

УДК 623.746.-519

С.Г. Цариченко, Н.С. Родиченко

**БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, КАК СРЕДСТВО
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ**

Все более актуальной задачей при проведении пожарно-спасательных операций в зонах особого риска становится применение оперативными подразделениями первого эшелона современных средств разведки, таких как беспилотные летательные аппараты (БЛА). Несмотря на существенное развитие сферы БЛА, их массовое распространение ограничено в связи различными факторами, включающими сложность обучения операторов и дороговизну комплексов. Рассматриваются основные аспекты построения системы с мини-БЛА для использования при проведении пожарно-спасательных операций в зонах особого риска. Показана возможность создания расширяемой и надежной системы для использования в современных и будущих комплексах с мини-БЛА мультикоптерного типа. Рассмотрены вопросы построения системы автоматического управления и инерциальной навигационной системы, вопросы дистанционного управления мини-БЛА, а также режимы автономного поведения. В свете использования комплексов в условиях чрезвычайных ситуаций, отдельное внимание уделено системам противодействия отказам – как при подготовке к полету, так и во время выполнения задания. В работе также затронуты вопросы создания информационной системы для обработки полетных заданий и принятия тактических решений. В заключении статьи, описаны способы подготовки комплекса для массового производства путем увеличения модульности (на аппаратном и программном уровнях) и упрощения процесса сборки.

Беспилотные летательные аппараты; система автоматического управления; инерциальная навигационная система; массовое производство; резервирование.

S.G. Tsarichenko, N.S. Rodichenko

**UNMANNED AERIAL VEHICLES AS A MEANS TO INCREASING THE
EFFICIENCY OF TACTICAL ACTIVITY OF FIRE AND RESCUE UNITS**

Exploitation of modern reconnaissance means like unmanned aerial vehicles (UAVs) by first-echelon squads is becoming a more relevant topic nowadays. Despite the drastic development of the UAV area their mass deployment is hindered due to many factors, including (but not limited to) a prolonged training process of UAV operators, and the high price of such systems. In this work we consider the main aspects of building a mini-UAV system for deployment during fire and rescue missions in high-risk environments. We show the possibility of creating an extensible and reliable system for use in modern and prospective complexes with mini-UAVs of multicopter type. We consider the aspects of designing automatic control and inertial navigation sub-systems, remote control of UAVs, and modes of autonomous behavior. Due to potential utilization of systems in emergency situations we separately discuss failsafe systems – both during pre-flight setup, and in-flight. We also touch on topics of creating an information system for processing on-line flight data and decision-making support. As a bottom-line to the paper we describe methods used to prepare the UAV system for mass production and deployment by increasing its modularity (on both hardware and software levels) and simplifying the assembly process.

Unmanned aerial vehicles; automatic control system; inertial navigation system; mass production; redundancy.

Эффективность и безопасность проведения пожарно-спасательных операций в зонах особого риска, обусловленных наличием радиационно-химического заражения, массовых пожаров и разрушений, возможностью осколочно-фугасного поражения, а также обусловленных отсутствием достаточной информации оперативной обстановки при ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера во многом определяется возможностью проведения в реальном

масштабе времени разведки реальной обстановки, мониторинга развития ситуации и обеспечения связи и управления силами и средствами. Очевидно, что от правильности принятого на начальном этапе работ решения о плане проведения операции во многом зависит исход всей кампании. В связи с этим, особо актуальной становится задача проведения разведки и организации системы управления подразделениями до прибытия основных сил и средств, что обуславливает необходимость применения оперативными подразделениями первого эшелона современных средств разведки, мониторинга и связи, в качестве которых может выступать мини беспилотные летательные аппараты (мини-БЛА). Основными тактическими задачами этих аппаратов является:

