

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балтрашевич В. Э. Инструментальная АОС на базе экспертной системы // Управляющие системы и машины. 1994. № 4/5. С. 101–105.

2. Балтрашевич В. Э. АОС по симплекс-методу решения задач линейного программирования.

Н91423. Каталог отраслевого фонда алгоритмов и программ. Вып. 9. Каталог программных средств учебного назначения НИИВО, каталог 9. М., 1992.

V. E. Baltrashevich

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

DEVELOPMENT OF AOS (COMPUTER-AIDED LEARNING SYSTEM) ON THE BASIS OF ATRIBUTES LIST

The technology of developing an automated learning system is described, which makes it easy to change both the type and the subject area of the problems being solved. The task to be solved is divided into blocks, with each of which an attribute is associated with a specific structure that allows storing knowledge about the attribute, such as questions to the user, the number of the corresponding processing procedure, the type of response, the sign of the answer record, and others. The subject area is described using a separate module, which demonstrates the current state of the domain and contains the procedures forming the method being studied. The procedure for starting these procedures is determined by the main program. The components of the procedure, in addition to performing their functions, also check the user's response and issue the appropriate message. The description of attributes is made in the expert language and is specified in a separate text file, which can be edited. The user's answers can be of various types: string, integer, real. When the user receives an incorrect response, the system issues hints, but takes into account the fact of error that can be used in assessing the learner's knowledge.

Surface and depth knowledge of the expert, control of the knowledge of the trainee, block of explanations

УДК 629.7

В. А. Шишков, В. В. Макаров
ООО «СТЦ» (Санкт-Петербург)

С. А. Кудряков
Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации

С. А. Беляев, В. В. Романцев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Управление беспилотным воздушным судном «Орлан-10» на протяженных маршрутах

Рассмотрены актуальные вопросы оптимизации выполнения полетов дистанционно пилотируемых воздушных судов серии «Орлан-10» по протяженным трассам вне пределов прямой видимости. Отражены основные направления применения беспилотных авиационных систем в интересах министерств и ведомств Российской Федерации в различных сферах: военное дело, сельское хозяйство, строительство, геодезия, метеорология, картография, экология, сфера безопасности. Приведены основные технические характеристики дистанционно пилотируемых воздушных судов серии «Орлан-10», состав системы автоматического управления, связанного оборудования. Рассматривается опыт реализации полетов по протяженному маршруту с использованием нескольких наземных пунктов дистанционного управления с применением существующей связанной инфраструктуры. Отражены принципы организации управления дистанционно пилотируемых воздушных судов серии «Орлан-10» с помощью нескольких наземных пунктов дистанционного управления.

**Беспилотные авиационные системы, дистанционно пилотируемые воздушные суда,
эксплуатация авиационной техники, пункт дистанционного управления**

Беспилотные авиационные системы (БАС) в настоящее время находят все более широкое при-

менение в самых различных сферах: военное дело, сельское хозяйство, строительство, геодезия, метео-

рология, картография, экология, сфера безопасности [1]–[4]. В интересах Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации беспилотные воздушные суда могут применяться:

1. В лесном хозяйстве:
 - лесное картографирование;
 - получение актуальной и достоверной информации о состоянии лесных земель и лесных насаждений;
 - определение таксационных показателей древостоев;
 - среднесрочное и оперативное планирование лесозаготовок;
 - развитие лесной инфраструктуры;
 - проектирование противопожарных и лесозащитных мероприятий;
 - воспроизводство лесных ресурсов;
 - мероприятия по выявлению лесов высокой природоохранной ценности;
 - мероприятия по сохранению биоразнообразия;
 - оптимизация технологических схем разработки лесосек;
 - мониторинг лесных пожаров и незаконных вырубок.

2. Для охраны окружающей среды:
 - аэрофотосъемка и мониторинг природных комплексов, объектов промышленности;
 - охрана заповедников от несанкционированных вырубок и браконьеров;
 - мониторинг застройки подведомственных территорий;
 - выявление несанкционированных свалок.

3. Для добычи полезных ископаемых, трубопроводный транспорт:
 - аэрофотосъемка и картографирование мест добычи полезных ископаемых и трубопроводов;
 - мониторинг объектов нефтяной и газовой промышленности;
 - обнаружение повреждений и утечек на участках трубопроводов;
 - поддержка геологоразведочных и проектных работ на местности.

