



УДК 347.822.4; 629.7.076.4

БЕСКОНФЛИКТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИЛОТИРУЕМЫХ И БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

С.А. Кудряков, Е.А. Рубцов

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации»

Беспилотные авиационные системы являются одним из ключевых звеньев цепи процесса развития, обладание которым определяет технологическое и экономическое преимущество стран. Беспилотные аппараты широко применяются службами различных министерств, а также частными лицами. В настоящее время полеты беспилотных аппаратов разрешены только в закрытом воздушном пространстве, для посадки выделяются отдельные площадки. В статье рассмотрены вопросы обеспечения бесконфликтных полетов в общем воздушном пространстве, а также вопросы, касающиеся совместного захода на посадку на параллельные взлетно-посадочные полосы.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, беспилотные воздушные суда, безопасность полетов, зона конфликтных ситуаций, посадка, параллельные ВПП.

Для цитирования:

Кудряков С.А., Рубцов Е.А. Бесконфликтное использование пилотируемых и беспилотных воздушных судов // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №1(19), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2019 – с.88-101. РИНЦ.

CONFLICT-FREE USE OF MANNED AND UNMANNED AIRCRAFT

S.A. Kudryakov, E.A. Rubtsov

Saint-Petersburg State University of Civil Aviation

Unmanned aviation systems are one of the key links in the chain of development, the possession of which determines the technological and economic advantage of countries. Unmanned vehicles are widely used by the services of various ministries, as well as individuals. Currently, the flights of unmanned vehicles are allowed only in closed airspace, separate landing sites are allocated. The article considers the issues of ensuring conflict-free flights in the common airspace, as well as issues related to the joint approach to parallel runways.

Keywords: unmanned aircraft systems, unmanned aircraft, flight safety, conflict zone, landing, parallel runways.

For citation:

Kudryakov S.A., Rubtsov E.A. Conflict-free use of manned and unmanned aircraft // System analysis and logistics.: №1(19), ISSN 2007-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2019 – p.88-101.

Введение

В соответствии с принятой на сегодняшний день классификацией считается, что мировая экономика прошла 5 технологических укладов и входит в шестой технологический уклад [1–6].

При этом пятый и шестой технологические уклады характеризуются следующими особенностями:

Пятый технологический уклад:

Основной ресурс – атомная энергетика. Основные отрасли – электроника и микроэлектроника, информационные технологии, геномная инженерия, программное обеспечение, телекоммуникации, освоение космического пространства. Ключевой фактор – микроэлектронные компоненты. Достижение уклада – индивидуализация производства и потребления. Гуманитарное преимущество – глобализация, скорость связи и перемещения.

Шестой технологический уклад (прогноз):

Основные отрасли – нано- и биотехнологии, наноэнергетика, молекулярная, клеточная и ядерная технологии, нанобиотехнологии, биомиметика, нанобионика, нанотроника, а также другие



наноразмерные производства; новые медицина, бытовая техника, виды транспорта и коммуникаций; использование стволовых клеток, инженерия живых тканей и органов, восстановительная хирургия и медицина. Ключевой фактор – микроэлектронные компоненты. Достижение уклада – индивидуализация производства и потребления, резкое снижение энергоёмкости и материалоёмкости производства, конструирование материалов и организмов с заранее заданными свойствами. Гуманитарное преимущество – существенное увеличение продолжительности жизни человека и животных.

По экспертным оценкам 2010 года доля производительных сил третьего технологического уклада в наиболее развитых странах составила примерно 60 процентов, четвёртого – 20 процентов, а шестого – около 5 процентов.

Анализ содержания пятого и шестого технологических укладов показывает, что серьёзный прорыв должен произойти в области транспортных систем в целом и авиационной и ракетно-космической техники в частности.

Особенно быстрыми темпами инновации развиваются в области логистики, что определило в 2016 году общий доход транспортного сектора в размере 3.8 триллионов долларов.

Помимо появления и развития таких направлений как интернет вещей (IoT), промышленный интернет вещей (IIoT), производство продукции на местах на основе 3D принтеров и прочее серьёзный технологический прорыв ожидается в области автономного транспорта, что в целом входит в понимаемую в узком или широком смысле концепцию «Индустрия 4.0», связываемую с так называемой четвертой технологической революцией. При этом развитие технологий реализации транспортных задач без участия человека наблюдается практически во всех видах транспорта от крупномасштабных автомобильных перевозок и автоматизированных складских систем до персонализированных служб доставки корреспонденции.

Беспилотные авиационные системы, расположенные на стыке нескольких направлений развития, могут оказаться именно тем узловым звеном всей цепи процесса развития, обладание которым определит экономическое преимущество стран, владеющих данными технологиями в полной мере.

Несмотря на то, что наиболее часто на сегодняшний день БАС рассматривают как удобное средство решения логистических задач «первой» и «последней» мили, области их применения существенно шире.

