюдения. На основании результатов летных экспериментов сделаны выводы о целесообразности практического применения электронных систем визуализации на воздушных судах для обеспечения безопасности полета. Установлено, что системы можно применять при полете как для задач наблюдения, обследования местности, так и обеспечения безопасного полета. При полете вертолета на малых высотах и выполнении посадки пилоту целесообразно использовать от оптико-электронной системы визуализации информацию видения со стороны задней полусферы нижней хвостовой части. Выявлено, что в работе инфракрасного (ИК) канала и быстрых поворотах камеры системы визуализации проявляется запаздывание соответствия направлений видения и реального полета. Проявляется размытие изображения видения. В режиме регистрации информации ИК-спектра возникает проблема фильтрации помех, вызванных появлением в секторе наблюдения выхлопных газов двигателя вертолета, снега. Это затрудняет получение преимущества видения систем визуализации в сложных метеоусловиях. В выводах указано, что в перспективных системах визуализации для ИК каналов требуется дополнительное использование методов и алгоритмов обеспечения высокой четкости изображения видения.

Ключевые слова: воздушные суда, электронные системы визуализации, летный эксперимент, качество изображения, безопасность полета, посадка воздушных судов.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость обеспечения безопасности полётов воздушных судов (ВС) требует развития направлений по совершенствованию бортовых систем видения. Для экипажа ВС одним из наиболее важных источников информации является канал зрительного восприятия [1, 3]. Вследствие этого задачи разработки бортовых систем видения для ВС воздушного транспорта являются актуальными.

Статья 37 Воздушного кодекса Российской Федерации N 60-ФЗ от 19 марта 1997 г. определяет требования по обязательной сертификации гражданских воздушных судов, авиационных двигателей и воздушных винтов нового типа, беспилотных авиационных систем и их элементов. Разработка комплекса авионики самолетов гражданской авиации в настоящее время выполняется с использованием руководящих документов:

– действующей документации Авиарегистра МАК (АР МАК), EASA и FAA по нормам летной годности и сертификации авиационного оборудования;

– документов Авиарегистра МАК, FAA, EASA, ARINC, RTCA и SAE по процессам разработки, испытаний, сертификации и производства бортового оборудования.

Для формирования сертификационных требований к перспективным бортовым системам видения, устанавливаемым на борту гражданских воздушных судов, в настоящее время международными регулирующими организациями подготовлен ряд нормативных документов (RTCA DO – 254, RTCA DO – 178B, RTCA DO – 315 и др.), которые определяют рекомендации по техническим характеристикам. Выделены типовые классы авиационных систем видения: системы улучшенного видения (Enhanced Vision Systems (EVS)), системы искусственного видения (Synthetic Vision Systems (SVS)), комбинированные системы искусственного видения (Combine Vision Systems (CVS)) и бортовые системы технического зрения с расширенными возможностями визуализации (Enhanced Flight Vision Systems (EFVS)) [2]. В настоящее время классы бортовых оптико-электронных систем объединяют в одну группу «системы визуализации».

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОСТРОЕНИЮ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

К системам класса EVS относят электронные средства обеспечения лётного экипажа изображением, полученным от датчика, или обработанное изображение внешней обстановки (рис. 1) [5, 6].