4. Для землеустройства и кадастра:
 - аэрофотосъемка земельных участков;
 - учет и мониторинг земельных участков для кадастра;
 - поддержка задач по межеванию земель;
 - определение размеров, местоположения, и других характеристик земельных участков;
 - геодезические и картографические работы;
 - аэрофотосъемка для геологических работ, строительных работ.

В интересах Министерства сельского хозяйства Российской Федерации беспилотные воздушные суда могут применяться:

- для аэрофотосъемки и картографирования сельскохозяйственных угодий;
- наблюдения и мониторинга за сельскохозяйственными культурами, всхожестью семян;
- анализа насыщенности земельных участков химическими элементами;
- распыления и контроля результатов применения удобрений;
- определения мест опрыскивания ядохимикатами.

В интересах Министерства энергетики Российской Федерации, Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации беспилотные воздушные суда могут применяться:

- для картографирования и мониторинга протяженных линий электропередач, линий связи, других объектов;
- поддержки проектно-изыскательских работ на местности;
- контроля технического состояния объектов, их безопасности и функционирования;
- ретрансляции и контроля за использованием радиочастотного пространства;
- мониторинга электростанций различного типа;
- съемки в интересах средств массовой информации.

В интересах Министерства транспорта Российской Федерации беспилотные воздушные суда могут применяться в интересах:

1. Дорожного хозяйства:
 - аэрофотосъемка автомобильных и железных дорог, придорожной обстановки;
 - учет и мониторинг дорог, объектов придорожной инфраструктуры;
 - оценка состояния дорог;
 - поддержка в натурных изысканиях при проектировании дорог;
 - мониторинг пробок, определение участков образования;
 - определение происшествий на транспортных магистралях;
 - мониторинг путей, выявление упавших деревьев, обрывов линий электропередачи и других препятствий.
2. Авиации:
 - мониторинг зоны глиссады и района захода на посадку;
 - поиск потерпевших бедствие;

- мониторинг радиообстановки в районе аэропортов;
- орнитологические задачи;
- метеорологические наблюдения.

В интересах Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий беспилотные воздушные суда могут применяться:

- для мониторинга объектов промышленно-сти, представляющих повышенную опасность для окружающей среды и населения;
- оперативного прогнозирования и оценки последствий чрезвычайных ситуаций (лесные пожары, наводнения, ледяные заторы, техногенные катастрофы, аварии);
- поисковых работ и координации спасательных работ;
- геомониторинга поверхности земной и водной поверхностей, лавиноопасных мест в горах вместо зондов.
- дистанционного зондирования труднодоступных и опасных объектов, для получения более точных результатов, включая химическую, радиационную и бактериологические обстановки.

Широкий спектр применения БАС объясняется простотой их эксплуатации, экономичностью, относительно невысокой стоимостью, оперативностью предоставления полученной информации. Перечисленные качества и наличие эффективных программных средств управления дистанционно пилотируемым беспилотным воздушным судном (ДПВС), целевой нагрузкой, размещенной на борту, а также обработки добываемой информации еще больше расширяют существующие возможности гражданского и коммерческого применения БАС [5]–[7].

Несмотря на внешне кажущуюся простоту, БАС представляет собой совокупность беспилотных воздушных систем, наземной части и обслуживающего персонала, взаимосвязанных и взаимодействующих между собой и образующих единое целое [8].

Вопросы безопасности применения БАС в различных условиях эксплуатации представляют серьезную научную и практическую проблемы. Один из аспектов данной проблемы – безопасная интеграция БАС в несегрегированное воздушное пространство, что, в свою очередь, требует наличия в составе БАС эффективной системы управления, обеспечивающей безаварийное применение беспилотного воздушного судна.

Одним из наиболее массово производимых в настоящее время БАС являются комплексы с ДПВС «Орлан-10». Они с различными варианта-

ми целевого оборудования в составе БАС предназначены для решения широкого круга задач в интересах народного хозяйства.

Беспилотное воздушное судно представляет собой свободонесущий высокоплан, в качестве силовой установки которого используется поршневой двухцилиндровый четырехтактный бензиновый двигатель внутреннего сгорания с воздушным охлаждением с двухлопастным винтом, расположенный в носовой части фюзеляжа [9].

Расчет для обслуживания беспилотного воздушного судна (БВС) в составе БАС состоит из трех человек: внешнего пилота, оператора целевого оборудования и техника стартовой позиции.