- ◆ обеспечение возможности ведения оперативной воздушной разведки (мониторинга) в ближайшей тактической глубине, а также в сложных условиях рельефа, промышленной и жилой инфраструктуры;
- ◆ получение фиксированного изображения наблюдаемого объекта;
- ◆ передача видеоинформации об обнаруженных в полёте признаках опасных явлений природного и техногенного характера;
- ◆ обнаружение очагов возгорания, определение путей выдвижения пожарных подразделений;
- ◆ обеспечение проведения поисково-спасательных работ;
- ◆ мониторинг особо опасных и критических объектов;
- ◆ оценка оперативной обстановки в зоне работы наземной группировки основных пожарно-спасательных сил и средств;
- ◆ организация управления группировки мобильных РТС с целью координации их действий в условиях возможных радиопомех;
- ◆ формирования MESH-сетей для организации устойчивой связи и создания локальной системы позиционирования в зоне проведения работ;
- ◆ возможность оперативного развертывания системы, как на открытой местности, так и в условиях городской и промышленной застройки.

Система обработки получаемой оперативной информации должна позволять её использование непосредственно оперативному подразделению, задействованному в ходе проведения операции, а также должна быть передана ближайшему вышестоящему пользователю.

Для решения поставленных задач мини-БЛА должен обладать техническими характеристиками, указанными в табл. 1.

Таблица 1

Требуемые технические характеристики мини-БЛА для оперативной разведки в условиях ЧС

Наименование параметра	Значение параметра
Максимальная высота подъема с полезной нагрузкой не менее	300 метров
Максимальная скорость ветра, при которой должно обеспечиваться выполнение задач	до 12 м/с
Максимальный радиус управляемого полета БМПП по радиоканалу	не менее 1000 м
Максимальная дальность действия канала передачи видеоинформации от бортовой видеокамеры в условиях прямой видимости	не менее 1000 м

Окончание табл. 1

Наименование параметра	Значение параметра
Гарантированный ресурс	не менее 200 подъемов (до 5 лет)
Габаритные размеры в рабочем положении, не более: диаметр высота	0,5 м 0,3 м
Время полета	20 мин
Вес БЛА без полезной нагрузки, не более	3 кг
Максимальный вес полезной нагрузки с системой подвеса	0,2 кг
Летные характеристики: скорость набора высоты скорость снижения угловая скорость разворота максимальная скорость	не менее 5 м/с не менее 3 м/с не менее 45° в секунду не менее 40 км/ч
Продолжительность подготовительных процессов: подготовка БЛА к первому старту подготовка к БЛА к повторному применению свертывание комплекта	не более 10 мин. не более 5 мин. не более 10 мин.

При этом в состав бортового оборудования каждого мини-БЛА должны входить:

- ◆ бортовая инерциальная система и система спутниковой навигации;
- ◆ бортовая система стабилизации;
- ◆ бортовая система передачи видеоизображения и телеметрии;
- ◆ бортовая система управления полезной нагрузкой;
- ◆ система приема команд дистанционного управления БЛА;
- ◆ средства обеспечения функционирования и необходимые исполнительные механизмы.

Учитывая тактические задачи, которые должен решать мини-БЛА, и сформулированные технические характеристики, представляется целесообразным в качестве аэродинамической схемы рассматривать летательные аппараты мультикоптерной схемы.

При этом необходимо учитывать, что эффективность применения мини-БЛА в качестве инструмента организации управления и связи передовых оперативно-тактических подразделений будет определяться доступностью и широтой применения этих систем. Для решения этой проблемы необходимо использовать достаточно дешевые летательные аппараты без потери их функциональных возможностей по удобству управления и сервису по сравнению с более тяжелой техникой.

Исходя из перечисленных выше требований, важной задачей становится создание комплексов с мини-БЛА, обладающих современным эксплуатационными качествами, возможностью массового производства и малым временем обучения. Для разработки подобных устройств требуется использование передовых комплектов, алгоритмов и методов производства.

Далее рассмотрим основные функциональные блоки комплекса с мини-БЛА: контроллер полета и инерциальную навигационную систему мини-БЛА, варианты полезной нагрузки мини-БЛА, наземную базовую станцию управления, функции автономии и противодействия отказам. Важным условием их реализации является организация массового производства комплекса при относительно низкой цене.

Принципиальная схема компонентов мини-БЛА типа «квадрокоптер» представлена на рис. 1.