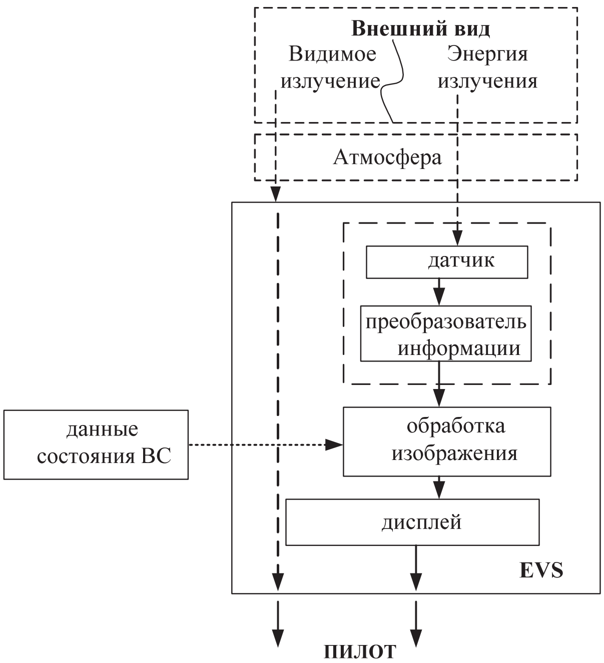


Рис. 1. Структурная схема EVS

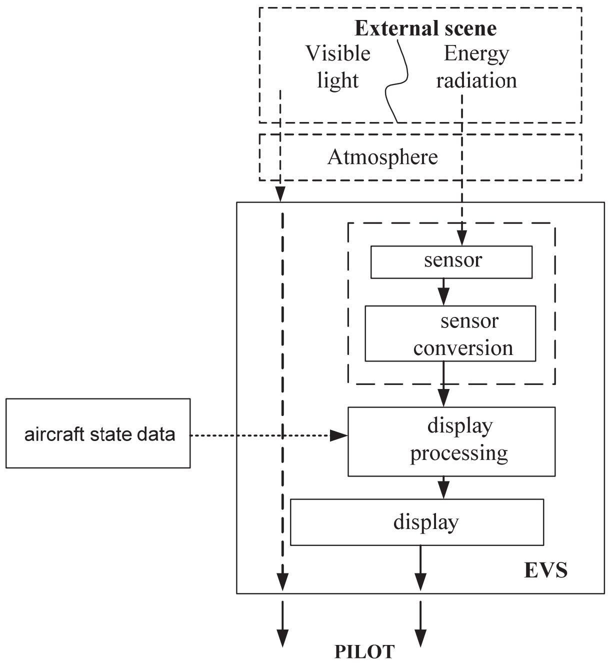


Fig. 1. Block diagram of EVS

Система EVS в качестве основы информации использует инфракрасные (ИК) датчики различных диапазонов частот, видеодатчики, которые конструктивно объединяются в камеру системы визуализации. Информация видения после обработки изображения выводится на дисплей. Пилот в режиме реального времени может наблюдать созданную системой EVS графическую информацию, которая проецируется на индикаторе лобового стекла или же на многофункциональном индикаторе, который является компьютерным дисплеем, входящим в состав бортовой системы отображения информации. Для обработки изображения могут быть использованы данные о состоянии воздушного судна, информация от бортовых радиолокационных станций, лазерных локационных средств, параметров навигации баз данных рельефа поверхности вдоль полетного маршрута и баз данных о местоположениях аэропортов и объектов взлетно-посадочной полосы и другие.

Камеры систем визуализации систем EVS технически размещают на гиростабилизированных платформах (рис. 2, 3).

В настоящее время системы класса EVS применяют в основном для решения задач обследования местности, поисково-спасательных операций и правоохранительной деятельности и др. [4].

Рис. 2. Камера системы класса EVS
Fig. 2. The camera of EVS class system

Рис. 3. Размещение камеры системы класса EVS на гиростабилизированной платформе
Fig. 3. Camera placement of EVS class system on the gyro-stabilized platform

К системам искусственного видения (SVS) относят электронные средства для вывода на дисплей сформированного вычислителем изображения. Это изображение соответствует видимому из кабины пилота, но оно вычисляется по ориентации ВС в пространстве, по высоте, географическим координатам ВС и базе данных. Изображение от систем искусственного видения может выводиться на основной пилотажный дисплей (рис. 4) [7, 8].

Система комбинированного видения (CVS) является комбинацией каналов искусственного видения (SVS) и улучшенного видения (EVS). Современные разработки предусматривают получение искусственного изображения для полета на больших высотах и улучшенное изображение для полета на малых высотах. В CVS изображения искусственного вида могут быть получены из базы данных в комбинации с изображениями реальных датчиков, наложенными и согласованными на тот же дисплей.

Системы с расширенными возможностями визуализации EFVS позволяют кроме улучшенных изображений внешней среды по направлению полета дать информацию рельефа местности, взлетно-посадочной полосы, обнаружения и отображения опасных препятствий, точной навигации, контроля работоспособности.