Как основные обобщенные виды применения беспилотных воздушных судов можно выделить:

– для Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации:

лесное хозяйство:

- 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;

охрана окружающей среды:

- аэрофотосъемка и мониторинг природных комплексов, объектов промышленности;
- охрана заповедников от несанкционированных рубок и браконьеров;



- мониторинг застройки подведомственных территорий;

- выявление несанкционированных свалок;

добыча 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;

землеустройство и кадастр:

- 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;

– для Министерства сельского хозяйства Российской Федерации:

сельское хозяйство:

- аэрофотосъемка и картографирование сельскохозяйственных угодий;

- наблюдение и мониторинг за сельскохозяйственными культурами, всхожести семян;

- анализ насыщенности земельных участков химическими элементами;

- распыление и контроль результатов применения удобрений;

- определение мест опрыскивания ядохимикатами;

– для Министерства энергетики Российской Федерации, а также Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации:

энергетика и связь:

- картографирование и мониторинг протяженных линий электропередач, линий связи, других объектов;

- поддержка проектно-изыскательских работ на местности;

- контроль технического состояния объектов, их безопасность и функционирование;

- ретрансляция и контроль за использованием радиочастотного пространства;

- мониторинг электростанций различного типа;

- съемки в интересах средств массовой информации;

– для Министерства транспорта Российской Федерации:

дорожное хозяйство:

- 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;

- определения происшествий на транспортных магистралях;

- мониторинг путей, выявление упавших деревьев, обрывов линий электропередачи и других препятствий;



авиация:

- мониторинг зоны глиссады и района захода на посадку;
- поиск потерпевших бедствие;
- мониторинг радиообстановки в районе аэропортов;
- орнитологические задачи;
- метеорологические наблюдения;

– для Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий:

- мониторинг объектов промышленности, представляющих повышенную опасность для окружающей среды и населения;
- оперативное прогнозирование и оценка последствий чрезвычайных ситуаций (лесные пожары, наводнения, ледяные заторы, техногенные катастрофы, аварии);
- поисковые работы и координация спасательных работ;
- геомониторинг поверхности земной и водной поверхностей, лавиноопасных мест в горах вместо зондов.
- дистанционное зондирование труднодоступных и опасных объектов, для получения более точных результатов, включая химическую, радиационную и бактериологические обстановки.

Общие вопросы траекторного управления БВС

Несмотря на внешне кажущуюся простоту, БАС представляет собой совокупность беспилотных воздушных судов, наземной части и обслуживающего персонала, взаимосвязанных и взаимодействующих, между собой и образующих единое целое [7].

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

Управление полетом ДПВС по заданному маршруту осуществляется посредством системы автоматического управления (САУ) и специального программного обеспечения (СПО) наземного пункта 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 включает в себя [8–10]:

- 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 [8–10]:

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



Модуль командно-телеметрической радиолинии, расположенный в фюзеляже (носовая часть) совместно с антенно-фидерной системой, расположенной в свою очередь в фюзеляже (хвостовая часть), 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 режимах;

- 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, БВС используются в районе с одними и теми же точками взлета и посадки. 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, осуществляется в зоне прямой видимости. Дальность прямой видимости составляет, в зависимости от решаемых задач и высоты полета БВС, от 120 до 170 км. Полет БВС вне зоны прямой видимости осуществляется БВС по маршрутным точкам сформированным СПО, с сохранением полученной информации на носители, размещенные на борту БВС [10, 11].

Однако в ряде случаев, когда протяженность маршрута составляет от 500 до 1000 км экономически целесообразно использование двух и более НПДУ. Наиболее это характерно 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 снижения 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 внебортовых подсистем каждой из НПДУ.

Для решения поставленной задачи предполагается использование трех 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 ПДУ 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 приемо-передающую антенну, соединенные последовательно либо оборудование для передачи данных по кабельным каналам связи).

При организации управления БВС с помощью двух или более НПДУ необходимо [10, 11]:

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

- настроить приемо-передающее 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 существующий 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 существующий каналов связи;

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

Помимо широкого развития беспилотных аппаратов малой массы в ближайшее время ожидается появление аппаратов коммерческой направленности с взлетной массой до 1 тонны. Подобные аппараты могут нести значительную по массе полезную нагрузку, совершать полеты на большую дальность и подниматься на высоты в несколько тысяч метров [10]. Для совершения посадки тяжелым аппаратам потребуются взлетно-посадочные полосы (ВПП), имеющие твердое покрытие и достаточную длину. Строительство отдельных аэродромов для БВС может стать экономически нецелесообразным, поэтому необходимо рассмотреть вариант совместного использования ВПП пилотируемыми и беспилотными ВС.

Несмотря на то, что полеты БВС над территорией России пока разрешены только в сегрегированном (закрытом) воздушном пространстве, ведутся эксперименты по практической реализации использования воздушного пространства пилотируемой и беспилотной авиацией [11, 12], поэтому нетрудно спрогнозировать, что в ближайшие годы возникнет необходимость производить совместные полеты.

