

Системы автоматической посадки летательных аппаратов: аналитический обзор. Информационное обеспечение.

Погосян М.А.¹, Верейкин А.А.^{2*}

¹*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

²*Компания «Сухой», ул. Поликарпова, 23А, Москва, 125284, Россия*

**e-mail: aaautres@gmail.com*

Статья поступила 12.06.2020

Аннотация

Выявлены основные проблемные области разработки систем автоматической посадки летательных аппаратов: информационное обеспечение и управление. Представлен обзор литературы, посвящённый вопросам информационного обеспечения. Предложена классификация систем информационного обеспечения процесса автоматической посадки. Предложены рекомендации по построению систем автоматической посадки в части информационного обеспечения. Выявлены перспективы развития систем автоматической посадки летательных аппаратов в части информационного обеспечения.

Ключевые слова: летательный аппарат, беспилотный летательный аппарат, информационное обеспечение, навигация, посадка, система автоматической посадки.

Введение

В настоящее время существенной проблемой, характерной как для пилотируемых, так и для беспилотных летательных аппаратов (БЛА), является

высокий уровень аварийности на этапах взлёта и посадки, значительно превышающий аварийность в течение полёта [1-3]. Это связано, главным образом, со следующими проблемами:

1. Влияние человеческого фактора, особенно остро проявляющееся для беспилотных авиационных систем, характерными чертами которых являются недостаточная ситуационная осведомлённость наземного экипажа (операторов) и отсутствие у подавляющего большинства членов наземного экипажа лётного опыта.

1.1. Принятие адекватных решений в условиях дефицита времени требует высокой квалификации экипажа. Известно, что потери более трети БЛА MQ-9 Reaper явились следствием ошибок, допущенных операторами, около 50% БЛА типов Hunter и Pioneer попадали в аварийные ситуации при посадке, а 70% аварий с БЛА типа Pioneer произошли в результате влияния человеческого фактора [4, 5].

1.2. Наибольшее количество ошибок пилотирования происходит при выполнении посадки в сложных метеорологических условиях, когда экипаж вынужден осуществлять управление летательным аппаратом (ЛА) в условиях пониженной ситуационной осведомлённости (пилотирование по приборам). Информационно-управляющее поле наземных пунктов управления БЛА часто построено по аналогии с таковым для пилотируемых ЛА, что ставит операторов БЛА в невыгодное положение, заставляя, вне зависимости от погодных условий, осуществлять управление в условиях пониженной ситуационной осведомлённости.

1.3. Оператор наземного пункта управления, в отличие от лётчика, не воспринимает перегрузки, действующие на ЛА, которые создают дополнительные обратные связи, позволяющие повысить качество управления. В силу этого операторы БЛА при управлении в ручном режиме часто превышают предельные значения вертикальной скорости снижения при приземлении на взлётно-посадочную полосу (ВПП).

1.4. Авария самолёта В-747 при посадке на аэродроме Бишкека 16 января 2017 г. показала, что переход на ручное управление из автоматического режима в непосредственной близости от земной поверхности сопряжён с высокими рисками в силу того, что процесс «включения» лётчика в контур управления имеет некоторую динамику, определяемую, в том числе, сложностью ситуации, в которой приходится осуществлять «включение», а также лётным опытом лётчика. Руководством по всепогодным полётам ИКАО предложено исключать передачу несущественных данных от органов управления воздушным движением ЛА, находящимся на критических этапах полёта. В силу упомянутых выше причин для БЛА данный вопрос ещё более критичен.

2. Влияние «технического» фактора¹. Высокие погрешности инерциальных навигационных систем (ИНС) [6, 7] и погрешности существующих инструментальных средств захода на посадку [6] могут привести к превышению предельно допустимых отклонений ЛА от заданной траектории, а

¹ Следует понимать, что выделение человеческого и «технического» факторов является весьма условным, т.к. влияние человеческого фактора является прямым следствием несовершенства техники. Однако такое выделение всё же уместно в силу того, что именно отрицательное влияние человеческого фактора на безопасность полёта актуализирует разработку систем, позволяющих частично или полностью элиминировать человека из контура управления ЛА, переложив, тем самым, ответственность с человека на эти системы.

также к нарушению ограничений, накладываемых на параметры положения и движения ЛА при приземлении на ВПП и последующем движении по ней вплоть до полной остановки.

3. В мире активно ведутся разработки средств радиоэлектронной борьбы, способных в результате дистанционного воздействия приводить к деградации внешних средств информационного обеспечения ЛА в некоторой защищаемой области. Особое развитие получили в последнее время комплексы, предназначенные для борьбы с БЛА (главным образом, малой размерности): Drone Dome (Rafael, Израиль), MC-HORIZON (MCTECH Technology, Израиль), Eagle 108 (Phantom Technologies, Израиль), Сапсан (концерн «Автоматика», Россия), Пищаль-ПРО (концерн «Автоматика», Россия), Таран-ПРО (концерн «Автоматика», Россия), Комплекс решений «Стопдрон» («Стопдрон», Россия), Xpeller (Hensoldt, Германия).

Перечисленные выше проблемы решают за счёт:

1. Частичного исключения влияния человеческого фактора на безопасность полёта на этапе совершения посадки за счёт создания систем автоматической посадки (САП).

Разработкой САП занимаются такие авиастроительные компании, как Boeing, Airbus, Northrop Grumman, General Atomics, Sukhoi Civil Aircraft (совместно с Thales), BAE Systems, Diamond Aircraft Industries, «Компания «Сухой», РСК «МиГ», а также ряд научно-исследовательских организаций: германский аэрокосмический центр GAC, Корейский институт передовых технологий KAIST, ЦАГИ им. проф.

Н.Е. Жуковского, Московский институт электромеханики и автоматики (МИЭА) и др.

Международной организацией гражданской авиации ИКАО определены эксплуатационные категории (посадочные минимумы) I, II, IIIA, IIIB и IIIC, характеризующиеся высотой принятия решения и дальностью видимости ВПП. САП гражданской авиационной техники, эксплуатируемой в Европе, подлежат сертификации в соответствии с Сертификационными требованиями всепогодной эксплуатации CS-AWO (ED Decision 2003/006/RM) Европейского агентства по безопасности полётов (EASA) по категориям ИКАО. САП гражданской техники, эксплуатируемой в США, подлежат сертификации в соответствии с Критериями соответствия категории III погодного минимума для взлёта, приземления и пробега (Criteria for Approval of Category III Weather Minima for Takeoff, Landing, and Rollout. Federal Aviation Administration, AC 120-28D), разработанными Федеральной авиационной администрацией США (FAA).