Рис. 4. Перспективная типовая система искусственного видения на пилотажном дисплее
Fig. 4. The prospect typical system of artificial vision on the flight display

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В настоящее время к системам перспективного применения относят системы класса EVS. Для анализа возможностей практического применения таких систем и задач обеспечения безопасности полета на малых высотах и посадки были проведены летные эксперименты. Оценивалась практическая работа телевизионного и ИК каналов видения перспективной системы визуализации в простых и сложных условиях наблюдения. Эксперименты проводились в зимний период (январь) днем с 14 до 16 часов и в ночное время с 19 до 22 часов [5]. В качестве воздушного судна был использован легкий вертолет. Камера системы визуализации (рис. 5) устанавливалась на гиростабилизированной платформе.

В ходе летного эксперимента решались следующие задачи.

1. Анализ необходимости получения информации видения для пилота вертолета со стороны задней полусферы.

2. Анализ качества полученной информации видения в полете воздушного судна (вертолета) в простых и сложных условиях видения.

Рис. 5. Камера системы визуализации
Fig. 5. The imaging system camera

Том 20, № 04, 2017
Vol. 20, No. 04, 2017

Для получения информации видения задней полусферы вертолета камера системы визуализации направлялась в заднюю полусферу воздушного судна. Выполнялась регистрация информации видения в передней и задней полусферах при полете вертолета на малых высотах и выполнении посадки (рис. 6–11).

а) б)

Рис. 6. Результаты регистрации информации видения со стороны передней полусферы при полете на малых высотах (а) и посадке (б)
Fig. 6. The results of vision data logging from the part of the front hemisphere when flying at low altitudes (a) and at landing (b)

Анализ всех этапов полета на малых высотах и посадки показывает, что для обеспечения безопасности полета пилоту необходима информация видения со стороны задней полусферы нижней хвостовой части вертолета. На данных регистрации видно, что хвостовая балка вертолета на малых высотах может коснуться поверхности посадки (и других объектов местности) раньше полозьев вертолета. При отсутствии системы визуализации нижняя хвостовая часть вертолета пилоту не видна. В таком случае посадка выполняется пилотом интуитивно.

Рис. 7. Результаты регистрации информации видения со стороны задней полусферы при заходе на посадку
Fig. 7. The results of vision data logging from the rear hemisphere during landing