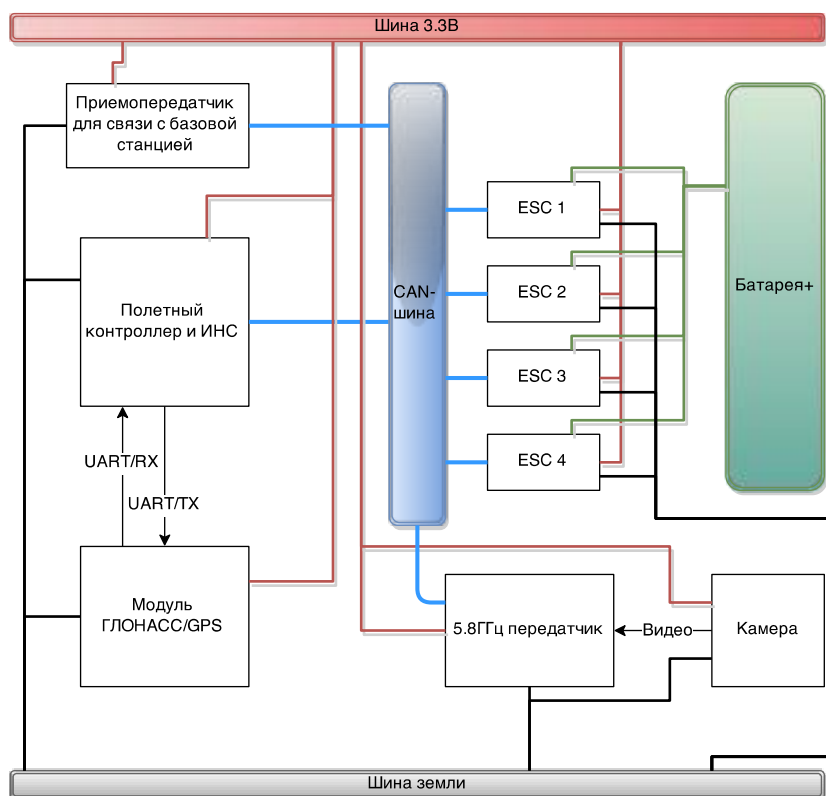


Рис. 1. Пример принципиальной схемы компонентов мини-БЛА типа «квадрокоптер». ESC1-4 – контроллеры скорости двигателей (двигатели не изображены)

В основе разработанного мини-БЛА находится вычислительное устройство, объединяющее контроллер полета (КП) и инерциальную навигационную систему (ИНС). При разработке КП и ИНС основное внимание уделялось трем характеристиками:

- ◆ **надежность**, характеризующаяся устойчивостью к отказам, защищенностью от помех и простотой обслуживания;
- ◆ **расширяемость**, характеризующиеся возможностью модификации и расширения функций системы в будущем;
- ◆ **совместимость** с современными стандартами передачи данных и подключения встроенных устройств.

Модуль контроллера полета и ИНС строится на двухуровневой архитектуре, состоящей из низкоуровневого контроллера полета и опционального со-вычислителя для решения задач компьютерного зрения и других ресурсоемких

задач. Использование мощного со-вычислителя заложено в архитектуру для решения перспективных задач в будущем. Примеры подобных задач: визуальное слежение и следование за целью [1], визуальное счисление географических координат при отказе или сбое модуля спутниковой навигации [2].

В настоящей работе мы не будем описывать устройство высокоуровневого вычислителя, а подробнее рассмотрим структуру и устройство низкоуровневого полетного контроля и ИНС. При проектировании КП/ИНС заложена следующая функциональность: 1) возможность реализации ресурсоемких алгоритмов, таких как фильтр Калмана; 2) возможность резервирования КП/ИНС, устранение единой точки отказа.