Перечень зарубежных ЛА гражданского назначения, сертифицированных по категориям IIIA и IIIB ИКАО достаточно обширен. Так, Ан-148 оснащён САП (комплекс систем управления полётом Ан-148 разработан МИЭА), реализующей автоматическую посадку (АПос) до момента приземления на ВПП (категория IIIA). Среди ЛА, сертифицированных по категории IIIB, можно упомянуть Airbus (A320, A330, A340, A350, A380 и др.), Boeing (B-737-700/-800/-900, B-757, B-767, B-777, B-787 и др.), Embraer (170, 190, 190-E2). Категория IIIB не предполагает наличия понятия «высота принятия решения» (выполнение посадки в автоматическом режиме происходит до момента приземления на ВПП с последующим рулением по

ней). При этом САП Embraer 170 и Embraer 190 не имеют полноценного автоматического пробеган по ВПП: реализован режим опускания носового колеса и последующего автоматического пробеган на ограниченной дистанции.

Среди отечественных ЛА гражданского назначения известны Ту-134 и Ту-154, способные выполнять автоматический заход на посадку до высоты 30 м, что соответствует категории II ICAO, и Ил-96-300, оснащённый САП, в которой реализована АПос с пробегом по ВПП (категория ШВ ICAO). Наиболее современный отечественный ЛА гражданского назначения SSJ-100 прошёл процедуру сертификации в соответствии с требованиями CS-AWO, он способен осуществлять АПос до момента приземления на ВПП (категория ША ICAO).

Для САП ЛА военного назначения сертификационных требований не предусмотрено. Вероятно, все современные корабельные ЛА, разработанные в США, способны в автоматическом режиме осуществлять посадку на палубу авианосца без выравнивания. Так, в 2000 г. F/A-18A Hornet (McDonnell Douglas, США) совершил первую АПос на наземную ВПП [8]. В мае 2007 г. F/A-18F Super Hornet (McDonnell Douglas, США) из состава авиагруппы «Гарри С. Трумэн» выполнили заход на посадку в автоматическом режиме с расстояния 137 м от кормового среза авианосца [9], а в 2016 г. было объявлено об успешном совершении порядка 600 конвейерных посадок и множества посадок на палубу авианосца «Джордж Вашингтон» [10].

Такие отечественные ЛА, как Су-34 и Су-30МК, не оснащены САП и способны выполнять автоматический заход на посадку только до высоты 60 м, что объясняется составом и свойствами средств информационного обеспечения

(радиотехнические системы), а также способом формирования управляющих сигналов, построенном на непосредственном использовании сигналов, поступающих от средств информационного обеспечения.

Среди БЛА военного назначения выделяется X-47B (Northrop Grumman, США), оснащённый системами автоматических взлёта и посадки. По итогам испытаний была подтверждена возможность АПос на палубу авианосца в условиях бокового ветра и волнения моря до 5 баллов. При этом боковое отклонение X-47B от оси ВПП в момент приземления не превышало 0.3 м, а продольное отклонение от расчётной точки приземления – не превышало 2.4 м [11].

Можно также упомянуть разведывательный БЛА RQ-4 Global Hawk (Northrop Grumman, США), впервые поднявшийся в воздух в 1998 г., и разведывательно-ударный БЛА nEUROn (Dassault Aviation, Франция), чей первый вылет состоялся в 2012 г. RQ-4 Global Hawk оснащён САП, использующей сигналы глобальной спутниковой навигационной системы (СНС) GPS с возможностью использования методов дифференциальной навигации (D-GPS) [12]. Система автоматического управления nEUROn должна обеспечивать руление, взлёт и посадку [13].

2. Использование при создании САП достижений современной теории автоматического управления, теории фильтрации и комплексирования информации. Более подробное рассмотрение данных вопросов не является предметом настоящей статьи.
3. В настоящее время, насколько можно судить по открытым источникам информации, проблема противодействия дистанционному воздействию

решается, главным образом, за счёт разработки помехозащищённых каналов связи.

Свойство помехозащищённости системы обеспечивается скрытностью её действия и помехоустойчивостью [14]. Скрытность действия может быть обеспечена за счёт сверхбыстродействующей связи, осуществляемой на случайным образом выбранных частотах, либо, в перспективе, за счёт применения частотно-адаптивной системы связи с оперативной сменой рабочих частот по псевдослучайному закону [15]. При этом закон изменения частот должен быть недоступен противнику, а время работы на выбранной частоте не должно превышать время, потребное противнику для нахождения используемой частоты и постановки прицельной помехи. Помехоустойчивость может быть обеспечена применением методов комплексирования, дублирования, специальной обработки сигналов [14].

Радиотехнические методы обеспечения помехозащищённости в настоящее время бурно развиваются. Однако, учитывая диалектичность процессов радиоэлектронного подавления и радиоэлектронной защиты, следствием которого является не менее бурное развитие методов радиоэлектронной борьбы, можно сделать вывод о необходимости разработки новых методов обеспечения помехозащищённости, влияние на которые существующих средств постановки помех будет либо несущественным, либо отсутствовать вовсе.

Принудительная посадка 5 декабря 2011 г. в Иране БЛА RQ-170 (Lockheed Martin, США) [16] убедительно продемонстрировала необходимость разработки не только помехозащищённых систем информационного обеспечения, но и методов

автономной навигации наряду с методами, позволяющими выявлять попытки несанкционированного вмешательства в процесс управления БЛА.