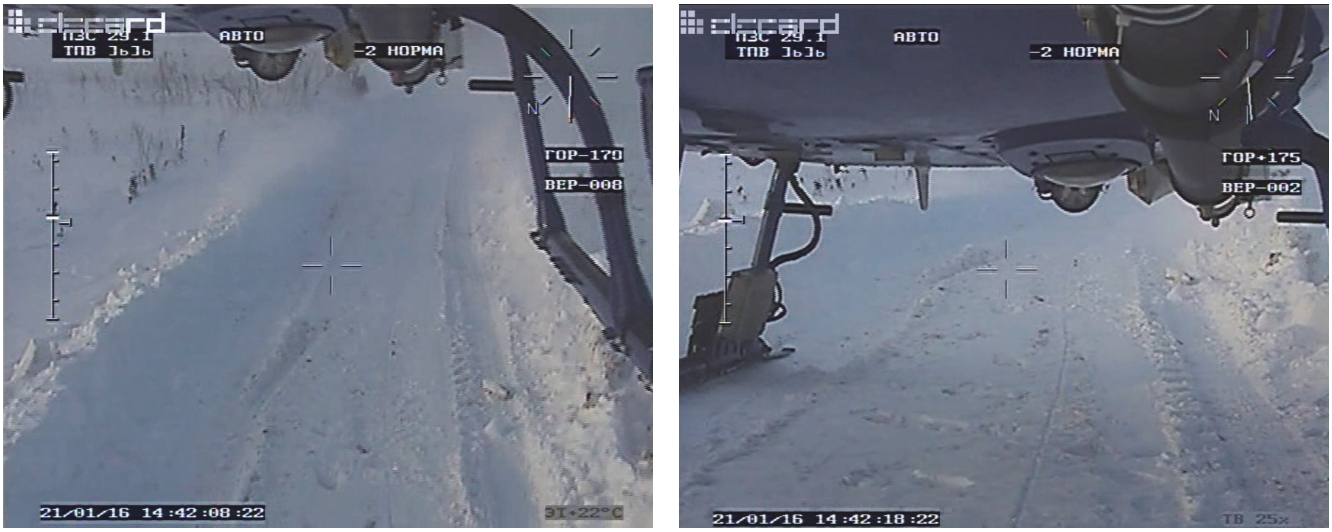
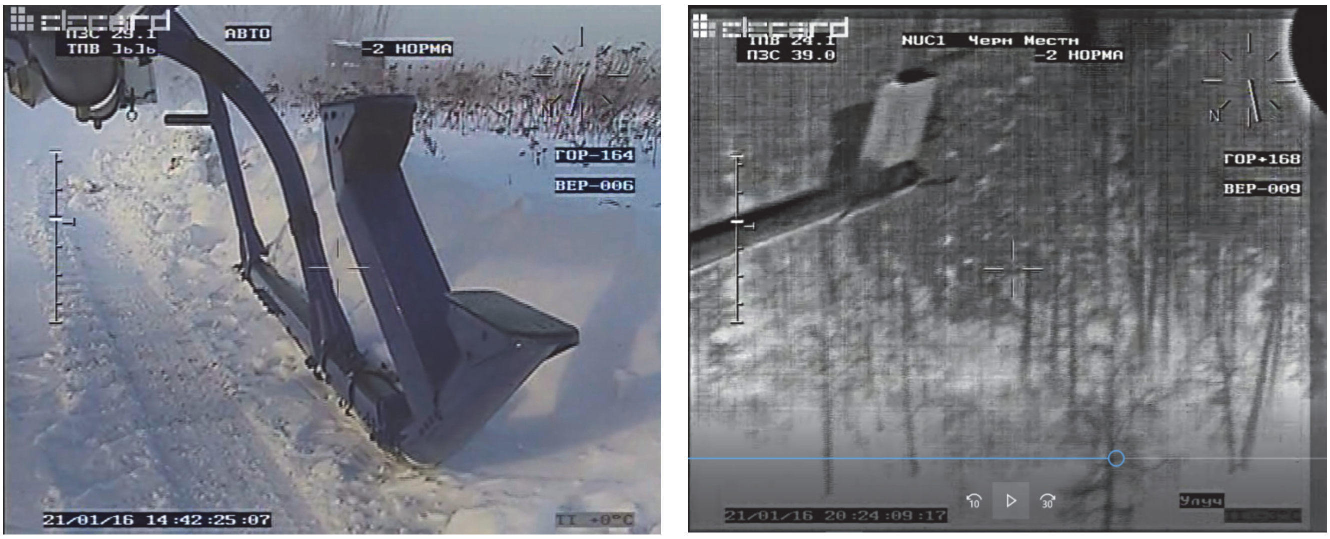


Рис. 8. Результаты регистрации информации видения
со стороны задней полусферы при посадке
Fig. 8. The results of vision data logging from the rear hemisphere during landing

В ходе второй части летного эксперимента проведен анализ качества регистрации информации видения при помощи системы визуализации днем телевизионным каналом (ТВ) (рис. 6, *а*) и в вечернее время ИК-каналами (рис. 6, *б* –10).