Как уже было сказано выше, разработанная нами на основе этих критериев система представляет из себя комбинированную систему КП/ИНС. Подобные системы постепенно входящие на рынок коммерческих БПЛА и БПЛА специального назначения [3]. Существенными преимуществами подобных систем являются малый вес/размер и дешевизна по сравнению с отдельными комплексами КП + ИНС. Ключевые характеристики системы представлены ниже:

- ◆ Вычислительное устройство: микроконтроллер на базе архитектуры ARM Cortex-M4. Данная архитектура была выбрана, так как микроконтроллеры на ее основе обладают высокой производительностью, достаточной для расчета фильтра Калмана высокого порядка [4]; имеют необходимый набор периферии, в том числе встроенный контроллер CAN-шины [5]; имеют низкую стоимость, что делает возможным их использование для массового производства
- ◆ Микроэлектромеханические инерциальные и прочие сенсоры: совмещенные модули трехосевых гироскопа, акселерометра и магнетометра, барометрический датчик. Используется 2 различных совмещенных модуля гироскоп/акселерометр/магнетометр, что обеспечивает корректное функционирование системы при выходе из строя одного из датчиков.
- ◆ Поддержка интерфейса CAN для подключения других компонентов БПЛА. CAN-шина используется совместно с программной архитектурой publish/subscribe (PubSub, рус. издатель/подписчик) [6], что обеспечивает совместимость с периферией на основе CAN-шины, и дает возможность расширять систему путем добавления новых устройств на шину.

На рис. 2 изображен пример интегрированной системы КП+ИНС, использующей МЭМС и вычислитель с архитектурой ARM Cortex-M [7], использующий компоновку, аналогичную предлагаемую нами.

Как было сказано выше, в основе программной архитектуры системы лежит концепция издатель/подписчик (publish/subscribe pattern), которая дополняется использованием CAN-шины в аппаратной части. Принцип работы архитектуры издатель/подписчик заключается в способности узлов (датчики, контроллеры двигателей, вычислительные устройства) создавать так называемые подписки, в которые эти узлы могут публиковать информацию в виде сообщений. Другие же узлы могут подписываться на эту информацию и мгновенно ее получать. К примеру, это позволяет продолжать штатную работу системы при выходе из строя основного вычислителя – за счет резервных вычислителей в сети.

Одним из ключевых критериев отказоустойчивости системы является отсутствие единой точки отказа (узла, при отказе которого вся система теряет работоспособность). Создание отказоустойчивой системы требует резервирования по различным узлам, и наша архитектура издатель/подписчик + CAN позволяет добавлять в систему неограниченное количество резервных узлов, в том числе одноранговых вычислителей, работающих в параллели. Подобный подход позволяет, в том числе, реализовать тройное модульное резервирование КП с мажорированием – подход, применяемый в построении систем с повышенной отказоустойчивостью [8].

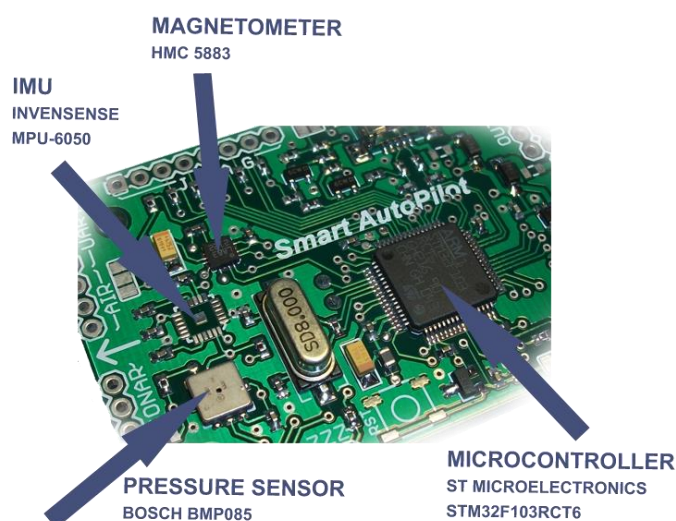


Рис. 2. Пример интегрированной системы КП+ИНС

Одним из ключевых критериев отказоустойчивости системы является отсутствие единой точки отказа (узла, при отказе которого вся система теряет работоспособность). Создание отказоустойчивой системы требует резервирования по различным узлам, и наша архитектура издатель/подписчик + CAN позволяет добавлять в систему неограниченное количество резервных узлов, в том числе одноранговых вычислителей, работающих в параллели. Подобный подход позволяет, в том числе, реализовать тройное модульное резервирование КП с мажорированием – подход, применяемый в построении систем с повышенной отказоустойчивостью [8].