Как отмечается в документах ИКАО «ключевой фактор безопасной интеграции беспилотных авиационных систем в несегрегированное воздушное пространство будет заключаться в их способности вести себя и реагировать так же, как воздушные суда с пилотом на борту. Многие составляющие этой способности будут определяться техническими решениями» [8, 9]. Одной из ключевых задач при совершении полетов в общем воздушном пространстве является недопущение опасных сближений и нарушения норм эшелонирования. Для решения этой проблемы необходимо определять размер зон конфликтных ситуаций, т.е. области пространства, в пределах которой нахождение двух и более ВС недопустимо.

Размер зоны конфликтных ситуаций зависит от точности определения местоположения ВС, конфигурации воздушных трасс и норм эшелонирования.

Методика оценки зон конфликтных ситуаций

Рассмотрим методику оценки размера зон конфликтных ситуаций. Для этого проанализируем состав бортового комплекса. Пилотируемое ВС может иметь на борту следующие системы:

- 1) автономную навигационную систему (АНС), как правило представляющую собой инерциальную навигационную систему (ИНС), на устаревших ВС может применяться доплеровский измеритель скорости и угла сноса (ДИСС);
- 2) приемник сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС): ГЛОНАСС и GPS;
- 3) аппаратуру азимутально-дальномерной навигационной системы (VOR/DME).

Комплекс средств навигации предусматривает наличие двух каналов: к первому относится автономная навигационная система, ко второму – совокупность позиционных радионавигационных систем (ГНСС, VOR, DME). За пределами зоны действия позиционных радионавигационных систем полет осуществляется по АНС, в пределах же зоны действия производится коррекция координат, как правило методом замещения [13].

Современные ИНС обладают достаточно высокой точностью: средняя квадратическая погрешность (СКП) измерения координат составляет 2 морские мили за час полета. Указанные погрешности характерны для прямолинейного участка маршрута при спокойной атмосфере. В реальном полете из-за турбулентности, а также поворотов с большими углами крена, погрешность может значительно нарастать и составить 2 морские мили за 15 минут полета [14, 15].



Международная организация гражданской авиации (ИКАО) в качестве основного навигационного средства рекомендует применять ГНСС. На сегодняшний день СКП системы ГЛОНАСС составляет 7...20 м, при наличии оперативной информации об альманахе. При устаревании данных на 1 сутки, СКП увеличивается до 830 м, при устаревании на 10 суток – до 2 км [16, 17]. GPS обеспечивает горизонтальную точность 9 м для вероятности 95% при оптимальном расположении спутников и 17 м при наихудшем расположении спутников [15].

Система VOR/DME включает всенаправленный ОВЧ радиомаяк (VOR) и дальномерное оборудование (DME). Максимальная дальность действия системы для высоты полета 10000 м и при отсутствии закрытий достигает 200 морских миль. Согласно документам ИКАО, система VOR/DME обладает недостаточно высокой точностью определения координат ВС для обеспечения современных навигационных спецификаций. Это связано с относительно большими погрешностями азимутального канала, которые могут достигать 2° при нормальных условиях эксплуатации, и 5° при наличии переотражений, помех и т.д. [18].

Погрешность измерения расстояния аппаратурой DME составляет 150 м при навигации по маршруту и 75 м для обеспечения навигации в районе аэродрома и захода на посадку [18]. Сигналы системы DME/DME считаются достаточными для соблюдения требований навигационных спецификаций RNAV 5 и RNAV 1, т.е. для обеспечения полетов по маршруту, и для обеспечения полетов в районе аэродрома [19]. Количество маяков DME, расположенных на территории России пока еще не велико, что ограничивает возможности навигации по системе DME/DME.

Несмотря на то, что для БВС все еще не разработано единых стандартов, регламентирующих состав и характеристики бортового навигационного комплекса, оценим, какие средства могут быть размещены на борту. Это может быть:

- аппаратура ГНСС;
- ИНС;
- специализированные угломерно-дальномерные и дальномерно-дальномерные системы (аналоги VOR/DME и DME/DME);
- аппаратура, реализующая обзорно-сравнительный метод определения координат.

Основным навигационным средством БВС является приемник ГНСС, что обусловлено малыми габаритами аппаратуры и антенн. Применение спутниковой навигации одобрено на международном уровне в том числе как элемент технологии автоматического зависимого наблюдения вещательного режима [20].

Инерциальные системы для малых БВС, вследствие жестких ограничений по массе и габаритам, строятся на основе микро-электромеханических систем и обладают недостаточной точностью. Они применяются на этапе взлета и набора высоты [21]. Для средних и тяжелых БВС могут применяться более точные оптические ИНС.