Пуск БВС осуществляется с подготовленной или неподготовленной площадки при помощи пусковой установки.

Основные технические характеристики ДПВС «Орлан-10» приведены в таблице.

Управление полетом ДПВС по заданному маршруту осуществляется посредством системы автоматического управления (САУ) и специального программного обеспечения (СПО) наземного пунк-

Характеристика	Значение
Максимальная взлетная масса, кг, не более	18.6
Диапазон высот полета, м	300...5000
Диапазон скоростей полета, км/ч	70...150
Крейсерская скорость полета, км/ч	100 ± 10
Продолжительность полета, мин, не менее	600
Радиус действия комплекса в автоматическом и полуавтоматическом режимах, км, не более	120
Радиус действия комплекса в автономном режиме, км, не более	500
Максимальная масса полезной нагрузки, кг, не менее	4
Количество применений, раз, не менее	50
Максимальная скорость ветра у земли при пуске и посадке БЛА, м/с, не более	10
Скорость ветра у земли при старте боковая, м/с, не более	3
Размер посадочной площадки, м, не менее	200 × 200
Уклон посадочной площадки, ...°, не более	5
Температура окружающей среды, °С	–30...+40
Время разворачивания, мин, не более	30
Способ посадки штатный/аварийный	На парашюте / по-самолетному
Запуск	С пусковой установки

та дистанционного управления (НПДУ). В процессе полета оператор управления при помощи СПО БЛА имеет возможность изменить полетное задание и управлять режимами работы целевого оборудования в реальном масштабе времени при наличии радиосвязи между НПДУ и ДПВС.

Система автоматического управления содержит:

- систему полного и статического давлений, подающую давление к датчикам САУ для определения основных параметров полета (воздушной скорости, барометрической высоты);
- инерциальную систему, входящую в состав САУ, которая предназначена для определения крена, тангажа, курса, угловых скоростей вокруг осей БЛА и линейных ускорений;

- магнитный компас, входящий в состав САУ, служащий для определения магнитного курса аппарата в прямолинейном горизонтальном полете;
- аппаратуру спутниковой навигации, которая используется в качестве источника навигационной информации, вычисленной по данным, принятым от спутниковой навигационной системы.

Комплексирование данных систем в САУ позволяет на основе алгоритмов управления вырабатывать управляющие сигналы на сервоприводы согласно заданной программе полета.

Связное оборудование включает в себя:

- модуль командно-телеметрической радиолонии;
- антенно-фидерную систему командно-телеметрической радиолонии.

Модуль командно-телеметрической радиолонии, расположенный в фюзеляже в носовой части совместно с антенно-фидерной системой, находящейся, в свою очередь, в фюзеляже в хвостовой части, обеспечивает в условиях прямой радиовидимости радиосвязь между НПДУ и БВС:

- для передачи оператором управления команд с возможностью корректировки программы маршрута;
- приема на НПДУ данных телеметрии.
- САУ позволяет обеспечить следующие основные режимы полета БАС:
 - взлет и посадка в автоматическом режиме;
 - полет в полуавтоматическом режиме с корректировкой оператором параметров полета (маршрута) по радиоканалу;
 - полет в автоматическом режиме с использованием заранее сформированной последовательности путевых точек (маршрута).

Как правило, ДПВС «Орлан-10» используются в районе с одними и теми же точками взлета и посадки БВС. При этом эффективная дальность полета БВС составляет не более 500 км. Управление

БВС с НПДУ в этом случае, а также получение информации от целевой нагрузки в реальном масштабе времени осуществляются в зоне прямой видимости с использованием системы связи с ДПВС. В состав системы связи входят приемопередающие устройства, установленные на борту БВС и входящие в состав НПДУ, а также радиолонии, обеспечивающие обмен информацией между БВС и НПДУ. Основными радиолониями являются:

- командно-телеметрическая радиолония низкоскоростной передачи данных, предназначенная для передачи на борт БВС команд управления и доставки с борта данных телеметрии;

- радиолония высокоскоростной передачи данных, используемая для передачи данных от целевой нагрузки на НПДУ.

Энергетический потенциал радиолонии определяет основные тактико-технические характеристики радиоканала – его пропускную способность, дальность связи и достоверность передачи информации. Энергетический потенциал радиолонии определяется мощностью передатчика, коэффициентом шума приемника, коэффициентом усиления (направленного действия) антенн на передаче и на приеме, видами и параметрами систем модуляции и кодирования, характеристиками распространения сигналов, скоростью передачи информации и другими факторами [10].

