

Авиационные системы улучшенного и синтезированного видения закабинного пространства

С.Ю. Желтов, О.В. Выголов, Ю.В. Визильтер

E-mail: o.vygovlov@gosniias.ru

В статье рассмотрены авиационные системы улучшенного и синтезированного видения (ESVS), обеспечивающие на базе технологий технического зрения и компьютерной визуализации увеличение дальности видимости ориентиров на местности и улучшение ситуационной информированности экипажа при посадке и рулении в плохих условиях видимости. Приведено функциональное описание систем ESVS. Кратко рассмотрены основные коммерческие системы, представленные на рынке, а также исследовательские программы. Описаны текущие результаты разработки прототипа отечественной системы ESVS на платформе интегрированной модульной авионики (ИМА) в части модулей информационной поддержки функций улучшенного и синтезированного видения.

Ключевые слова: *улучшенное видение; синтезированное видение; интегрированная модульная авионика; техническое зрение; комплексирование информации.*

S.Yu. Zheltov, O.V. Vygovlov, Yu.V. Vizilter

The paper describes enhanced and synthetic vision systems (ESVS) for civil aviation, which provide enhanced flight visibility and situational awareness during approach, landing and taxiing on the runway in low-visibility conditions with use of technical vision and computer graphics technologies. The paper considers the functional description of ESVS, main commercial ESVS systems and research programs. The current results of ESVS development based on integrated modular avionics are presented in the part of informational support modules of enhanced and synthetic vision.

Key words: enhanced vision system, synthetic vision system, integrated modular avionics, technical vision, data fusion.

Авторы:

1. Желтов Сергей Юрьевич – генеральный директор Федерального государственного унитарного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» (ФГУП «ГосНИИАС»), член-корреспондент РАН;
2. Выголов Олег Вячеславович – начальник лаборатории ФГУП «ГосНИИАС», кандидат техн. наук;
3. Визильтер Юрий Валентинович – начальник отделения ФГУП «ГосНИИАС», доктор физ.-мат. наук.

Одним из перспективных направлений совершенствования бортовой авионики самолетов гражданской авиации для повышения безопасности и эффективности воздушных перевозок является разработка технологий и систем «улучшенного» и «синтезированного» видения (Enhanced and Synthetic Vision Systems, ESVS). Системы ESVS обеспечивают увеличение дальности видимости ориентиров на местности и улучшение ситуационной информированности экипажа при заходе на посадку, посадке и рулении по взлетно-посадочной полосе (ВПП) в темное время суток и в сложных метеоусловиях за счет формирования средствами технического зрения и компьютерной визуализации обогащенного графического образа (изображения) закабинного пространства и вывода этого изображения на индикаторы экипажу.

Разработка технических требований к минимальным характеристикам сертифицируемых систем ESVS входит в сферу ответственности Комиссии по радиотехническим средствам для авиации (Radio Technical Commission for Aeronautics, RTCA Inc., USA) и Европейской организации по оборудованию для гражданской авиации (European Organisation for Civil Aviation Equipment, EUROCAE). Базовыми нормативными документами для разработки систем ESVS являются [1], [2].

В статье приведено функциональное описание систем ESVS. Рассмотрены основные коммерческие системы, представленные на рынке. Описаны перспективы реализации функций улучшенного и синтезированного видения на платформе интегрированной модульной авионики (ИМА) для прототипа отечественной системы ESVS.

Функциональное описание систем улучшенного и синтезированного видения

Система улучшенного видения (EVS) это аппаратно-программная система, которая формирует и выводит на систему индикации визуально

улучшенное изображение закабинного пространства по информации от оптико-электронного датчика(ов).

В состав базового бортового оборудования EVS входят: оптико-электронный датчик инфракрасного (ИК) диапазона (3-5 мкм или 8-14 мкм), «прозрачные» в ИК диапазоне обтекатели с защитой от обледенения, каналы передачи видеоинформации, бортовой вычислитель, электронный индикатор (ЭИ) с виртуальными органами управления функцией EVS для пилота. В качестве опционального оборудования в состав EVS может входить оптико-электронный датчик телевизионного (ТВ) диапазона и индикатор на лобовом стекле (ИЛС).