Материалы, в той или иной мере связанные с вопросами совершения посадки ЛА, разработкой и исследованием САП ЛА, в соответствии с принадлежностью основных рассматриваемых проблем, можно классифицировать следующим образом²:

- обзоры и аналитические работы [9, 17]. Сюда же могут быть отнесены информационные статьи [8, 10, 11];
- работы, предметом которых являются вопросы анализа и обеспечения безопасности как на этапе посадки [18, 19], так и в процессе выполнения полёта [1-5];
- работы [6, 7, 20-57], затрагивающие вопросы информационного обеспечения посадки ЛА. Сюда же могут быть отнесены работы [58-62], посвящённые информационному обеспечению полёта ЛА в целом;
- работы, посвящённые вопросам динамики и управления ЛА на этапе посадки (не являются предметом рассмотрения настоящей статьи).

Проведённый анализ литературных источников показал, что обзорные и аналитические работы посвящены, главным образом, анализу какого-либо достаточно узкого направления развития САП, например, применению систем технического зрения (СТЗ) для информационного обеспечения процесса АПос ЛА

² Предлагаемая классификация для некоторых комплексных работ весьма условна. В числе рассматриваемых работ есть те, которые посвящены не исключительно САП, а смежным вопросам, таким как управление ЛА, информационное обеспечение и т.п. Рассмотрены только те работы, результаты которых в той или иной степени могут быть применены при создании САП.

различных типов [17]. Налицо дефицит работ, рассматривающих проблему информационного обеспечения АПос ЛА в целом.

Как было показано выше, пути решения проблем, связанных с высокой аварийностью пилотируемых и беспилотных ЛА на этапе посадки, сводятся, главным образом, к созданию САП, позволяющей полностью исключить влияние человеческого и «технического» факторов, а также деградации внешних средств информационного обеспечения на безопасность посадки.

Таким образом, исследование вопросов информационного обеспечения, актуальных для САП пилотируемых и беспилотных ЛА, выявление основных проблем, препятствующих развитию САП ЛА в части информационного обеспечения, и предпочтительных технических решений, которые могут быть использованы при создании САП ЛА, являются актуальными задачами и составляют цель настоящей работы.

Для достижения поставленной цели были определены и решены следующие задачи:

1. Проведён поиск информации о современных и перспективных САП ЛА в научно-технической литературе и других открытых источниках, её анализ, систематический обзор, классификация по признакам принадлежности к проблемным областям.
2. Выявлены проблемы, стоящие на пути развития САП. Установлено, что проблемы локализованы, главным образом, в областях информационного обеспечения АПос и управления ЛА в процессе АПос.

3. Проведён поиск информации о способах информационного обеспечения АПос в научно-технической литературе и других открытых источниках, её анализ, систематический обзор, классификация по признакам принадлежности к проблемным областям.
4. Выделены классификационные признаки и предложена классификация систем информационного обеспечения САП.
5. Исходя из результатов анализа найденной информации и опыта реализации САП перспективного БЛА, сформированы рекомендации по построению систем информационного обеспечения АПос, выделены перспективные направления развития САП.

Раздел 1 посвящён информационному обеспечению АПос: рассмотрены работы, посвящённые данной проблеме, приведены основные сведения о некоторых известных системах информационного обеспечения АПос. Рассмотрены радиотехнические системы, глобальные СНС, СТЗ, а также ряд иных систем информационного обеспечения АПос: с наведением лазерного луча на ЛА, псевдоспутники, корреляционно-экстремальная навигационная система и другие. В разделе 2 приведены результаты анализа рассмотренных работ. В разделе 3 предложена классификация систем информационного обеспечения АПос. В выводах отмечены перспективы развития САП, даны рекомендации по построению САП.

1. Системы информационного обеспечения автоматической посадки

В настоящем разделе идёт речь не только о системах информационного обеспечения АПос (до момента приземления ЛА на ВПП или с последующими

пробегом и остановкой ЛА на ВПП), но и системах, обеспечивающих заход на посадку до некоторой высоты. Это обосновано тем, что в процессе совершения АПос могут быть использованы несколько систем информационного обеспечения, которые могут работать как параллельно (совместно), так и последовательно.

Так, точностные характеристики радиомаячных систем инструментального захода самолётов на посадку дециметрового диапазона волн могут обеспечить автоматический заход на посадку до некоторой высоты, в то время как точностные характеристики радиосистемы измерения высоты способны обеспечить управление ЛА в вертикальной плоскости от момента достижения некоторой высоты до момента приземления на ВПП. Таким образом, указанные системы информационного обеспечения могут быть последовательно использованы в процессе АПос.

1.1. Радиотехнические системы информационного обеспечения автоматической посадки

К числу радиотехнических систем информационного обеспечения АПос относятся: радиомаячные системы инструментального захода самолётов на посадку метрового диапазона волн; радиомаячные системы инструментального захода самолётов на посадку дециметрового диапазона волн; радиомаячные системы инструментального захода летательных аппаратов на посадку сантиметрового диапазона волн; многодальномерные системы; посадочные радиолокаторы.

К радиомаячным системам инструментального захода самолётов на посадку метрового диапазона волн относятся системы типа ILS (Instrumental Landing

System). В число радиомаячных систем инструментального захода летательных аппаратов на посадку сантиметрового диапазона волн входят системы типа MLS (Microwave Landing System). К числу радиомаячных систем инструментального захода самолётов на посадку дециметрового диапазона волн принадлежит также наземная система ПРМГ (посадочная радиомаячная группа) разработки Челябинского радиозавода «Полёт», работающая с бортовым оборудованием типа РСБН (радиотехническая система ближней навигации).

Среди радиомаячных систем инструментального захода на посадку наиболее высокой точностью и стабильностью характеристик обладают системы сантиметрового диапазона волн MLS. Характеристики систем дециметрового (ПРМГ) и метрового (ILS) диапазонов волн менее стабильны и сильнее зависят от внешних факторов (рельеф местности, различные здания и подвижные объекты в окрестности аэродрома, время года и т.п.). Одним из направлений увеличения точностных характеристик ILS является применение двухчастотных систем. Зона действия такой системы создаётся путём использования двух независимых диаграмм излучения, образуемых разнесёнными несущими частотами в пределах определённого канала глиссадного и курсового радиомаяков.