Входящая в комплекс КП/ИНС, инерциальная навигационная система применяется в БПЛА с целью его позиционирования и ориентации в пространстве. Позиционирование используется при удержании позиции, выполнении автономных миссий, а также при возврате в точку старта в экстренном или плановом режиме. Ориентация используется системой автоматического управления в контроллере полета с целью низкоуровневой стабилизации БПЛА (достижение целевых значений крена, тангажа и курса).

Разработанная ИНС работает на основе расширенного фильтра Калмана [9], оценивающего, в том числе, следующие переменные состояния системы:

- ◆ статические ошибки показаний трехосевого гироскопа,
- ◆ кватернион, задающий ориентацию БПЛА в пространстве,
- ◆ двумерный вектор скорости ветра,
- ◆ трехмерный вектор линейной скорости БПЛА,
- ◆ трехмерные географические координаты БПЛА (широта/ долгота/ высота над уровнем моря).

Использование расширенного фильтра Калмана позволяет в перспективе добавлять в систему новые типы датчиков или дублирующие датчики к уже имеющимся. Одним из приоритетных направлений развития является визуальная навигация/стабилизация и счисление координат методом визуальной одометрии [10].

Следующим важным аспектом построения комплекса с мини-БЛА является интеграция полезной нагрузки – возможность использования различной полезной нагрузки является ключевой характеристикой эффективной системы. Среди ос-

новых полезных нагрузок для мини-БЛА, применяемых в случае ЧС: камера видимого и инфракрасного спектра, компактные радио-модули для организации связи. Для обеспечения максимальной расширяемости и совместимости, взаимодействия с полезной нагрузкой организовано следующими двумя способами:

- ◆ для полезной нагрузки с CAN-интерфейсом подключение происходит на программном уровне путем добавления программного модуля (драйвера) в автопилот;
- ◆ для полезной нагрузки с другими интерфейсами (UART, SPI, I2C) подключение происходит через активное устройство-переходник UART-CAN, при этом связь между переходником и автопилотом происходит по стандартному протоколу, а между переходником и полезной нагрузкой – с помощью драйвера. Подобный подход позволяет решить проблему одновременного подключения полезной нагрузки к нескольким вычислительным устройствам, а также дает возможность контролировать статус и производить диагностику полезной нагрузки через систему сообщений, исходящих от самой полезной нагрузки или интерфейсного CAN-UART модуля.

Отдельно стоит отметить полезную нагрузку для мини-БЛА в виде радио ретрансляторов и устройств для организации mesh-сетей. Как будет описано ниже, организация воздушной поддержки наземных робототехнических комплексов (РТК) является одной из важных перспективных задач для условий ЧС [11]. Использование мини-БЛА, несущих ретрансляторы, позволит существенно увеличить радиус действия связи с наземными РТК, в том числе вне зоны прямой видимости [12; 13].

Критически важной частью комплекса с БПЛА является наземная базовая станция (БС) управления БПЛА. Это устройство или набор устройств полностью обеспечивают взаимодействие оператора с БПЛА, поэтому надежность и простота использования наземной станции являются ключевыми характеристиками комплекса.

Разработанная нами базовая станция и пульт дистанционного управления (ПДУ) основываются на следующих критериях работы комплекса с БПЛА при подготовке и во время ЧС:

- ◆ время и сложность обучения операторов комплекса;
- ◆ возможность эксплуатации в сложных погодных условиях, соответствие стандартам IPxx;
- ◆ возможность эксплуатации во время пешего движения оператора;
- ◆ возможность эксплуатации во время движения оператора в наземном спецтранспорте;
- ◆ необходимость подключения к сети Интернет;
- ◆ время и сложность подготовки БС к использованию;
- ◆ возможность работы в удалении от электросетей, время автономной работы.

Ключевой функционал, заложенный в нашу систему на уровне БС позволяет работать с ключевым источником данных с мини-БЛА в условиях ЧС – входящим видео-поток. Для выполнения анализа обстановки в реальном времени поддерживаются следующие функции: сохранение входящего видео-потока; сохранение отдельных кадров видео-потока, а также запрос фотографий высокого разрешения с БПЛА; сохранение мета-информации (гео-привязка, условия и время съемки) вместе с фотографиями.