Требование к наличию датчика ИК диапазона определяется необходимостью получения видеоинформации в условиях слабой или затрудненной видимости в ТВ диапазоне. Наличие в составе оборудования ТВ-датчика также крайне рекомендуется и обусловлено необходимостью предоставления летчику визуального изображения закабинной обстановки в случае невозможности ее непосредственного обозрения через остекление кабины (например, в случае обледенения).

EVS должна решать следующие задачи:

- получение изображений от оптико-электронной системы;
- ввод цифровой видеоинформации в бортовой вычислитель с обеспечением в качестве опции возможности синхронизированного ввода многоспектральной информации;
- обработку видеоинформации (опционально);
- комплексирование многоспектральной видеоинформации (опционально);
- получение информации от бортовых систем о текущих географических координатах, высоте и пространственной ориентации ВС;
- совмещение улучшенного изображения и ПНИ, представленной в виде текста и векторных графических образов полета;

- обнаружение объектов аэродромной инфраструктуры (опционально);

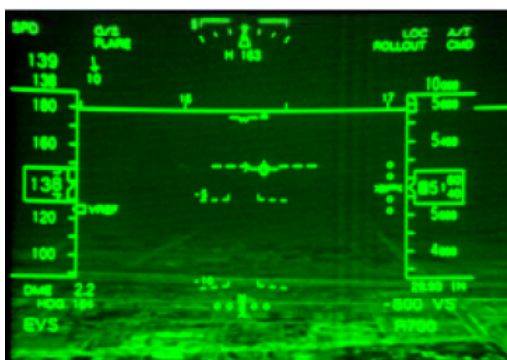
- индикация сформированного изображения EVS на ЭИ и/или на ИЛС.

Важно отметить, что EVS с функцией индикации на ЭИ рассматривается сертификационными органами только в качестве системы информационной поддержки экипажа, не предоставляющей никаких дополнительных возможностей по отклонению от существующих правил полетов, в то время как сертифицированная EVS с функцией индикации на ИЛС (в терминологии RTCA т.н. Enhanced Flight Vision System, EFVS) дает экипажу эксплуатационные преимущества. Под эксплуатационным преимуществом в данном контексте понимается право экипажа отклоняться от Федеральных авиационных правил (FAR) или правил Европейского агентства по авиационной безопасности (CS) относительно различных фаз полета. В частности, согласно [1] при наличии на борту ВС сертифицированной системы EFVS экипаж может продолжать снижение ниже высоты принятия решения по CAT I даже когда фактическая полетная видимость меньше предписанной для данной процедуры посадки, но на изображении, выводимом EFVS на ИЛС, четко видны и распознаются визуальные ориентиры, указанные в [3].

На рис. 1 приведены примеры работы систем EVS и EFVS.



(a)



(б)

Рис. 1. (а) – пример работы EVS: слева – изображение, формируемое EVS, справа – вид через остекление кабины пилота; (б) – пример работы EFVS. Источники: (а) – Rockwell Collins, (б) – Universal Avionics Systems Corp.

Под **системой синтезированного видения (SVS)** понимают систему, формирующую в бортовом вычислителе и выводящую на систему индикации изображение топографического участка, наблюдаемого из кабины пилота (рис. 2). Участок извлекается из бортовой базы данных (БД) в соответствии с информацией о текущих географических координатах, высоте и пространственной ориентации ВС.



Рис. 2. Пример изображения, формируемого SVS
(источник: Universal Avionics Systems Corp.)

В состав бортовых средств SVS должны входить: базы данных подстилающей поверхности, препятствий, объектов аэродромной инфраструктуры, вычислитель, подготавливающий SVS кадр для индикации, ЭИ с виртуальными органами управления функцией SVS для пилота, ИЛС (опционально).

SVS должна решать следующие задачи:

- получение информации от бортовых систем о текущих географических координатах, высоте и пространственной ориентации ВС;

- извлечение из бортовой базы данных информации о рельефе местности, соответствующей навигационному положению ВС;

- извлечение из бортовой базы данных информации о препятствиях, соответствующих навигационному положению ВС и представляющих потенциальную опасность для ВС на текущей фазе полета;

- извлечение из бортовой базы данных информации об объектах аэродромной инфраструктуры;

- синтез изображения топографического участка на основе комплексирования навигационной информации и информации из баз данных рельефа местности, препятствий и объектов аэродромной инфраструктуры;

- формирование векторных графических образов полета;

- формирование символики для представления потенциально опасных ситуаций: столкновение с землей (при работе совместно с системой предупреждения столкновения с поверхностью земли), столкновение с препятствиями, являющимися объектами аэродромной инфраструктуры, выкатывание за границы ВПП.