В радиолонии предполагается использовать перспективные на настоящий момент сигнально-кодовые конструкции на основе комбинации сигналов с многопозиционными методами модуляции (QPSK, 8PSK и 16PSK) со скруглением огибающей и эффективного метода LDPC-кодирования с минимальной плотностью проверок на четность. Использование метода LDPC-кодирования обеспечивает высокую энергетическую эффективность, т. е. требуемое соотношение сигнал/шум при заданной вероятности ошибки на бит является небольшим, а скругление формы огибающей, например по закону приподнятого косинуса, обеспечивает компактность спектра сигнала.

Расчеты показывают, что энергетический потенциал радиолонии позволяет эффективно использовать БВС с получением информации от целевой нагрузки в реальном масштабе времени, на дальностях 120...170 км (прямой видимости) в зависимости от решаемых задач и высоты полета БВС.

Полет БВС вне зоны прямой видимости осуществляется воздушным судном по маршрутным точкам сформированным СПО с сохранением полученной информации на носителях, размещенных на борту БВС. Следует отметить, что автономный по-

лет БВС возможен только по заданному маршруту или при непосредственном управлении оператором, принятие автономных решений БВС по изменению маршрута не предусматривается. В связи с этим в общем случае один оператор может управлять одним-двумя БВС одновременно.

В ряде случаев, когда протяженность маршрута составляет от 500 до 1000 км, экономически целесообразно использование двух и более НПДУ. Наиболее характерно это при использовании БАС с целевым оборудованием оптико-электронного наблюдения для воздушного патрулирования трасс магистральных трубопроводов.

При этом основной технической задачей использования двух и более НПДУ является повышение эффективности безусловного выполнения БВС полетного задания с получением информации от ЦН в реальном масштабе времени и снижение издержек, необходимых для его реализации. Уникальность и новизна задачи управления ДПВС обусловлена тем, что для ее решения необходимо создание принципиально нового класса интеллектуальных управляющих комплексов, объединяющих компоненты бортовой подсистемы и нескольких подсистем каждой из НПДУ.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать 3 НПДУ, размещенных равномерно по маршруту полета БВС. Первый НПДУ является ведущим и размещается в точке взлета БВС, второй (ведомый № 1) на удалении 300...350 км, третий (ведомый № 2) – в точке посадки. Оборудование ведущего НПДУ должно быть сопряжено с аппаратно-программными средствами обработки информации, а также со средствами передачи данных заказчику (в интересах которого выполняется полетное задание). Для передачи данных от целевой нагрузки в реальном масштабе времени в составе ведомых НПДУ № 1, 2 должно быть предусмотрено дополнительное оборудование для передачи полученных данных с использованием существующей связной инфраструктуры (модем GSM/GPRS и приемопередающая антенна, соединенные последова-

тельно, либо оборудование для передачи данных по кабельным каналам связи).

При организации управления ДПВС «Орлан-10» с помощью двух или более НПДУ необходимо:

- сформировать последовательность маршрутных точек и с помощью специального программного обеспечения записать его на борт БВС;

- настроить приемопередающее оборудование всех НПДУ на единый канал управления;

- настроить специальное программное обеспечение ведущего НПДУ в режим главной станции, ведомых НПДУ – в режим подчиненных станций;

- обеспечить взлет и выход на маршрут полета БВС в зоне прямой видимости ведущего НПДУ;

- при выходе БВС из зоны прямой радиовидимости ведущего НПДУ с помощью СПО перевести ведущий НПДУ в режим подчиненной станции, ведомый НПДУ № 1 – в режим главной станции. Команда на перевод режимов станций осуществляется оператором ведущего НПДУ с использованием существующих каналов связи;

- при выходе БВС из зоны прямой радиовидимости ведомого НПДУ № 1 с помощью СПО перевести ведомый НПДУ № 1 в режим подчиненной станции, ведомый НПДУ № 2 – в режим главной станции. Команда на перевод режимов станций осуществляется оператором ведущего НПДУ с использованием существующих каналов связи;

- с помощью СПО ведомого НПДУ № 2 обеспечить посадку БВС в заданном районе.