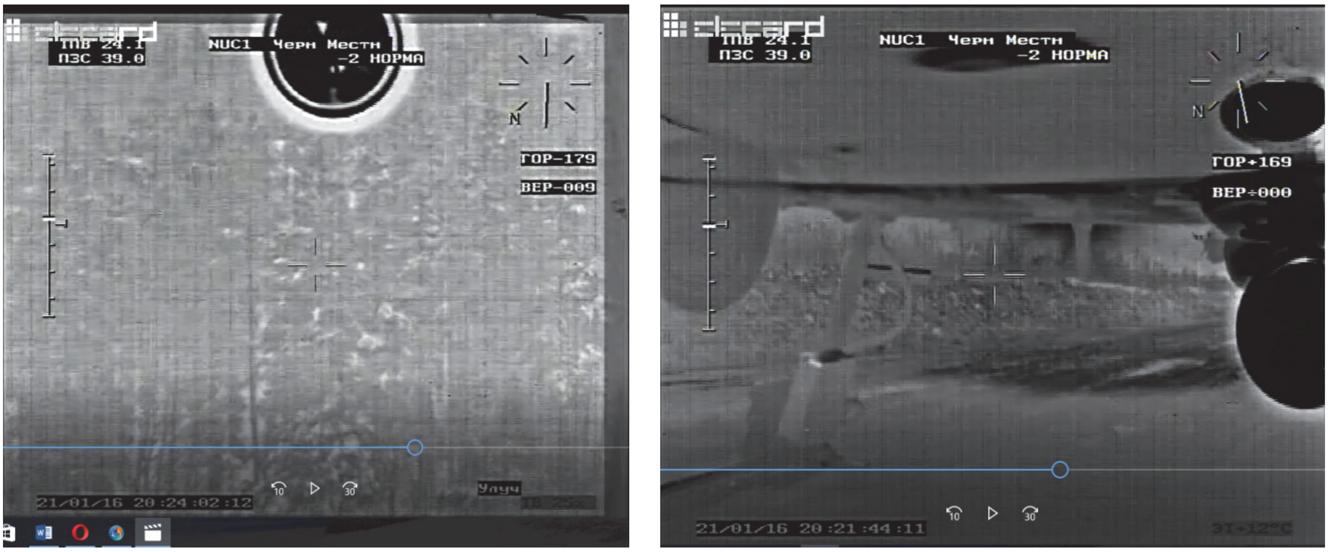
Из полученных данных регистрации визуальной информации видно, что качество изображения достаточно хорошее при регистрации от телевизионного канала днем при простых метеоусловиях наблюдения. В вечернее время (в сложных условиях наблюдения) требуется использование для видения ИК-канала системы. В этом случае зарегистрировано ухудшение качества (рис. 9, *б*, 10).



а) б)

Рис. 9. Результаты регистрации информации видения днем телевизионным каналом (ТВ) (а)
и в вечернее время ИК каналами (б)
Fig. 9. The results of vision data logging in the afternoon with a television channel (TV) (a)
and in the evening with IR channels (b)

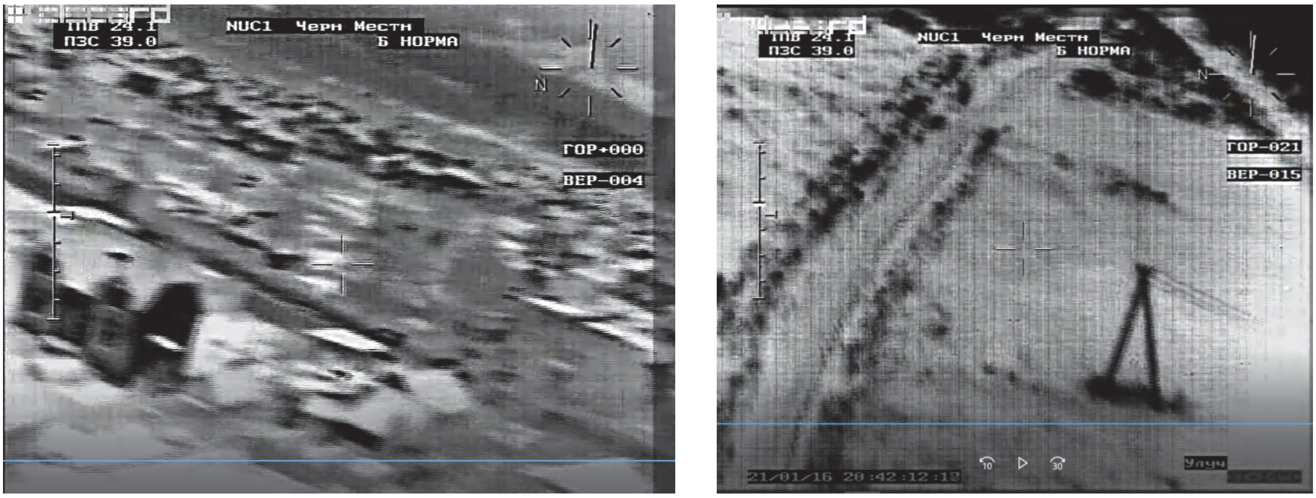
Изображение заметно теряет качество при наличии в секторе наблюдения выхлопных газов двигателя вертолета (рис. 10, *а*), снега (рис. 10, *б*). Это связано с заметным поглощением и рассеянием регистрируемого спектра излучения ИК-диапазона.