- синтез SVS кадра путем слияния векторных графических образов полета, символики представления потенциально опасных ситуаций и изображения топографического участка.

- индикация SVS кадра на ЭИ и (или) на ИЛС.

При раздельном режиме индикации EVS/SVS на больших высотах летчику, как правило, предоставляется изображение от SVS, а при посадке и рулении по ВПП – от EVS. В последнее время одним из перспективных режимов становится режим комбинированного видения (Combined Vision System, CVS), когда выполняется объединение улучшенного изображения от EVS и элементов трехмерной компьютерной визуализации, формируемых SVS.

В следующем разделе приведен краткий обзор основных коммерческих систем EVS и SVS, представленных на рынке, а также исследовательских программ по созданию перспективных прототипов систем следующего поколения.

Коммерческие системы и исследовательские программы

Авиационные системы УВЗП отечественного производства на сегодняшний день на рынке не представлены. Основными мировым лидерами в данной области являются компании Rockwell Collins Inc. (США), Thales (Франция), CMC Electronics Inc. (Канада), Max-Viz Inc. (США), SELEX Galileo (Италия).

Система Rockwell Collins EVS формирует ИК-изображения внешней среды, которую видит пилот, и выводит их на дисплей навигационной системы на лобовом стекле HGS®-4000, разработки этой же компании.

Компания Thales предлагает на рынке круглосуточную и всепогодную EVS, в состав которой входят регистрирующий модуль с охлаждаемым ИК-датчиком спектрального диапазона 3-5 мкм, вычислитель, ИЛС. К особенностям системы можно отнести использование ИК-датчика высокого разрешения (1024x768 пикс.), самое широкое поле зрения в этом классе систем (40°x26°), исполнение регистрирующего модуля в едином корпусе, автоматическое включение подогрева обтекателя ИК-датчика в случае его обледенения, низкое аэродинамическое сопротивление корпуса регистрирующего модуля, встроенный механизм самотестирования.

Компания CMC Electronics предлагает два вида систем: CMA-2700 I-Series™ и более компактный и дешевый вариант CMA-2610 M-Series™. В I-Series используется охлаждаемый, двухдиапазонный (1-3 и 3-5 мкм) ИК-датчик, в случае M-Series — неохлаждаемый, работающий в диапазоне 8-14 мкм. В стадии разработки находится система на базе миллиметрового радара. Индикация изображений выполняется на ИЛС и/или на ЭИ.

Компания Max-Viz, Inc. предлагает систему EVS 600 на базе ИК-датчика 8-14 мкм и ТВ-датчика. Информация с обоих датчиков поступает на спецвычислитель, где комплексируется и выдается на ЭИ лётчику. Благодаря использованию неохлаждаемого ИК-датчика EVS 600 имеет компактные размеры, небольшую массу и достаточно проста в установке. Кроме того, отсутствие криогенной системы охлаждения значительно уменьшает её стоимость. Компания также предлагает решение EVS 1500 на базе одного ИК-датчика с переключаемыми полями зрения для вертолётов и бизнес-самолётов и систему EVS 2500 на базе двух ИК-датчиков: длинноволнового — для формирования изображений рельефа и потенциальных препятствий и коротковолнового — для обнаружения ярких сигнальных огней ВПП.

Компания SELEX Galileo предлагает EVS, выполненную согласно требованиям военной авиационной техники. В системе используется ИК-датчик с пошаговым изменением масштаба и матрицей фотоприемников в фокальной плоскости, обеспечивающий формирование ИК-изображений высокого качества и разрешения в дневное, ночное время и в условиях плохой видимости на суше, море и в воздухе. ИК-датчик работает в спектральном диапазоне 3-5мкм, разрешение получаемого изображения – 640x480 пикселей. Модуль синтезированного видения может работать как в режиме формирования только синтезированного изображения, так и в режиме совмещения синтезированного и видимого изображения.

Отметим, что за рубежом также активно ведутся государственные и университетские НИР и ОКР в области авиационных систем улучшенного и синтезированного видения. Это программы NASA по обеспечению авиационной безопасности для самолетов гражданской авиации («Aviation Safety and Security program»), программа Федерального управления гражданской авиации США (Federal Aviation Administration, FAA) «Кэпстоун» (Capstone), целью которой является снижение частоты авиационных происшествий в процессе руления ВС по ВПП (Part 91 «Pilot and Flight Crew Procedures during Taxi Operations») за счет использования

технологий синтезированного видения. Большое количество исследований проводится силами международных государственных исследовательских организаций, например, Немецким аэрокосмическим центром.