В работе [20] исследуется ILS, радиомаяки которой работают в двухчастотном режиме. Радиомаяки формируют два высокочастотных сигнала. Основным является сигнал узкого канала, который формирует узкие угловые зоны курса в диапазоне $\pm 2^\circ$ относительно продольной оси ВПП и зоны глиссады $\pm 0.5^\circ$ относительно глиссады. Дополнительным является сигнал широкого канала, который обеспечивает информацию при нахождении ЛА вне зоны действия сигнала узкого

канала, тем самым позволяя определить направление движения к заданной траектории и войти в зону действия узкого сигнала. За счёт формирования диаграмм направленности особой формы сигналы узкого канала превышают уровень сигналов широкого канала в зоне узкого канала, а сигналы широкого канала, напротив, превышают уровень сигналов узкого канала вне зоны узкого канала.

В работе [21] предложен алгоритм защиты от помех сигналов радиотехнических средств обеспечения захода на посадку, основанный на том, что спектры ошибок ИНС и радиотехнической системы обеспечения посадки ILS лежат в различных частотных диапазонах. Недостатком данного алгоритма является то, что в момент получения аномального результата измерения для управления используется последнее достоверное значение углового отклонения ЛА от заданной траектории.

Способы обработки информации, в основе которых лежат фильтры Калмана, позволяют заменить измеренное значение углового отклонения расчётным, повысив тем самым качество процесса управления. Использование угловых отклонений ЛА от заданной траектории для формирования управляющих воздействий приводит к необходимости изменения коэффициентов усиления в законах управления. Это происходит в силу того, что одному и тому же значению углового отклонения ЛА от заданной траектории соответствуют различные значения линейных отклонений при изменении удаления ЛА от точки пересечения заданной траектории с поверхностью ВПП. В работе [22] описан способ комплексирования информации ИНС, СНС и радиотехнических средств обеспечения посадки на основе теории фильтрации и комплексной обработки информации.

В работе [23] предложено обеспечивать целостность информационного обеспечения в условиях аномальных результатов измерений радиотехнических систем типа ILS за счёт модификации известного наблюдателя Люенбергера. Фильтрация погрешностей радиотехнических систем и бортовой ИНС обеспечивается модифицированным наблюдателем Люенбергера за счёт существенной разнесённости этих погрешностей по частотному спектру. При обнаружении аномальных результатов измерений происходит переход наблюдателя в автономный режим, не предполагающий его коррекции по внешним средствам информационного обеспечения (радиотехническим системам). Необходимые точностные характеристики наблюдателя в течение определённого промежутка времени обеспечиваются при работе в автономном режиме за счёт компенсации ошибок определения составляющих вектора скорости ЛА бортовой ИНС на момент прекращения коррекции. Для управления ЛА используются оценки линейных отклонений и скоростей их изменения, сформированные в модифицированном наблюдателе Люенбергера.

В отчёте, подготовленном в интересах NASA [24], реализовано математическое моделирование заходов на посадку ЛА семейства MD-80 с использованием MLS. Предложены меры по переходу от прямолинейной траектории снижения, формируемой ILS, к улучшенной криволинейной траектории, формируемой MLS. Следует отметить, что ограничения, налагаемые на геометрические характеристики заданной траектории, формируемой ILS, могут служить серьёзными препятствиями при использовании данной системы для информационного обеспечения ЛА, особенно беспилотных.

В работе [25] рассмотрена многодальномерная система, осуществляющая определение координат БЛА и составляющих его вектора скорости в декартовой системе координат, связанной с точкой посадки – посадочной системе координат. Данная система осуществляет информационное обеспечение полёта БЛА в окрестности аэродрома на этапах взлёта и посадки. Наземная часть системы включает в себя стационарные наземные радиоответчики, координаты которых в посадочной системе координат известны. Бортовая часть системы включает передающее и приёмное устройства, антенно-фидерное устройство и модуль обработки. Точность одиночного измерения дальности составляет $0.125 \text{ м} (\sigma)$.

В работе [26] представлены значения погрешностей определения бокового отклонения дистанционно-пилотируемого ЛА (Cessna-172), в состав навигационного комплекса которого входит радиодальномерная аппаратура.

Авторы работы [27] предлагают систему информационного обеспечения АПос, соответствующую требованиям категории IIIС ICAO. В состав системы входят четыре наземных передатчика с известными с высокой точностью координатами, и бортовой четырёхканальный приёмник, оснащённые измерителями времени. Характерной чертой данной системы, отличающей её от радиотехнических систем типов ILS, MLS, и посадочных радиолокационных станций, является снижение точности определения координат ЛА по мере приближения к точке приземления. Предложенная система, в отличие от СНС, свободна от ионосферных и тропосферных задержек, характеризуется сильным сигналом и низким временем его передачи ($4 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ против $7 \cdot 10^{-2} \text{ с}$ у GPS), что обуславливает высокую частоту обновлений получаемых параметров.

Посадочные радиолокаторы находят своё применение в качестве вспомогательного средства информационного обеспечения АПос на аэродромах гражданской авиации и в качестве основного средства информационного обеспечения на аэродромах, предназначенных для эксплуатации ЛА военного назначения. В работе [28] представлен обзор посадочных радиолокаторов, используемых в гражданской авиации. Авторы прогнозируют, что развитие систем данного типа будет связано с внедрением активных фазированных антенных решёток, микропроцессорной техники, цифровых систем передачи данных, использованием электронного способа сканирования рабочего сектора узким лучом, использованием моноимпульсного метода пеленгации. Ожидается также внедрение полностью оптических антенных фазированных решёток.

1.2. Глобальные спутниковые навигационные системы в качестве средства информационного обеспечения автоматической посадки

Среди глобальных СНС информационного обеспечения АПос могут быть выделены: собственно глобальные СНС; глобальные СНС с функциональными дополнениями.

К числу глобальных СНС относятся такие системы как GPS (США), ГЛОНАСС (РФ), Galileo (ЕС) и Beidou (КНР).

В работе [27] перечислены наиболее существенные недостатки GPS с точки зрения информационного обеспечения АПос, которые в целом характерны и для других глобальных СНС: сравнительно низкая точность определения вертикальных координат и скоростей, деградация сигнала под действием внешних воздействий,

большое время прохождения сигнала от спутника к приёмнику. Указанные недостатки препятствуют самостоятельному использованию глобальных СНС без так называемых систем функционального дополнения для информационного обеспечения АПос, что, в свою очередь, обуславливает необходимость комплексирования информации, получаемой от глобальных СНС, с другими системами информационного обеспечения АПос.