а) б)

Рис. 10. Результаты регистрации информации видения ИК-каналом при наличии в секторе наблюдения снега (а) и выхлопных газов двигателя вертолета (б)
Fig. 10. The results of infrared vision data logging with IR channel with snow (a) and helicopter engine exhaust (b) available in the observation sector

При движении относительно анализируемой площадки происходит смазывание и размытие изображения (рис. 11). При высоких скоростях поворота камеры проявляется несоответствие видения и направления полета вертолета. Из рис. 10, 11 видно, что в ИК-канале системы визуализации возникает проблема фильтрации помех в режиме регистрации информации наблюдения ИК-диапазона спектра излучения. Это затрудняет получение преимущества видения систем визуализации в сложных метеоусловиях.



а) б)

Рис. 11. Размытие изображений в движении
Fig. 11. Blur of images in motion

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. В ходе летных экспериментов подтверждена необходимость практического применения электронных систем визуализации на воздушных судах. Системы можно применять как для задач наблюдения, обследования местности при полете, так и обеспечения посадки вертолета.

2. Для обеспечения безопасности полета вертолета на малых высотах и при выполнении посадки пилоту необходима информация видения со стороны задней полусферы нижней хвостовой части.

3. При работе ИК-канала и быстрых поворотах камеры проявляется запаздывание соответствия направлений видения и реального полета.

4. При работе ИК-канала возникает размытие изображения видения.

5. В ИК-канале возникает проблема фильтрации помех в режиме регистрации информации ИК-спектра. Это затрудняет получение преимущества видения систем визуализации в сложных метеоусловиях.

6. В перспективных системах визуализации для ИК-каналов требуется дополнительное использование методов и алгоритмов обеспечения высокой четкости изображения видения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стукалов С.Б., Бабаев В.Г. Перспективные направления применения систем видения на воздушных судах // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: сборник тезисов докладов участников научно-технической конференции, посвященной 45-летию университета. М.: МГТУ ГА, 2016. С. 138.

2. Стукалов С.Б., Стукалов А.С. Нормативное регулирование требований к бортовым системам визуализации // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: сборник тезисов докладов участников научно-технической конференции, посвященной 45-летию университета. М.: МГТУ ГА. 2016. С. 139.

3. Стукалов С.Б., Стукалов Д.С. Подходы по организации применения электронных систем освещения новых технологий // Проблемы безопасности российского общества. 2015. № 1. С. 110–116.

4. Диагностические и измерительные приборы. Официальный сайт компании «Мир Диагностики» [Электронный ресурс]. URL: http://www.diaworld.ru/ (дата обращения: 12.02.2017).

5. Стукалов С.Б., Лутин Э.А., Стукалов Д.С. и др. Исследование инновационных подходов применения оптико-электронных технологий на воздушных судах. Отчет о НИР № 04-15. № госрегистрации 115112310002. М.: МГТУ ГА. 2016. 61 с.

6. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами – 2010: Труды научно-технической конференции-семинара. М.: КДУ, 2011. Вып. 4. С. 11–44.

7. Премиум авионики для самолетов общего назначения. Официальный сайт компании Avidyne. [Электронный ресурс]. URL: http://www.avidyne.com / (дата обращения: 12.02.2017).

8. Многофункциональный дисплей EX600. Официальный сайт компании Avidyne [Электронный ресурс]. URL: http://www.avidyne.com. (дата обращения: 12.02.2017).

9. Универсальные системы авионики. Официальный сайт компании Universal Avionics [Электронный ресурс]. URL: http://www.uasc.com. (дата обращения: 12.02.2017).