Многочисленные университетские работы направлены на исследование особенностей восприятия человеком информации с дисплеев улучшенного и синтезированного видения. Такие работы проводятся в Стэнфордском университете, университетах Иллинойса, Сан-Хосе, Льежа.

Все выше сказанное позволяет сделать вывод о том, что для обеспечения конкурентоспособности отечественной гражданской авиационной техники на мировом рынке необходимо активизировать исследования в области такого перспективного направления в бортовой авионики, как системы улучшенного и синтезированного видения.

Реализация функций улучшенного и синтезированного видения на платформе ИМА

В рамках работ по созданию интегрированной модульной авионики ФГУП «ГосНИИАС» впервые в России инициировал работы по созданию отечественного перспективного прототипа системы ESVS, отличительными особенностями которой должны стать функции комплексирования и интеллектуальной обработки видеоинформации.

В ходе данной работы в части алгоритмических модулей, обеспечивающих информационную поддержку ESVS, получены следующие основные результаты:

Разработан и протестирован метод визуального совмещения многоспектральной видеоинформации на основе геометрического сравнения форм сегментированных разноспектральных изображений, описываемых разбиением кадра на связные области [4].

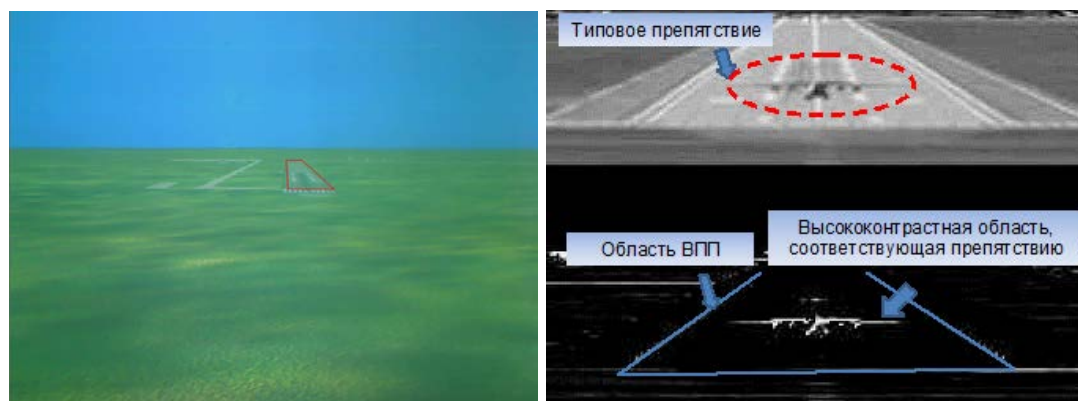
Разработана методика, алгоритмические и программные средства для привязки и совмещения синтезированной и наблюдаемой видеоинформации

На стендовом прототипе ESVS, функционирующем на базе платформы ИМА и включающем средства реалистичного моделирования закабинной обстановки, отработаны следующие функции улучшенного и синтезированного видения: улучшение качества ТВ и ИК изображений на основе алгоритма Retinex [5], комплексирование ТВ и ИК видеоинформации на основе морфологического подхода [4], автоматическое обнаружение ВПП на видеоизображениях на основе ортонормального преобразования Хафа [6], автоматическое обнаружение возможных динамических типовых препятствий на ВПП на основе фотограмметрического метода [7], наложение цифро-шкальной пилотажной информации и элементов графики определения ВПП на улучшенное изображение, вывод синтезированного изображения, полученного на основе бортовой базы данных сетки высот и пилотажно-навигационной информации, передаваемой в платформу ИМА от системы моделирования полета ВС.

На рис. 3 приведены примеры работы ряда функций улучшенного и синтезированного видения на реальных и модельных видеоданных.