Для навигации в районе станции внешнего пилота могут применяться специализированные угломерно-дальномерные и дальномерно-дальномерные системы. Их дальность действия ограничена мощностью передатчиков и прямой радиовидимостью, то есть напрямую зависит от высоты полета БВС и наличия закрытий.

Применение обзорно-сравнительного метода определения координат позволяет автономно и с высокой точностью определять местоположение БВС, однако применение этого метода требует наличия на борту соответствующих датчиков и баз данных. В настоящее время решена задача автономного позиционирования БВС на основе использования систем технического зрения. Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет определять местоположение ВС для высот полета до 3000 м при хорошей видимости. Фотографии поверхности земли могут обрабатываться на борту БВС, либо передаваться на станцию внешнего пилота для определения координат аппарата [22].

Рассмотрим методику оценки зон конфликтных ситуаций при совместных полетах пилотируемой и беспилотной авиации.



Для расчета зон конфликтных ситуаций применим вероятностный метод, суть которого состоит в расчете вероятности нарушения норм эшелонирования и сравнения ее с предельно допустимым значением. Особенностью метода является то, что он учитывает погрешности определения координат воздушного судна и точность пилотирования. При определении размеров зон конфликтных ситуаций используется обобщенное распределение Лапласа. Это распределение имеет более тяжелые хвосты, нежели нормальное распределение, что позволяет повысить достоверность результатов [23]. Методика расчета зон конфликтных ситуаций подробно описана в [23, 24].

На рисунке. 1 показан пример рассчитанной зоны конфликтных ситуаций для случая параллельных трасс: по оси абсцисс отложена протяженность первого маршрута (R1), по оси ординат – второго (R2). На рисунке 1 показаны границы зоны конфликтных ситуаций на второй трассе при условии нахождения ВС в некоторой точке первого маршрута. Так, если ВС находится на 50-м километре первого маршрута, то воздушные суда, находящиеся на интервале от 47 до 80 км второго маршрута, будут с ним конфликтовать [23, 24].

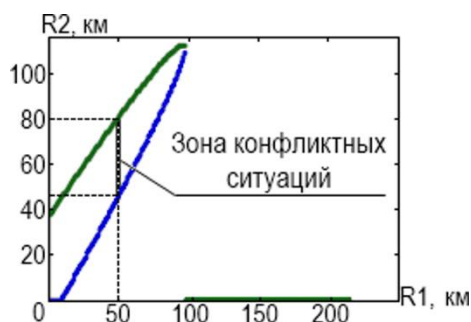


Рис. 1. Зона конфликтных ситуаций для случая параллельных трасс

При постановке задачи оценки зон конфликтных ситуаций, будем рассматривать два варианта: параллельные участки воздушных трасс и пересекающиеся участки воздушных трасс. На рисунке 2 схематично показаны вариант параллельных трасс (R1–R1' и R2–R2' на рис. 2а) и вариант пересекающихся трасс (R3–R3' и R4–R4' на рис. 2б), а также показана позиция размещения системы VOR/DME.

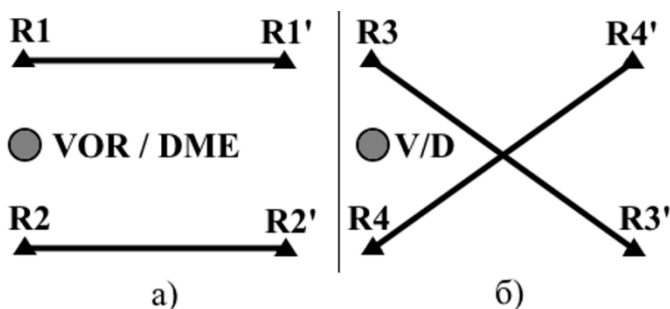


Рис. 2. Конфигурация участков воздушных трасс и расположение системы VOR/DME

При наличии на борту пилотируемого и беспилотного ВС приемников ГНСС, конфликтов для случая параллельных трасс не будет. Зона конфликтных ситуаций для пересекающихся трасс показана на рисунке 3. При этом погрешность ГНСС принималась равной 100 м, а погрешность пилотирования – 463 м (0,25 морских миль).

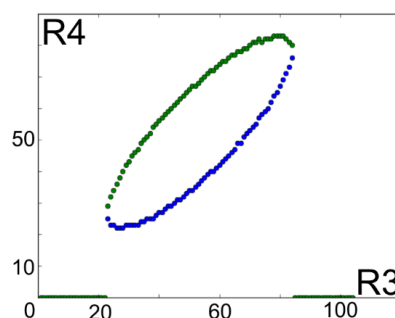


Рис. 3. Зона конфликтных ситуаций для пересекающихся трасс

Если анализируемые ВС не оборудованы системами спутниковой навигации, то местоположение определяется либо с помощью ИНС, либо с помощью системы VOR/DME. На рис. 4а показана зона конфликтных ситуаций для параллельных воздушных трасс, а на рис. 4б – пересекающихся воздушных трасс. Видно, что зоны имеют довольно большой размер. Так, если БВС находится на 60-м километре первого маршрута ($R1-R1'$), то пилотируемые ВС на втором маршруте ($R2-R2'$), находящиеся на интервале от 0 до 84 км будут с ним конфликтовать. Если БВС находится на 60-м километре третьей трассы ($R3-R3'$), то конфликтующие ВС будут располагаться на интервале от 18 до 100 км четвертой трассы ($R4-R4'$).