Несколько повысить точностные характеристики глобальных СНС можно за счёт применения двухчастотных приёмников [29], но наиболее существенное влияние оказывает применение систем функционального дополнения. Их основные достоинства – высокие точность и достоверность передаваемой информации.

Среди систем функционального дополнения глобальных СНС можно выделить наземные (GBAS – Ground Based Augmentation System) и спутниковые (SBAS – Satellite Based Augmentation System) системы. К числу GBAS относятся системы LAAS (Local Area Augmentation System), JPALS (Joint Precision Approach and Landing System), ЛККС (локальные контрольно-корректирующие станции), WAAS (Wide Area Augmentation System), СДКМ (система дифференциальной коррекции и мониторинга), СКНОУ (система космического навигационного обеспечения Украины). К SBAS относятся системы EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), MSAS (Multi-transport Satellite Augmentation System), Galileo (по сути, EGNOS нового поколения), GAGAN (Geosynchronous Augmented Navigation System).

Наземные средства дифференциальной коррекции GBAS имеют целью дополнение глобальных СНС путём введения вблизи аэропорта (в радиусе около 43

км [30]) корректирующих поправок с целью улучшения их технико-тактических характеристик (точности, надёжности, зоны доступности и т.п.).

Исследование [31] посвящено вопросам работы глобальных СНС в гражданской авиации. Оно содержит анализ требований, предъявляемых к приёмнику сигналов глобальных СНС в соответствии со стандартами ИКАО. Там же подробным образом рассмотрены сигналы глобальных СНС, различные способы определения положения ЛА, математические модели ошибок методов псевдодальностей. Представлен способ получения навигационной информации, основанный на совместном использовании спутников созвездий GPS и Galileo, разработано программное обеспечение для моделирования АПос ЛА с использованием средств GBAS.

Системы типа LAAS, принадлежащие к классу GBAS, созданы для дополнения систем типа WAAS, принадлежащих к классу SBAS [32]. Корпорация Honeywell разработала LAAS, получившую одобрение FAA, в сентябре 2009 г. Помимо Honeywell разработкой LAAS занимаются такие компании, как Northrop Grumman и Thales. Преимущества и недостатки LAAS полностью адекватны таковым для GBAS, за исключением того, что в первом случае комплекс пилотажно-навигационного оборудования ЛА совместим с WAAS (в соответствии с требованиями FAA). В Стэнфордском университете функционирует Stanford GPS Laboratory, являющаяся одним из центров изучения СНС.

JPALS [33] разработки корпорации Raytheon представляет собой аналогичную LAAS систему, предназначенную для военного применения.

Известны следующие исполнения JPALS:

- высокоточная SRGPS (Shipboard Relative Global Positioning System), обеспечивающая функционирование на борту корабля и точность определения координат ЛА в пределах (0.1 ÷ 0.2) м [34];
- LDGPS (Land Differential Global Positioning System), включающая, в свою очередь, три подсистемы: стационарную (Fixed Base), предназначенную для проведения операций на военных аэродромах по всему миру; тактическую (Tactical) портативную систему, предназначенную для проведения краткосрочных операций на плохо оборудованных аэродромах; высококомобильную систему быстрого развёртывания, предназначенную для выполнения особых заданий (Special Missions) войсками особого назначения.

В JPALS для военно-морского флота США используется защищённый от несанкционированного перехвата сигнал, что осложняет его использование в целях определения местоположения корабля. К настоящему времени JPALS обеспечила посадку ЛА на борт авианосца «Теодор Рузвельт» (CVN-71). Достижение окончательной готовности запланировано на 2030 г.

ЛККС разработки «НППФ Спектр» принадлежит к классу наземных систем дифференциальной коррекции (GBAS) и соответствует международным стандартам ICAO и EUROCAE (EUROpean Organization for Civil Aviation Equipment). Основные преимущества и недостатки данной станции адекватны таковым для GBAS, за исключением того, что ЛККС способна работать по четырём навигационным спутниковым группировкам – ГЛОНАСС, GPS, Galileo и Beidou. Технические характеристики и основные задачи, решаемые спутниковой системой навигации и посадки ЛККС-А-2000 производства «НППФ Спектр», приведены в [35]. Результаты

испытаний ЛККС-А-2000 на совместимость с навигационным оборудованием иностранного производства описаны в [36].

WAAS [32], поддерживаемая FAA, относится к классу спутниковых систем дифференциальной коррекции SBAS. Официальный запуск системы состоялся в 2004 г. Точность определения координат составляет ± 1.6 м в течение 95% времени функционирования системы.

Математическая модель погрешностей спутниковых систем дифференциальной коррекции SBAS (Satellite Based Augmentation System), построенная с использованием результатов исследований, проведённых в Стэнфордском университете, приведена в [37]. Данная работа также интересна предложенными рекомендациями для разработки модели, предназначенной для проверок системы на отказоустойчивость.

Работа [38] посвящена проблеме контроля целостности и обнаружения сбоя в показаниях бортовых СНС. Представлен обзор основных способов решения данной проблемы, выявлены их основные преимущества и недостатки. Предложен алгоритм комплексной обработки информации, использующий оптимальный фильтр Калмана, который обрабатывает сигналы от ИНС, СНС, магнитного компаса и СТЗ. Обнаружение отказов предлагается осуществлять путём анализа сигналов оптимального фильтра Калмана (псевдодальностей и псевдоскоростей).

1.3. Системы технического зрения в качестве средства информационного обеспечения автоматической посадки

Классификация СТЗ, используемых для обеспечения АПос ЛА, может быть реализована как по аппаратному (в соответствии с применяемыми средствами

информационного обеспечения), так и по программному (исходя из особенностей применяемых алгоритмов распознавания изображений) признакам.

СТЗ представляют собой большой класс систем информационного обеспечения АПос. Одно из их основных преимуществ – автономность, т.е. отсутствие необходимости в наземном оборудовании. Существенными недостатками СТЗ, сдерживающими их развитие, являются сильная зависимость от метеорологических условий и сложность реализации (как программной, так и аппаратной). Ведутся масштабные научно-исследовательские работы, направленные на качественное улучшение СТЗ, связанные, главным образом, с совершенствованием их алгоритмической части и направленные на качественное улучшение распознавания объектов, в том числе и в смысле быстродействия системы [39, 40].