Кроме того, разработана информационная система-компаньон (ИСК), дающая доступ к расширенной функциональности работы с данными. Примеры функций ИСК для расширенного анализа полетов: хранение историй полетных маршрутов; просмотр историй полетов; синхронное воспроизведение видео с борта и полетной информации. Отдельно стоит отметить возможность создания интегрированных файлов с информацией о полете для передачи непосредственному вышестоящему пользователю, который сможет провести анализ ситуации на собст-

венном компьютерном терминале, без непосредственного доступа к мини-БЛА. Кроме того, в рамках ИСК ведется разработка системы трансляции видеозаписи и телеметрии полетов в реальном времени на удаленный сервер с одновременным просмотром материала ближайшим вышестоящим пользователем. Такая система позволит в будущем агрегировать данные в командном центре и проводить анализ входящей информации с нескольких мини-БЛА в режиме реального времени.

Используемые в разработанном комплексе интеллектуальные системы, условно можно разделить на системы поддержки автономных миссий и системы поддержки в случае нештатных ситуаций. Несмотря на различные задачи двух подсистем, они обе относятся к классу высокоуровневых систем автоматического управления. Далее опишем каждую из подсистем и специфические для нее аспекты функционирования.

Автономные миссии позволяют решать основные тактические задачи стоящие перед мини-БЛА, которые были определены выше, а также распознавание и сопровождение наземных целей [14].

Функции противодействия отказам подразумевает ряд организационно-технических мероприятий, описанных далее. Мини-БЛА проводит диагностику всех подсистем после каждого включения. В случае выявления текущих ошибок или ошибок/неисправностей в предыдущем полете, система не позволит произвести запуск, а также оповестит оператора о неисправностях. В случае невозможности обмена информацией с БС мини-БЛА вернется в точку запуска или в точку последнего местонахождения БС. Для предотвращения ухода мини-БЛА из зоны действия наземной станции или из зоны безопасного полета применяется гео-ограда, исключая возможность потери мини-БЛА, как с учетом возможностей БС, так и с учетом энергоресурса системы. Последняя функция обеспечивается непрерывной оценкой оставшегося времени полета и времени необходимого для возврата к оператору в случае низкого заряда батареи. Данный режим является необходимым для полуавтоматических миссий без использования полетных заданий. Непрерывная оценка состояния ИНС проводится с целью предупреждения некорректного поведения мини-БЛА в случае отказа одного или нескольких датчиков навигационной системы. В случае выявления ошибок, мини-БЛА переходит в режим возврата к оператору или в режим немедленной посадки (в случае критических ошибок).

Важной составной частью в реализации проекта внедрения в систему управления передовых подразделений мини-БЛА с целью повышения эффективности их оперативно-тактической деятельности является разработка подходов к организации массового производства комплексов с мини-БЛА. Эта часть является особенно актуальной в связи с высокой востребованностью беспилотных воздушных систем поддержки.

В результате был разработан ряд подходов для обеспечения возможности массового производства комплексов с мини-БЛА, в том числе на локальных производственных предприятиях. Ключевым шагом является стандартизация физических параметров компонентов мини-БЛА и протоколов взаимодействия между компонентами. Данный подход позволяет производить доработку и обновление компонентов мини-БЛА без существенной доработки базового программного обеспечения или механического дизайна.

На основе изученных протоколов [15, 16] для обмена данными по CAN-шине, и в данный момент ведем разработку собственного протокола, поддерживающего текущий и перспективный функционал системы мини-БЛА. В дополнение к унифицированной архитектуре мини-БЛА, использование модульной механической и электрической структуры в конструкции БЛА позволит;

- ◆ снизить стоимость производства комплекса за счет массового производства отдельных компонентов;
- ◆ минимизировать стоимость сборки и ремонта, упростить полевой ремонт комплекса;

- ◆ минимизировать вариацию характеристик экземпляров отдельных модулей, что повысит стабильность работы и общую надежность системы;
- ◆ полностью изготавливать комплекс с мини-БЛА на российской производственной базе.