Результаты расчета зон конфликтных ситуаций при использовании системы ближней навигации VOR/DME показаны на рисунке 5. Использование VOR/DME в качестве корректора ИНС позволяет уменьшить размеры зон конфликтных ситуаций.

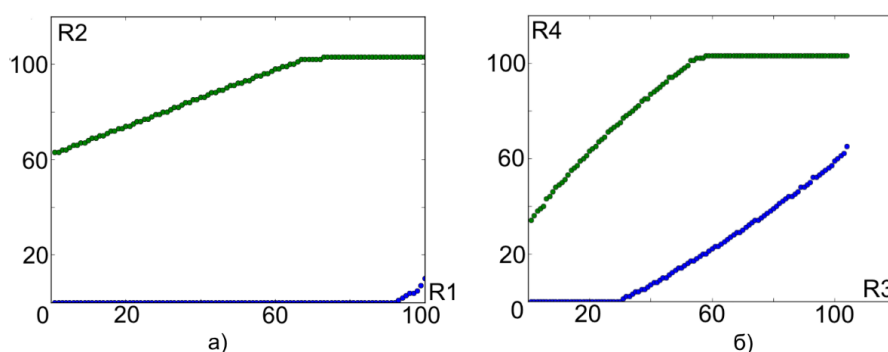


Рис. 4. Зона конфликтных ситуаций для параллельных и пересекающихся воздушных трасс при использовании ИНС

Из рисунка 5а видно, что если БВС находится на 60-м километре первого маршрута ($R1-R1'$), то пилотируемые ВС на втором маршруте ($R2-R2'$), находящиеся на интервале от 44 до 98 км будут с ним конфликтовать.

Если БВС находится на 60-м километре третьей трассы ($R3-R3'$), то конфликтующие ВС будут располагаться на интервале от 26 до 84 км четвертой трассы ($R4-R4'$). Таким образом, размеры зоны конфликтных ситуаций для параллельных трасс уменьшатся на 36 %, а для пересекающихся трасс – 30 %. Применение на БВС точной ИНС приведет к значительному уменьшению размеров зон конфликтных ситуаций.

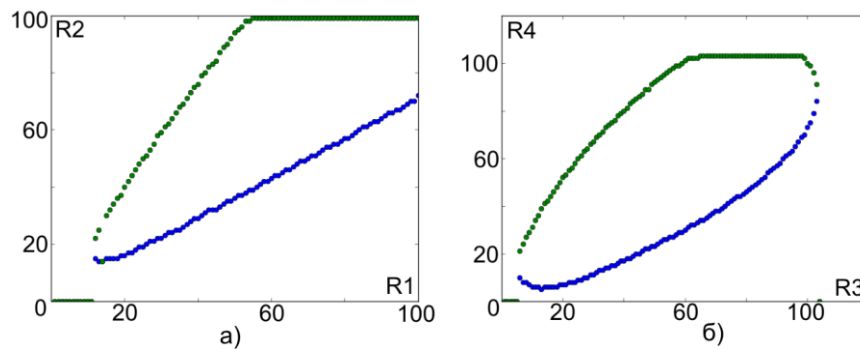


Рис. 5. Зона конфликтных ситуаций для параллельных и пересекающихся воздушных трасс при использовании системы VOR/DME

Совместный заход на посадку пилотируемых и беспилотных ВС

Применение параллельных ВПП предполагает зависимую и независимую посадку ВС. Независимая посадка ВС на параллельные ВПП возможна при их разнесении на расстояние не менее 4300 футов (1290 м). При меньшем разнесении выполняется зависимый совместный заход на посадку с соблюдением эшелонирования в продольной плоскости [25].

В настоящее время достаточно полно проанализирован вариант парного захода на посадку. Также существует пример обеспечения захода на посадку трех ВС [26]. Указанные работы описывают посадку пилотируемых ВС. В то же время актуальность приобретает совместный заход на посадку пилотируемых и беспилотных ВС, так как в этом случае не потребуется строительства новых аэродромов.

При одновременном заходе на посадку пилотируемых ВС, производится определение пары ВС (примерно за 30 минут до входа в район аэродрома) и вывод к назначенному моменту времени каждого ВС в точку сопряжения (coupling point), находящуюся на удалении 12 морских миль от торца ВПП (рис. 6). После прохождения точки сопряжения ведущее ВС сохраняет прямолинейный полет, а ведомое ВС сближается с ним с отклонением от продолжения осевой линии ВПП на 6° . На удалении примерно 2 морские мили от порога ВПП ведомое ВС выравнивает полет по линии посадочного курса и оба ВС завершают посадку [27].