Так, в работе [58] предложен метод выявления некоторых характерных особенностей изображений, инвариантных по отношению к масштабу и повороту изображений. Выявленные особенности могут обеспечить нахождение соответствий между различными изображениями одного и того же объекта. Таким образом, имея в наличии базу данных характерных особенностей известных объектов, можно обеспечить их распознавание. Работа [41] также посвящена поиску совпадающих изображений или их элементов путём выявления некоторых характерных особенностей изображений, инвариантных по отношению к их масштабу и повороту.

Значительная часть исследований, направленных на улучшение распознавания изображений, посвящена разработке алгоритмов, робастных относительно качества

получаемых изображений, что может говорить о несовершенстве используемой аппаратуры (как в части получения изображений, так и в части их обработки и хранения).

В исследовании [42] описывается программный комплекс, предназначенный для моделирования видеосъёмки с борта БЛА и определения по данным видеонаблюдения положения БЛА в пространстве. Характерная особенность используемых в предлагаемом программном комплексе алгоритмов сопоставления изображений состоит в выделении на эталонных изображениях опорных участков, т.е. областей, менее всего подверженных изменениям (в том числе и сезонным).

В работе [43] представлена структура бортового комплекса пилотажно-навигационного оборудования БЛА, обеспечивающего выполнение в автоматическом режиме взлёта и посадки, в том числе этапов разбега и пробега, включающих в себя движение по ВПП. Предложено использовать следующие бортовые и внешние средства информационного обеспечения: СНС, систему воздушных сигналов, СТЗ, систему курсовертикали. Основное внимание в работе уделено задачам, решаемым СТЗ. Полученные на макете СТЗ точностные характеристики, по мнению авторов (погрешность определения расстояния до объекта в пределах $(0.3 \div 0.5)\%$), свидетельствуют о возможности использования СТЗ в качестве дополнительного независимого информационного канала обеспечения автоматического управления БЛА при выполнении им взлёта и посадки.

Обзор методов навигации на этапе посадки на основе информации, получаемой от СТЗ, приведён в исследовании [44]. По результатам обзора выделены

ключевые элементы и характеристики СТЗ. В числе основных недостатков авторы указывают необходимость хранения больших объёмов информации в виде фотографических изображений местности. Предложена концепция навигационной системы, предназначенной для гражданской авиации, в основе которой лежит принцип использования СТЗ в качестве дополнительного средства информационного обеспечения. Основной принцип синтеза управляющих сигналов заключается в комплексировании информации глобальной СНС (GPS), ИНС и СТЗ. Авторами предложено ввести несколько характерных расстояний, выражающих удаление ЛА от начала ВПП: 1) предельная дальность начала функционирования системы (около 30 морских миль) – расстояние, начиная с которого СТЗ может анализировать поступающие фотографические изображения и определять их характерные особенности. При условии хорошей видимости алгоритм обработки изображений позволяет идентифицировать начало и конец ВПП; 2) расстояние, соответствующее времени принятия решения о дальнейшей работе СТЗ, – если система не может идентифицировать ВПП (начало и конец), она прекращает свою работу и не участвует в формировании сигналов управления ЛА; 3) характерное расстояние (около 1 морской мили), начиная с которого СТЗ определяет не только начало и конец ВПП, но и её боковые границы.

В статье [45] изложены сведения о комплексе имитационного моделирования оптикоэлектронной системы информационного обеспечения АПос, позволяющем оценить влияние таких искажающих факторов, как сложные метеорологические условия, проективные искажения, шумы от оптикоэлектронного преобразователя

свет-сигнал на точность определения координат наблюдаемого объекта. Приведены структура и состав комплекса, дано краткое описание его функций.

В исследовании [46] обсуждается интеллектуальная САП, предназначенная для посадки БЛА. В бортовом накопителе имеется априорная информация о местоположении аэродромов. Система автоматически выбирает наиболее подходящий аэродром и выводит ЛА в его окрестность. Информационное обеспечение посадки ложится на СТЗ, которая позволяет выделить ВПП на фоне подстилающей поверхности и определить её ключевые элементы: начало, конец, маркер, осевую линию, боковые границы, зону приземления и желаемую точку приземления. В основе аппаратного обеспечения СТЗ лежит камера, закреплённая к корпусу БЛА посредством карданного подвеса. Следует отметить, что авторы предлагают использовать основную камеру БЛА, предназначенную для решения задач наблюдения и разведки местности. Имитационное моделирование и лётные эксперименты, проведённые на БЛА Kingfisher производства BAЕ Systems, продемонстрировали возможность АПос без вмешательства оператора.

САП, использующая информацию от бортовой ИНС, дифференциальные поправки от GPS, систему воздушных сигналов СВС, а также, в качестве дополнительного источника информации, СТЗ, описана в [47]. Система управления ЛА реализована в операционной системе реального времени QNX. Предложенные решения успешно прошли лётные испытания в различных метеорологических условиях на двух типах лёгких БЛА с взлётной массой 15 и 36 кг. Авторы особо отмечают тот факт, что предложенная СТЗ способна функционировать в сложных метеорологических условиях, когда заметен лишь небольшой участок ВПП.

Работа [48] затрагивает вопросы посадки самолёта Rafale на палубу движущегося в пространстве авианесущего корабля при условии отсутствия ветра и качки с информационным обеспечением посадки за счёт СТЗ Damocles, разработанной Thales Optronics. Данная работа интересна предложенным набором измеряемых величин (две линейных и одна угловая).

Известна оптико-электронная система Euroflir 410 производства французской компании Safran, в которой реализованы следующие функции: многоспектральное наблюдение; точная геолокация за счёт лазерного оборудования и встроенной ИНС; встроенные вспомогательные функции выработки решений (обнаружение и идентификация объекта).

В работах [49, 50] для обеспечения посадки ЛА предложена СТЗ, в состав которой входят три наземных инфракрасных маяка, излучающих в диапазоне, соответствующем одному из окон прозрачности влажного атмосферного воздуха. Предложен алгоритм определения центра функции яркости инфракрасных маркеров, подобный алгоритму определения центра масс объёмного тела.