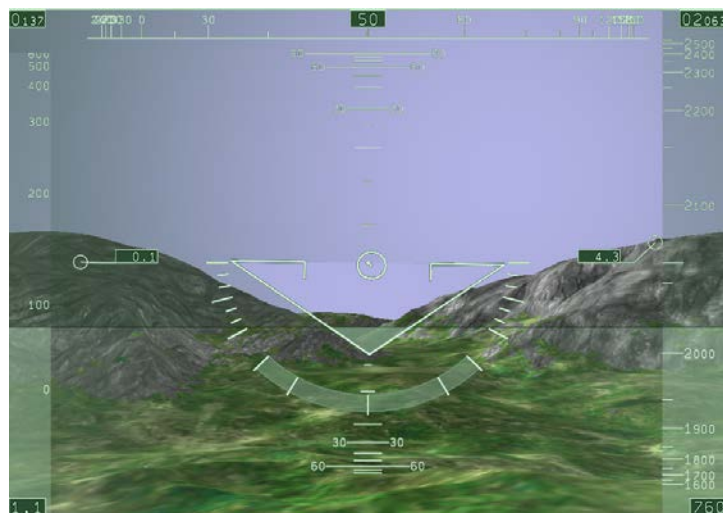


(a)



(б)

(в)



(г)

Рис. 3. Примеры работы функций улучшенного и синтезированного видения: (а) – комплексирование ТВ и ИК изображений (слева – ТВ изображение, справа – результат комплексирования); (б) – пример обнаружения ВПП на модельных данных; (в) – пример обнаружения препятствий на ВПП (вверху – пример изображения типового препятствия, внизу – сформированное признаковое изображение); (г) – пример кадра SVS с наложенной цифро-шкальной информацией.

Заключение

В заключение статьи можно отметить, что сертифицированные системы ESVS, представленные на рынке к настоящему времени, можно условно отнести к системам первого поколения: это либо системы «датчик-дисплей», обеспечивающие передачу на индикатор изображения, полученного от датчиков, либо системы визуализации синтезированных географических данных с использованием GPS. Лишь в ряде систем реализована функция комплексирования многоспектральной информации, ни в одной из коммерческих систем не рассматриваются задачи автоматического выделения ВПП, препятствий, объектов из базы геопространственных данных, автоматической привязки модельной и реальной пространственной информации. Не рассматриваются задачи стыковки ESVS с системами автоматического управления посадкой. Однако известно, что работы по всем перечисленным выше направлениям за рубежом активно ведутся.

Таким образом, основные конкурентные преимущества разрабатываемых отечественных прототипов систем ESVS видятся в области интеллектуализации обработки видеоинформации для автоматизации взлетно-посадочных операций.

Библиографический список

1. RTCA DO-315B «Minimum Aviation System Performance Standard (MASPS) for Enhanced Vision Systems, Synthetic Vision Systems, Combine Vision Systems and Enhanced Flight Vision Systems», RTCA, Inc, 2011.
2. ED-179B «Minimum Aviation System Performance Standard (MASPS) for Enhanced Vision Systems, Synthetic Vision Systems, Combine Vision Systems and Enhanced Flight Vision Systems», EUROCAE, 2011.
3. FAA 14 CFR §91.175 «Takeoff and Landing under Instrument Flight Rules», 2007.
4. А.Ю. Рубис, О.В. Выголов, Ю.В. Визильтер Морфологическое комплексирование изображений различных спектральных диапазонов // Техническое зрение в системах управления - 2011. Труды научно-технической конференции. Москва, ИКИ РАН, 15-17 марта 2011г., с.143-148.
5. О.В. Выголов, Ю.В. Визильтер. Разработка элементов авиационной системы улучшенного видения // Техническое зрение в системах управления - 2011. Труды научно-технической конференции. Москва, ИКИ РАН, 15-17 марта 2011г, с.47-51.
6. Комаров Д. В., Визильтер Ю. В., Выголов О. В., Князь В. А. Автоматическое обнаружение взлетно-посадочной полосы на видеоизображениях для авиационной системы улучшенного видения // 9-я международная конференция. «Интеллектуализация обработки информации», Черногория, г. Будва, 2012 г.: Сборник докладов. - М.: Торус Пресс, с. 350-354.
7. Степаньянц Д. Г., Комаров Д. В., Выголов О. В. Разработка алгоритма автоматического обнаружения препятствий на взлетно-посадочной полосе по видеопоследовательности для авиационной системы улучшенного видения // 9-я международная конференция. «Интеллектуализация обработки информации», Черногория, г. Будва, 2012 г.: Сборник докладов. - М.: Торус Пресс, с. 402-406/