Апробированные способы реализации управления ДПВС при полете по протяженному маршруту с использованием нескольких НПДУ с применением существующей связной инфраструктуры, в том числе современных систем цифровой радиосвязи, показали практическую возможность объединить используемые НПДУ и аппаратно-программные средства обработки целевой информации и обеспечить ее обработку и предоставление полученных данных в масштабе времени, близком к реальному. Апробация была выполнена на примере организации управления ДПВС «Орлан-10», но изложенные подходы могут быть распространены и на другие ДПВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 56122–2014. Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 2015.
2. Циркуляр 328 ИКАО. Беспилотные авиационные системы (БАС) CIR328 ISBN 978-92-9231-780-5 ©ИКАО, 2011.
3. Руководство по дистанционно пилотируемым авиационным системам (ДПАС). ICAO, Doc. 10019, AN/507. 2015. 190 с.

4. Моисеев В. С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2015. 444 с.

5. Беспилотные авиационные системы: общие сведения и основы эксплуатации / С. А. Кудряков, В. Р. Ткачев, Г. В. Трубников, В. И. Кисличенко; под ред. С. А. Кудрякова. СПб.: Свое изд-во, 2015. 121 с.

6. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В. С. Фетисов,

Л. М. Неугодникова, В. В. Адамовский, Р. А. Красноперов; под ред. В. С. Фетисова. Уфа: ФОТОН, 2014. 217 с.

7. Федеральный закон «О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации в части использования беспилотных воздушных судов». ФЗ № 291 от 03.07.2016.

8. Матюшин Д. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами полиции. Саарбрюккен: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 149 с.

9. Эксплуатация комплексов с беспилотными летательными аппаратами: учеб. пособие / А. А. Гетманцев, В. В. Зевин, М. В. Куликов, И. Б. Петров; под ред. А. А. Гетманцева. СПб.: ВАС, 2016. 280 с.

10. Ричард У. Максимальная дальность связи по радиоканалу в системе: как этого добиться // Новости электроники. 2015. № 11. С. 3–13.

V. A. Shishkov, V. V. Makarov
LLC «STC» (Saint Petersburg)

S. A. Kudryakov
Saint Petersburg State University of Civil Aviation

S. A. Belyaev, V. V. Romancev
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

THE EXPERIENCE OF OPERATING DPAS «ORLAN-10» ON LONG-TRACK ROUTED

Is devoted to current issues of optimization of «Orlan-10» remotely piloted aircraft flight operations on the longest tracks out of LOS. The authors provide the main ways of implementing the unmanned aviation systems for the Ministries and governmental agencies of the Russian Federation in various spheres: military, agriculture, construction, geodetic survey, meteorology, map-making, ecology, security. They single out the main technical characteristics of «Orlan-10» unmanned aircraft, details of its automatic control system and its communications equipment. The authors research the experience of performing flights on the long-track route using several ground-based points of remote control operating the existing communication infrastructure. They state the fundamental approach to the operation of «Orlan-10» unmanned aircraft using several ground-based points of remote control.

Unmanned aircraft systems, remotely piloted aircrafts, aircraft equipment operation, remote control station

УДК 629.78

В. Е. Герцман, А. И. Вайнтрауб, А. В. Экало
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

К. Г. Зиновьев
Космодром «Плесецк»

Способ повышения точности юстировки радиолокационных станций с помощью низкоорбитальных космических аппаратов

Описывается способ построения «эталонной траектории», необходимой для проверки погрешности координатных измерений радиолокационной станции (РЛС) и определения необходимости дальнейшего проведения на ней юстировочных работ. В качестве объектов измерений используются низкоорбитальные космические аппараты (НКА), снабженные навигационной аппаратурой потребителей (НАП) Глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS, способные передавать информацию НАП на наземные пункты приема по телеметрическому радиоканалу. Повышение точности построения эталонной орбиты, по отношению к которой производится юстировка РЛС, осуществляется комплексной апостериорной обработкой совокупности информации, передаваемой по радиоканалам на пункт приема информации наземного автоматизированного комплекса управления. Даются рекомендации по отбору и верификации НКА, которые можно использовать в качестве объектов, обеспечивающих РЛС эталонными данными с заданным уровнем точности.

Низкоорбитальный космический аппарат, юстировка, радиолокационная станция, эталонная траектория, навигационная аппаратура потребителя, ошибки измерений, эфемериды

Постановка задачи юстировки РЛС. Юстировка радиолокационных станций (РЛС) с помо-

щью летательных объектов (ЛО) заключается в определении и оценке разностей Δx между пара-