Значительный вклад в развитие СТЗ вносят разработки ГосНИИАС. В работе [59] рассмотрены основные задачи, проблемы, методы и технологии технического зрения, связанные с применением СТЗ в авиации. Проведена оценка вычислительных мощностей, потребных для обработки изображений в режиме реального времени. Даны рекомендации касательно программной архитектуры для обработки и анализа изображений. В качестве решения проблем, связанных со снижением характеристик обнаружения СТЗ целевых объектов вследствие сложных метеорологических условий, активных видов противодействия, несовершенства

используемых датчиков и каналов передачи данных, предложено осуществлять комплексирование многоспектральных данных, получаемых от датчиков различной физической природы.

В работе [51] предложено строить информационное обеспечение полёта БЛА на этапе посадки за счёт комплексной обработки информации бесплатформенной ИНС и системы определения параметров ориентации и навигации (углов тангажа, крена и курса, горизонтальных координат и высоты) на базе фотограмметрической обработки изображения искусственных наземных ориентиров. Приведены математические модели погрешностей используемых средств информационного обеспечения. Выявлено, что зависимость погрешностей определения навигационных параметров от дальности до наземных ориентиров имеет близкий к линейному характер в диапазоне дальностей от 0 до 1000 м. Использована слабосвязанная схема комплексирования, при которой ИНС и фотограмметрическая система определения параметров ориентации и навигации вырабатывают независимые решения. Оптимальный фильтр Калмана на основании разности показаний ИНС и фотограмметрической системы формирует оценку вектора состояния БЛА, в том числе погрешности ИНС в определении навигационных параметров и инструментальные погрешности инерциального измерительного блока.

1.4. Прочие системы информационного обеспечения автоматической посадки

Известна система OPATS (Object Position and Tracking System) производства RUAG Aviation (Швейцария), предназначенная для определения положения БЛА

при совершении им АПос. Определение параметров состояния БЛА осуществляется с помощью наведения на него лазерного луча (луч отражается от специального дефлектора и возвращается к излучателю). Недостатком системы является её существенная зависимость от погодных условий (корректная работа гарантируется при видимости не менее 1000 м) и времени суток. Концепция оптико-электронной системы подобного рода на основе сенсора телевизионного типа описывается в [19].

Исследование [52] освещает вопросы реализации информационного обеспечения посадки по сигналам псевдоспутников, которые, в сравнении с глобальными СНС, обеспечивают большую точность за счёт отсутствия эфемеридных и ионосферных погрешностей. Достоинством псевдоспутников является помехоустойчивость, достигаемая за счёт увеличения мощности сигнала.

Московский авиационный институт обладает сильными компетенциями в области исследования, разработки и создания систем навигации и ориентации БЛА [53]. Так, в статье [54] выполнен обзор работ, ведущихся в направлении применения псевдоспутников в качестве наземного дополнения СНС, описана система информационного обеспечения АПос БЛА, включающая в себя бесплатформенную ИНС, построенную на микромеханических датчиках, и модуль глобальной СНС, работающий по сигналам ГЛОНАСС или GPS и псевдоспутников. Методами имитационного моделирования определено влияние расположения псевдоспутников и алгоритмов комплексирования информации о параметрах состояния БЛА, формируемых средствами информационного обеспечения АПос, на точностные характеристики определения положения БЛА в трёхмерном пространстве в процессе выполнения им АПос. Авторами отмечено, что применение оптимального фильтра

Калмана обеспечивает существенное увеличение точности определения положения БЛА в вертикальной плоскости. В то же время точность определения положения БЛА в горизонтальной плоскости увеличивается не столь значительно.

В работе [55] описано решение задачи оптимизации размещения псевдоспутников ГЛОНАСС относительно ВПП с целью минимизации вертикального геометрического фактора, оказывающего определяющее влияние на точность решения навигационной задачи. Задача оптимизации решена методами Хука-Дживса, Нелдера-Мида и математического моделирования. Последнее реализовано в среде графического программирования LabView. Корректность результатов математического моделирования подтверждена в рамках натурального эксперимента. Определено влияние количества псевдоспутников на значение вертикального геометрического фактора. Так, установлено, что три оптимально расположенных псевдоспутника обеспечивают область высокой точности определения высоты полёта, охватывающую всю зону аэродрома, в том числе зоны предпосадочного маневрирования и захода на посадку. Дальнейшее увеличение количества псевдоспутников рассматривается авторами статьи как нецелесообразное.

В работе [56] рассмотрена САП миниатюрного БЛА с аэродинамической схемой типа «летающее крыло», информационное обеспечение которой реализовано за счёт ИНС и оптической системы, принцип действия которой основан на том, что компонент оптического потока, индуцируемый за счёт поступательного движения, пропорционален величине этого движения и обратно пропорционален расстоянию до статических объектов окружающей среды. Он также пропорционален синусу угла

между вектором перемещения и направлением наблюдения. Управляющие сигналы представляют собой взвешенную сумму сигналов разнесённых в пространстве оптических датчиков.

Работа [60] посвящена проблемным аспектам использования GPS при управлении ЛА. Предлагается технология APNT (Alternate Position, Navigation and Timing), позволяющая осуществлять навигацию в случае временной потери сигнала GPS. Основное внимание авторы сосредотачивают на дополнении к APNT, – WAM (Wide-Area Multilateration), позволяющем определить пространственное положение объекта-излучателя за счёт измерения временных задержек между прибытием сигналов от заранее известных источников, чьё местоположение определено с высокой точностью.

В работе [61] предложено использовать для коррекции координат ЛА, определяемых бортовой ИНС, информацию, формируемую корреляционно-экстремальной навигационной системой с цифровой картой местности, содержащей данные о поле высот рельефа местности вдоль маршрута полёта. Точность определения координат ЛА не позволяет использовать предложенную навигационную систему в качестве единственного источника информации о текущих координатах ЛА. Однако предлагаемая система может обеспечить вывод ЛА в заданную область пространства, где обеспечиваются условия для работы радиотехнических систем информационного обеспечения АПос и СТЗ.