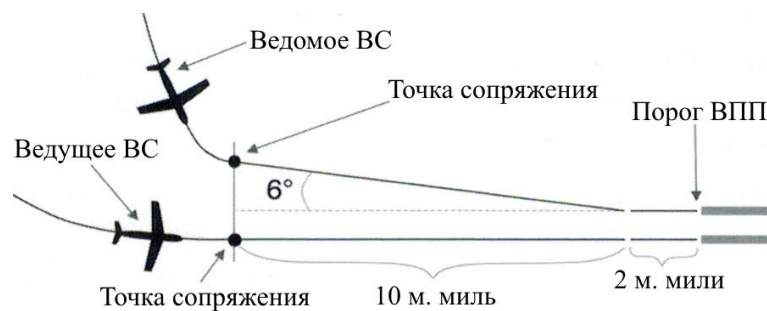


Рис. 6. Схема совместного захода ВС на посадку

При совместном заходе на посадку ведущее и ведомое воздушные суда должны занимать в пространстве определенные положения. Безопасная зона, в которой должно находиться ведомое ВС заключено между опасной зоной в непосредственной близости от ведущего ВС (зона возможных столкновений) и опасной зоной на удалении от ведущего ВС (зона повышенной турбулентности в спутном следе). Интервал безопасной зоны составляет как правило 5...25 с от ведущего ВС (рис. 7). Посадочная скорость турбореактивного ВС составляет 250 км/ч или 70 м/с. Тогда ведомый ВС должен находиться от ведущего ВС на удалении от 350 до 1750 м, т.е. на интервале порядка 1400 м.

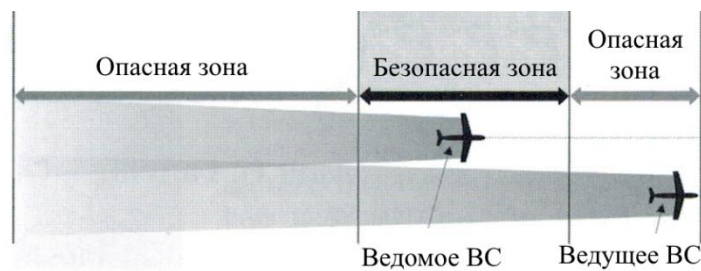


Рис. 7. К определению безопасной зоны при зависимом заходе на посадку

При определении алгоритма одновременного захода на посадку двух ВС решается задача выбора пары ВС и определения моментов времени прохода точек сопряжения и требуемых скоростей с учетом типа ведущего и ведомого ВС. Рассмотрим задачу одновременного захода на посадку пилотируемого и беспилотного ВС.

Посадочную скорость для тяжелых БВС («Инспектор-601», «Дозор-700», «Иркут-850» и др. [10]) примем в диапазоне 100...160 км/ч (30...45 м/с), что соответствует посадочным скоростям таких самолетов, как Ан-2 и Ан-24. Видно, что посадочная скорость БВС меньше посадочной скорости турбореактивных пилотируемых ВС. Эту разницу нельзя компенсировать: уменьшение скорости пилотируемого самолета приведет к сваливанию, увеличение скорости БВС приведет к жесткой посадке, либо мощность двигателя не даст развить нужную скорость. Разность в скоростях пилотируемого турбореактивного ВС и винтового БВС составит 25...40 м/с. Безопасная зона имеет протяженность 1400 м. Если БВС входит в точку сопряжения находясь на безопасном удалении от пилотируемого ВС – 350 м, то из-за разности скоростей, через 35...56 с БВС покинет безопасную зону и окажется в зоне турбулентности. Точка сопряжения должна находиться от торца ВПП на расстоянии, которое проходит пилотируемое ВС за найденный промежуток времени: 2450...3920 м, т.е. между ближним и дальним приводными радиомаяками.

Приведенные расчеты выполнены для идеальных случаев выдерживания траектории захода на посадку и соблюдения расписания. Введем неизбежно возникающие в повседневной практике задержки: пусть БВС входит в точку сопряжения с опозданием, находясь на удалении от пилотируемого ВС более, чем на 350 м, а также учтем иные погрешности путем сокращения времени пребывания БВС в безопасной зоне на 5 с. Рассмотрим два случая:

- 1) БВС входит в точку сопряжения находясь на удалении 400 м от пилотируемого ВС, время полета в безопасной зоне составляет 29...49 с;
- 2) БВС входит в точку сопряжения находясь на удалении 450 м от пилотируемого ВС, время полета в безопасной зоне составляет 27...42 с.

В первом случае точка сопряжения должна располагаться от торца ВПП на удалении 2030...3430 м, а во втором – 1890...2940 м.