Кроме того, стандартизация компонентов позволит в будущем частично или полностью заместить импортные комплектующие российскими.

Выводы. Сформулированы основные тактико-технические требования, предъявляемые к мини-БЛА, предназначенные для эффективного управления оперативно-тактическими действиями передовыми подразделениями пожарно-спасательных служб в недетерминированной обстановке.

Представлен обоснованный подход к техническому решению создания мини-БЛА, по своим характеристикам обеспечивающему выполнение полетного задания с высокой степенью надежности и эффективности.

Представленное в настоящей работе техническое решение отвечает ключевым критериям надежности, расширяемости и совместимости, и может быть использовано при создании текущих и перспективных комплексов с БЛА.

Модульность и совместимость системы дают возможность обеспечить массовое производство комплекса, а также существенно упростить и удешевить процесс обновления модельного ряда в будущем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Mejias L., Saripalli S.* Visual servoing of an autonomous helicopter in urban areas using feature tracking // *J. F. Robot.* – 2006. – Vol. 23, № 3-4. – P. 185-199.
2. *Kelly J., Saripalli S., Sukhatme G.* Combined visual and inertial navigation for an unmanned aerial vehicle // *Springer Tracts Adv. Robot.* – 2008. – Vol. 42. – P. 255-264.
3. *Chao H., Cao Y., Chen Y.* Autopilots for small unmanned aerial vehicles: a survey // *Int. J. Control. Autom. Syst.* – 2010. – Vol. 8, № 1. – p. 36-44.
4. *Sebesta K., Boizot N.* A real-time adaptive high-gain EKF, applied to a quadcopter inertial navigation system // *IEEE Trans. Ind. Electron.* – 2014. – Vol. 61, № 1. – p. 495-503.
5. Источник в интернете: www.st.com/stm32f4.
6. *Banavar G., Chandra T.* An efficient multicast protocol for content-based publish-subscribe systems // *Proceedings of 19th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems.* – 1999. – p. 262-272.
7. *Shilov K.* The Next Generation Design of Autonomous MAV Flight Control System SmartAP // *IMAV 2014: International Micro Air Vehicle Conference and Competition.* – 2014.
8. *Козлов И.* Бортовой вычислительный комплекс для негерметичных долгоресурсных КА // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева.* – 2013. – Т. 6, № 52. – С. 89-94.
9. *Zhang P., Gu J.* Navigation with IMU/GPS/digital compass with unscented Kalman filter // *Autom.* – 2005.
10. *Madison R. и др.* Vision-aided navigation for small UAVs in GPS-challenged environments // *Proceedings of the AIAA Infotech@Aerospace Conference and Exhibit.* – 2007.
11. *Цариченко С.* Направления развития экстремальной робототехники МЧС России с учетом опыта практического применения // *Труды 7-го Международного симпозиума “Экстремальная робототехника – робототехника для работы в условиях опасной окружающей среды”.* – 2013. – С. 21-24.
12. *Yongsheng L.* Beyond Line of Sight Multi-path Relay with Unmanned Aerial Vehicle Platform // *Telem. Telecontrol.* – 2003. – Vol. 2. – P. 008.
13. *Hague D., Kung H., Suter B.* Field experimentation of cots-based UAV networking // *Military Communications Conference (MILCOM).* – 2006. – P. 1-7.
14. *Wenzel K., Masselli A., Zell A.* Automatic take off, tracking and landing of a miniature UAV on a moving carrier vehicle // *J. Intell. Robot. Syst.* – 2011. – Vol. 61, № 1-4. – P. 221-238.
15. Источник в интернете: <http://uavcan.org/UAVCAN>.
16. *Stock M.* CANaerospace-interface specification for airborne CAN applications V 1.7 // *Stock Flight Syst.* – 2006. – Vol. 12.