10. Интегрированная система цифрового видения. Официальный сайт компании Rockwell Collins [Электронный ресурс]. URL: http://www.rockwellcollins.com. (дата обращения: 12.02.2017).

11. Технологии систем улучшенного/синтезированного зрения для управления летательными аппаратами. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах /

Л.Н. Костяшкин, С.И. Бабаев, А.А. Логинов, О.В. Павлов // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами – 2010: труды научно-технической конференции-семинара. М.: КДУ, 2011. Вып. 4. С. 45–56.

12. Обработка и анализ изображений в бортовых оптико-электронных системах. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, Л.Н. Костяшкин, Ю.Н. Романов // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами – 2010: труды научно-технической конференции-семинара. М.: КДУ, 2011. Вып. 4. С. 57–62.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Стукалов Сергей Борисович, кандидат технических наук, доцент, профессор МГТУ ГА, stukalov@mstuca.aero.

Стукалов Дмитрий Сергеевич, магистрант РЭУ им. Г.В. Плеханова, d.s.stukalov@mail.ru.

Кондриков Вадим Игоревич, бортовой оператор ОАО «ЛИК», i.korostelina@mstuca.ru.

OPPORTUNITIES OF ELECTRO-OPTIC VISUALIZATION PRACTICAL APPLICATIONS ON BOARD THE AIRCRAFT

Sergey B. Stukalov[1], Dmitry S. Stukalov[2], Vadim I. Kondrikov[3]
[1]Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia
[2]Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia
[3]Open Joint Stock Company "LIK", Moscow, Russia

ABSTRACT

The article covers the following issues: the development and practical application of airborne electro-optic systems in the civil aviation aircraft. They provide flight visual information for the pilot day and night in visual and instrument weather conditions. The legal documents establishing the requirements for the application of this type of electro-optic systems in aircraft are presented. The classification of airborne electro-optic systems, commonly named as electronic visualization systems is analyzed. The ways of implementing the recommendations in their construction are considered. There have been analyzed the possibilities of systems of different classes: enhanced vision systems (EVS), synthetic vision systems (SVS), combine vision systems (CVS) and on-board vision systems with advanced visualization features, Enhanced Flight Vision Systems (EFVS). It is determined that nowadays EVS systems are considered to be the potential application systems. In order to analyze the possibilities of practical application of such systems in the issues of flight safety at low altitude and landing, flight experiments of the system installed on a light helicopter were conducted. The research introduces the results of flight experiments on the practical work of television and infrared (IR) viewing channels of a promising typical system in simple and complex observation conditions. Based on the results of flight experiments, a conclusion can be made about the relevance of practical application of electronic visualization systems on board the aircraft to ensure flight safety. It is determined that the systems can be used in flight both for land observation tasks and ensuring a safe flight. When flying the helicopter at low altitude and landing procedures the pilot should use visual information from the rear hemisphere of the lower tail unit by electro-optical visualization system. It was elicited that in the infrared (IR) channel and the fast rotation of visualization system camera located there is a corresponding delay of vision direction and the actual direction of flight. The vision is blurred. In the mode of the infrared spectrum information there appears a filtering problem of interference caused by helicopter engine exhaust gases and snow in the sector of observation. It makes it more difficult to obtain the benefits of visualization systems vision in adverse weather conditions. The conclusions indicated that perspective visualization systems for IR channels require additional use of methods and algorithms to ensure high-definition vision.

Key words: aircraft, electronic visualization systems, flight experiment, picture quality, flight safety, aircraft landing.