Полученные результаты показывают, что при совместном заходе на посадку пилотируемого и беспилотного ВС, точка сопряжения должна располагаться ближе 2 морских миль от торца ВПП, что недопустимо, т.к. на этом интервале необходимо выполнять выравнивание (рис. 7). Отсюда следует вывод: существующие БВС, вследствие малых посадочных скоростей, не способны совершать одновременный заход на посадку с турбореактивными пилотируемыми ВС.

Для обеспечения безопасного захода на посадку БВС должно входить в точку сопряжения на расстоянии более 2 морских миль от торца ВПП. Это возможно при разнице в посадочных скоростях 20 м/с и менее. Одновременный заход на посадку возможен, если БВС имеет посадочную скорость 50 м/с (180 км/ч) и более. Оптимальным вариантом будет равенство посадочных скоростей пилотируемых и беспилотных ВС. Для увеличения пропускной способности существующих аэродромов можно рекомендовать одновременную посадку на параллельные ВПП двух БВС. В этом случае необходимо будет пересмотреть требования по продольному эшелонированию, так как спутный след БВС гораздо меньше спутного следа турбореактивного самолета. Возможно выделение временных окон между посадками пилотируемых ВС для обеспе-



чения захода нескольких БВС. Такой разнородный поток воздушных судов потребует создания принципиально новых алгоритмов определения очередности посадки ВС на параллельные ВПП.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Из-за больших погрешностей ИНС беспилотных ВС, бортовой навигационный комплекс БВС не имеет эквивалентной замены для систем спутниковой навигации. Отказ приемника сигналов ГНСС приведет к резкому увеличению зон конфликтных ситуаций. Из рисунка 5 видно, что системы VOR/DME (или высокоточные ИНС), применяемые в качестве резервного канала навигационной информации, позволяют уменьшить размеры зон конфликтных ситуаций по сравнению со случаем применения автономных навигационных систем, таким образом обеспечат высокую интенсивность полетов.

2. Существующие ИНС пилотируемых воздушных судов, а также их бортовая аппаратура VOR/DME имеют габариты и массу не позволяющие применять эти средства на малых БВС. Из этого можно сделать вывод о том, что совместные полеты с пилотируемой авиацией способны будут выполнять только беспилотные аппараты, способные взять на борт требуемые средства, обеспечивающие резервный канал навигационной информации, либо потребуются создать альтернативные средства и методы навигации малых БВС, позволяющие обеспечить высокую точность позиционирования в случае отказа приемника ГНСС.

3. По причине того, что строительство отдельных ВПП или реконструкция региональных аэродромов специально для нужд беспилотной авиации экономически нецелесообразно, можно спрогнозировать в ближайшем будущем совместное использование существующих аэродромов пилотируемой и беспилотной авиацией. Обеспечение требуемой пропускной способности невозможно будет обеспечить без применения одновременного захода ВС на посадку.

4. Из-за разницы в посадочных скоростях пилотируемых и беспилотных ВС, точка сопряжения будет находиться слишком близко к торцу ВПП, что не позволит обеспечить требуемое время на выравнивание и приведет к снижению безопасности полетов. Для того, чтобы точка сопряжения располагалась на удалении как минимум 2 морские мили от торца ВПП необходимо, чтобы разница между скоростями пилотируемого и беспилотного ВС составляла не более 20 м/с. Таким образом, безопасный заход на посадку при совместном использовании параллельных ВПП пилотируемыми и беспилотными воздушными судами возможен при обеспечении посадочной скорости БВС не менее 50 м/с (180 км/ч).