REFERENCES

1. *Mejias L., Saripalli S.* Visual servoing of an autonomous helicopter in urban areas using feature tracking, *J. F. Robot*, 2006, Vol. 23, No. 3-4, pp. 185-199.
2. *Kelly J., Saripalli S., Sukhatme G.* Combined visual and inertial navigation for an unmanned aerial vehicle, *Springer Tracts Adv. Robot*, 2008, Vol. 42, pp. 255-264.
3. *Chao H., Cao Y., Chen Y.* Autopilots for small unmanned aerial vehicles: a survey, *Int. J. Control. Autom. Syst.*, 2010, Vol. 8, No. 1, pp. 36-44.
4. *Sebesta K., Boizot N.* A real-time adaptive high-gain EKF, applied to a quadcopter inertial navigation system, *IEEE Trans. Ind. Electron*, 2014, Vol. 61, No. 1, pp. 495-503.
5. Available at: <http://www.st.com/stm32f4>.
6. *Banavar G., Chandra T.* An efficient multicast protocol for content-based publish-subscribe systems, *Proceedings of 19th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems*, 1999, pp. 262-272.
7. *Shilov K.* The Next Generation Design of Autonomous MAV Flight Control System SmartAP, *IMAV 2014: International Micro Air Vehicle Conference and Competition*, 2014.
8. *Kozlov I.* Bortovoy vychislitel'nyy kompleks dlya negermetichnykh dolgozursnykh KA [The onboard computer system for unpressurized dolgozursen KA], *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva* [Bulletin of the Siberian state aerospace University. academician M. F. Reshetnev], 2013, Vol. 6, No. 52, pp. 89-94.
9. *Zhang P., Gu J.* Navigation with IMU/GPS/digital compass with unscented Kalman filter, *Autom*, 2005.
10. *Madison R. u dp.* Vision-aided navigation for small UAVs in GPS-challenged environments, *Proceedings of the AIAA Infotech@Aerospace Conference and Exhibit*, 2007.
11. *Tsarichenko S.* Napravleniya razvitiya ekstremal'noy robototekhniki MChS Rossii s uchedom opyta prakticheskogo primeneniya [Directions of development of extreme robotics EMERCOM of Russia based on the experience of practical application], *Trudy 7-go Mezhdunarodnogo simpoziuma "Ekstremal'naya robototekhnika – robototekhnika dlya raboty v usloviyakh opasnoy okruzhayushchey sredy"* [Proceedings of the 7th International Symposium "Extreme robotics - robotics to work in a dangerous environment"], 2013, pp. 21-24.
12. *Yongsheng L.* Beyond Line of Sight Multi-path Relay with Unmanned Aerial Vehicle Platform, *Telem. Telecontrol*, 2003, Vol. 2, pp. 008.
13. *Hague D., Kung H., Suter B.* Field experimentation of cots-based UAV networking, *Military Communications Conference (MILCOM)*, 2006, pp. 1-7.
14. *Wenzel K., Masselli A., Zell A.* Automatic take off, tracking and landing of a miniature UAV on a moving carrier vehicle, *J. Intell. Robot. Syst.*, 2011, Vol. 61, No. 1-4, pp. 221-238.
15. Available at: <http://uavcan.org/UAVCAN>.
16. *Stock M.* CANaerospace-interface specification for airborne CAN applications V 1.7, *Stock Flight Syst.*, 2006, Vol. 12.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Х. Пшихопов.

Цариченко Сергей Георгиевич – ФГБУ ВНИИПО МЧС России; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru; 143903, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; тел.: 84955298189; д.т.н.; заместитель начальника института; начальник НИЦ Робототехники.

Родиченко Никита Сергеевич – Сколковский институт науки и технологий; e-mail: nikita.rodichenko@gmail.com; 143025, Московская обл., Одинцовский р-н, Новоивановское городское поселение, дер. Сколково, ул. Новая, 100; магистрант.

Tsarichenko Sergey Georgievich – FGBU VNIPO EMERCOM Russia; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru; mkr. VNIPO 12, Balashikha, Moscow District, 143903, Russia; phone: +74955298189; dr. of eng. sc.; deputy head of Institute; head of the Robotics SRC.

Rodichenko Nikita Sergeevich – Skolkovo Institute of Science and Technology; e-mail: nikita.rodichenko@gmail.com; Novaya St., 100, Skolkovo, 143025, Russia; MSc student.