REFERENCES

1. Stukalov S.B., Babaev V.G. *Perspektivniye napravleniya primeneniya sistem videniya na vozdushnyh sudah.* [Promising areas of application of vision systems on the aircraft]. *Grazhdanskaya aviatsija na sovremennom etape razvitiya nauki, tehniki i obshhestva. Sbornik tezisov dokladov uchastnikov nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvyashhennoy 45-letiyu universiteta. Moskva. MGTU GA* [Civil aviation at the present stage of development of science, technology and society. Abstracts of the participants of the scientific and technical conference dedicated to the 45th anniversary of the university. Moscow. MSTUCA], 2016, 138 p. (in Russian)

2. Stukalov S.B., Stukalov A.S. *Normativnoe regulirovanie trebovaniy k bortoviym sistemam vizualizatsii* [Normative regulation of the requirements for on-board systems of visualization]. *Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom etape razvitiya nauki, tehniki i obshhestva. Sbornik tezisov dokladov uchastnikov nauchno-tehnicheskoy konferentsii, posvyashhennoy 45-letiyu universiteta. Moskva. MGTU GA* [Civil aviation at the present stage of development of science, technology and society. Abstracts of the participants of the scientific and technical conference dedicated to the 45th anniversary of the university. Moscow. MSTUCA], 2016, 139 p. (in Russian)

3. Stukalov S.B., Stukalov D.S. *Podhody po organizacii primeneniya ehlektronnyh sistem osveshcheniya novyh tekhnologij* [Organization of electronic lighting system application within new technologies]. Security Problems of the Russian Society. Scientific journal, № 1, 2015, pp. 110–116. (in Russian)

4. Diagnostic and measuring instruments. Official site of World Diagnostics. Available at: http://www.diaworld.ru/ (accessed: 12.02.2017).

5. Stukalov S.B., Lutin E.A., Stukalov D.S. *Issledovanie innovatsionnyh podhodov primeneniya optiko-elektronnyh tehnologiy na vozdushnyh sudah. Otchet o NIR № 04-15. № gosregistracii 115112310002* [Report on the research work. The study on the innovative approaches application of optoelectronic technology on the aircraft. Research report number 04-15. State registration number 115112310002]. Moscow, MSTUCA, 2016, 61 p. (in Russian)

6. Vizilter Y.U., Geltov S.Y. *Problemy tekhnicheskogo zreniya v sovremennyh aviacionnyh sistemah* [Problems of Technical Vision in Aviation Systems]. Computer vision in control systems of the mobile objects. Proceedings of the conference-workshop-2010, Vol. 4. M., KDU, 2011, pp. 11–44. (in Russian)

7. Premium avionics for general aviation aircraft. Official site Avidyne. Available at: http://www.avidyne.com/ (accessed: 12.02.2017).

8. Multifunction display EX600. Official site Avidyne. Available at: http://www.avidyne.com/ (accessed: 12.02.2017).

9. Universal avionics system. The official website of Universal Avionics. Available at: http://www.uasc.com/ (accessed: 12.02.2017).

10. Integrated system of digital vision. The official website of the company Rockwell Collins Aviaiable at: http://www.rockwellcollins.com/ (accessed: 12.02.2017).

11. Kostiashkin L.N., Babaev S.I., Loginov A.A., Pavlov O.V. *Tekhnologii sistem uluchshennogo/sintezirovannogo zreniya dlya upravleniya letatel'nymi apparatami. Problemy tekhnicheskogo zreniya v sovremennyh aviacionnyh sistemah* [Aircraft control enhanced vision systems technologies]. Computer vision in control systems of the mobile objects. Proceedings of the conference-workshop-2010, Vol. 4. M., KDU, 2011, pp. 45–56. (in Russian)

12. Alpatov B.A., Babayan P.V., Kostyashkin L.N., Romanov Yu.N. *Obrabotka i analiz izobrazhenij v bortovyh optiko-ehlektronnyh sistemah. Problemy tekhnicheskogo zreniya v sovremennyh aviacionnyh sistemah* [Image processing and analysis in vehicle-borne optical-electronic systems]. Computer vision in control systems of the mobile objects. Proceedings of the conference-workshop-2010,Vol. 4. M., KDU, 2011, pp. 57–62. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey B. Stukalov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Full Professor of Moscow State Technical University of Civil Aviation, stukalov@mstuca.aero.

Dmitry S. Stukalov, Master Student of Plekhanov Russian Economic University, d.s.stukalov@ mail.ru.

Vadim I. Kondrikov, Board Cameraman of OJSC "LIC", i.korostelina@mstuca.ru.

Поступила в редакцию 23.01.2017
Принята в печать 25.05.2017

Received 23.01.2017
Accepted for publication 25.05.2017