5. Низкоскоростные БВС должны заходить на посадку в отсутствие на посадочной прямой тяжелых ВС, т.е. для такого рода аппаратов должны быть выделены временные слоты в использовании ВПП. Сами БВС могут садиться в составе группы с уменьшенными интервалами продольного эшелонирования, что позволит обеспечить требуемую пропускную способность.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авербух В. М.* Шестой технологический уклад и перспективы России (краткий обзор) // Вестник СтавГУ : журнал. — Ставрополь, 2010. — № 71. — С. 159-166.
2. *Василенко В.* Технологические уклады в контексте стремления экономических систем к идеальности // Соціально-економічні проблеми і держава : журнал. — Тернополь, 2013. — Т. 8, № 1. — С. 65-72. — ISSN2223-3822.
3. *Глазьев С. Ю.* «Теория долгосрочного технико-экономического развития» — М.: ВлаДар, 1993, ISBN 5-86209-003-7.
4. *Гуриева Л. К.* Концепция технологических укладов // Инновации : журнал. — СПб., 2004. — № 10. — С. 70-75.
5. *Глазьев С. Ю., Львов Д. С., Фетисов Г. Г.* Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы централизованного регулирования. — М.: Наука, 1992. — 207 с. — ISBN 5-02-012035-9.
6. *Львов Д. С.* Эффективное управление техническим развитием. — М.: Экономика, 1990. — 255 с. — ISBN 5-282-00997-8.
7. ГОСТ Р 56122–2014. Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования. 2015. – 9 с.
8. Беспилотные авиационные системы (БАС) // ICAO, cir. 328, AN/190. 2011. 66 с.
9. Руководство по дистанционно пилотируемым авиационным системам (ДПАС). ICAO, Doc. 10019, AN/507. – 2015. – 190 с.
10. Беспилотные авиационные системы / С.А. Кудряков, В.Р. Ткачев, Г.В. Трубников, В.И. Кисличенко. Санкт-Петербург: Свое Издательство. 2015. 121 с.
11. *Фальков Э.Я.* Экспериментальные полеты БЛА в общем воздушном пространстве // Беспилотная авиация. URL: <http://www.uav.ru/articles/adsb.pdf>.
12. Федеральный закон «О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации в части использования беспилотных воздушных судов». ФЗ №291 от 03.07.2016.
13. *Соболев Е.В.* Организация радиотехнического обеспечения полетов. Часть 1. Основные эксплуатационные требования к авиационным комплексам навигации, посадки, связи и наблюдения: учебное пособие // СПб: СПбГУ ГА. Санкт-Петербург. 2007. 120 с.
14. *Коваленко В.В., Лысов А.Н.* Малогабаритная инерциальная система: учебное пособие // Челябинск: ЮУрГУ. 2015. 55 с.
15. Global navigation satellite system (GNSS) manual // ICAO Doc.9849 AN/457. 2013. 90 p.
16. ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2. Редакция 5.1. М., 2008 [Электронный ресурс] / Российские космические системы. – Режим доступа: http://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2016/08/ICD_GLONASS_rus_v5.1.pdf.
17. ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Общее описание системы с кодовым разделением сигналов. Редакция 1.0. М., 2016 [Электронный ресурс] / Российские космические системы. – Режим доступа: <http://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2016/08/IKD.-Obshh.-opis.-Red.-1.0-2016.pdf>.
18. Manual on testing of radio navigation aids. Vol.1: testing of ground-based radio navigation systems // ICAO Doc. 8071. 2000. 188 p.
19. Performance-based navigation (PBN) manual // ICAO Doc. 9613 AN/937. Fourth Edition. 2013. 396 p.
20. *Токарев Ю.П.* Методы управления беспилотными летательными аппаратами в общем воздушном пространстве с использованием полетной информации при автоматическом зависимом наблюдении : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.13 / Токарев Юрий Петрович. – Санкт-Петербург, 2011. – 156 с.



21. Д. Матюшин. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами полиции. «LAR Lambert Academic Publishing», 2013. – 149 с.
22. Ардентов А. А., Бесчастный И. Ю., Маишников А. П. Алгоритмы вычисления положения и ориентации БПЛА // Программные системы: теория и приложения : электрон. научн. журн. 2012. Т. 3, № 3(12). С. 23–39.
23. Рубцов Е.А. Распределение ошибок определения координат воздушных // Вестник СГАУ. 2014. №1(43). С. 267–275.
24. Рубцов Е.А. Методика расчета зон конфликтных ситуаций с учетом погрешности определения местоположения ВС // Человек и транспорт (Эффективность. Безопасность. Эргономика.). Секция «Авиационный и скоростной наземный транспорт»: материалы секции международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2014. С. 50–53.
25. S. Vincent Massimini / Simultaneous Independent and Dependent Parallel Instrument Approaches. Assumptions, Analysis, and Rationale // MITRE. - McLean, Virginia. – 2006. – 27 p.
26. Лискер Б., Гомцян А. MITRE и ее программа гражданской авиации // MITRE. 2016. – 19 p.
27. On the problem of pairing aircraft for closely spaced parallel approaches / Amir H. Farrahi, Savita A. Verma, Thomas E. Kozon // IEEE transactions on intelligent transportation systems. – 2016. – Volume 17 №3. – P. 631-643.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кудряков Сергей Алексеевич –

заведующий кафедрой «Радиоэлектронные системы», доктор технических наук, старший научный сотрудник
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации»
196210, Россия, Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д.38
E-mail: Psi_center@mail.ru

Рубцов Евгений Андреевич –

доцент кафедры «Радиоэлектронные системы», кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации»
196210, Россия, Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д.38
E-mail: Rubtsov.spb.guga@rambler.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kudryakov Sergej Alekseevich –

PhD. tech. Sciences, associate professor
St. Petersburg state University of civil aviation
38, Pilotov str., Saint-Petersburg, 196210, Russia
E-mail: Psi_center@mail.ru

Rubtsov Evgenij Andreevich –

PhD., associate professor
St. Petersburg state University of civil aviation
38, Pilotov str., Saint-Petersburg, 196210, Russia
E-mail: Rubtsov.spb.guga@rambler.ru