В работе [62] рассмотрены вопросы комплексирования данных ИНС и СНС для информационного обеспечения полёта БЛА. Предложено использовать невязки

фильтра Калмана с целью идентификации сбойной информации, что позволит сохранить уровень функционирования БЛА.

2. Анализ рассмотренных работ

Как можно заметить из рассмотренных работ, основными характеристиками систем информационного обеспечения АПос являются точностные характеристики, целостность информации, зависимость от внешних условий и материальные затраты. Выбор той или иной системы информационного обеспечения АПос является результатом компромиссного выбора, учитывающего приведённые выше критерии и их влияние на интегральные характеристики разрабатываемого ЛА.

2.1. Работы, посвящённые радиотехническим системам информационного обеспечения автоматической посадки

В настоящее время наибольшее распространение среди систем информационного обеспечения АПос получили радиомаячные системы инструментального захода самолётов на посадку метрового диапазона волн (ILS). Наиболее существенные недостатки ILS – их невысокая точность, высокая стоимость наземного оборудования (в том числе его установки и обслуживания) и ограничения, налагаемые на геометрические характеристики заданной траектории (только прямолинейная, с ограничением по максимальному значению угла наклона). Одним из способов повышения точностных характеристик ILS является применение радиомаяков, работающих в двухчастотном режиме.

Невысокие точностные характеристики ILS объясняют активное распространение радиомаячных системы инструментального захода на посадку сантиметрового диапазона волн (MLS), обладающих лучшими в сравнении с ILS техническими характеристиками. Однако существенная разнесённость по частотному спектру погрешностей радиотехнических систем и ИНС создаёт хорошие условия для применения алгоритмов комплексной обработки информации.

Использование для управления ЛА угловых отклонений от заданной траектории, измеряемых радиомаячными системами инструментального захода на посадку, представляет определённую трудность, так одному и тому же значению углового отклонения ЛА от заданной траектории соответствуют различные значения линейных отклонений при изменении удалении ЛА от курсового и глиссадного радиомаяков.

Радиодальномерные системы требуют существенно меньших материальных затрат в сравнении с радиомаячными системами инструментального захода на посадку или посадочными радиолокаторами. Однако, как показано в работе [57], на удалении 2 км от торца ВПП погрешность определения высота полёта посредством таких систем может достигать величин 60 м, а погрешность определения отклонения ЛА от продольной оси ВПП в горизонтальной плоскости – 30 м.

Посадочные радиолокаторы актуальны для военной авиации, на аэродромах которых часто нет возможности содержать дорогостоящие и громоздкие радиомаячные системы типов ILS, MLS. Для гражданской авиации посадочные радиолокаторы – резервное средство информационного обеспечения. В настоящее

время посадочные радиолокаторы представляют собой менее надёжные, в сравнении с радиомаячными системами информационного обеспечения, системы.

2.2. Работы, посвящённые глобальным спутниковым навигационным системам в качестве средства информационного обеспечения автоматической посадки

С точки зрения автономности (независимости от наземного оборудования) и стоимости спутниковые системы информационного обеспечения посадки выигрывают у радиомаячных систем инструментального захода на посадку. Однако использование спутниковых сигналов в чистом виде не обеспечивает необходимый уровень точностных характеристик, что вынуждает использовать различные функциональные дополнения для СНС, что, в свою очередь, требует значительных материальных затрат.

Среди основных недостатков СНС: высокая вероятность недоступности спутниковой группировки в случае ведения масштабных боевых действий, снижение точности получаемых сигналов в силу прохождения их через тропосферу и ионосферу.

Возможность несанкционированного вмешательства в процесс управления ЛА вынуждает использовать защищённые каналы передачи информации. Примером такой системы является JPALS, разработанная в США.

2.3. Работы, посвящённые системам технического зрения в качестве средства информационного обеспечения автоматической посадки

СТЗ не требуют установки дорогостоящего наземного оборудования, однако их актуальное состояние не допускает использования в качестве основного источника информации при АПос ЛА крупного класса. Главный недостаток СТЗ – сильная зависимость от метеорологических условий. Однако, СТЗ, по-видимому, являются одним из наиболее развивающихся видов систем информационного обеспечения полёта ЛА в силу стремительного прогресса как в аппаратной, так и в алгоритмической частях. Вероятно, в ближайшем будущем можно ожидать существенного улучшения их технических характеристик.

Аппаратно-программные комплексы улучшенного видения EVS (Enhanced Vision Systems) могут входить в состав САП как пилотируемых, так и беспилотных ЛА, с целью повышения качества контроля процесса посадки экипажем и обеспечения оперативного вмешательства экипажа в процесс управления ЛА в случае возникновения такой необходимости.

2.4. Работы, посвящённые прочим системам информационного обеспечения автоматической посадки

Управление положением ЛА в пространстве в процессе совершения АПос может быть обеспечено за счёт наведения ЛА с земли по лазерному лучу. Недостаток данного способа информационного обеспечения АПос состоит в существенной зависимости от внешних условий, что, однако, до определённой степени компенсируется простотой системы и отсутствием необходимости в

дополнительном бортовом оборудовании. Таким образом, системы данного типа могут выполнять роль резервного источника информации в процессе АПос.

С целью компенсации недостатков спутниковых систем применяют наземные системы с аналогичным принципом действия (мультилатерация), называемые псевдоспутниками. Основным недостатком таких систем – необходимость установки наземного оборудования.

Перспективным автономным средством формирования навигационной информации являются корреляционно-экстремальные навигационные системы. Они могут обеспечить вывод ЛА в зону прямой видимости ВПП, где СТЗ смогут взять на себя дальнейшее информационное обеспечение АПос. Среди недостатков таких систем можно упомянуть необходимость установки дополнительного бортового оборудования, а также то, что в условиях ведения боевых действий рельеф местности может претерпевать существенные изменения.

3. Классификация систем информационного обеспечения автоматической посадки

Можно предложить следующую классификацию систем информационного обеспечения АПос ЛА (Рис. 1). В соответствующих прямоугольниках приведены примеры систем того или иного типа (выделены курсивом). Данная классификация не является исчерпывающей. Так, СТЗ не классифицированы в соответствии с используемыми в них алгоритмами обработки и анализа фотографических изображений.

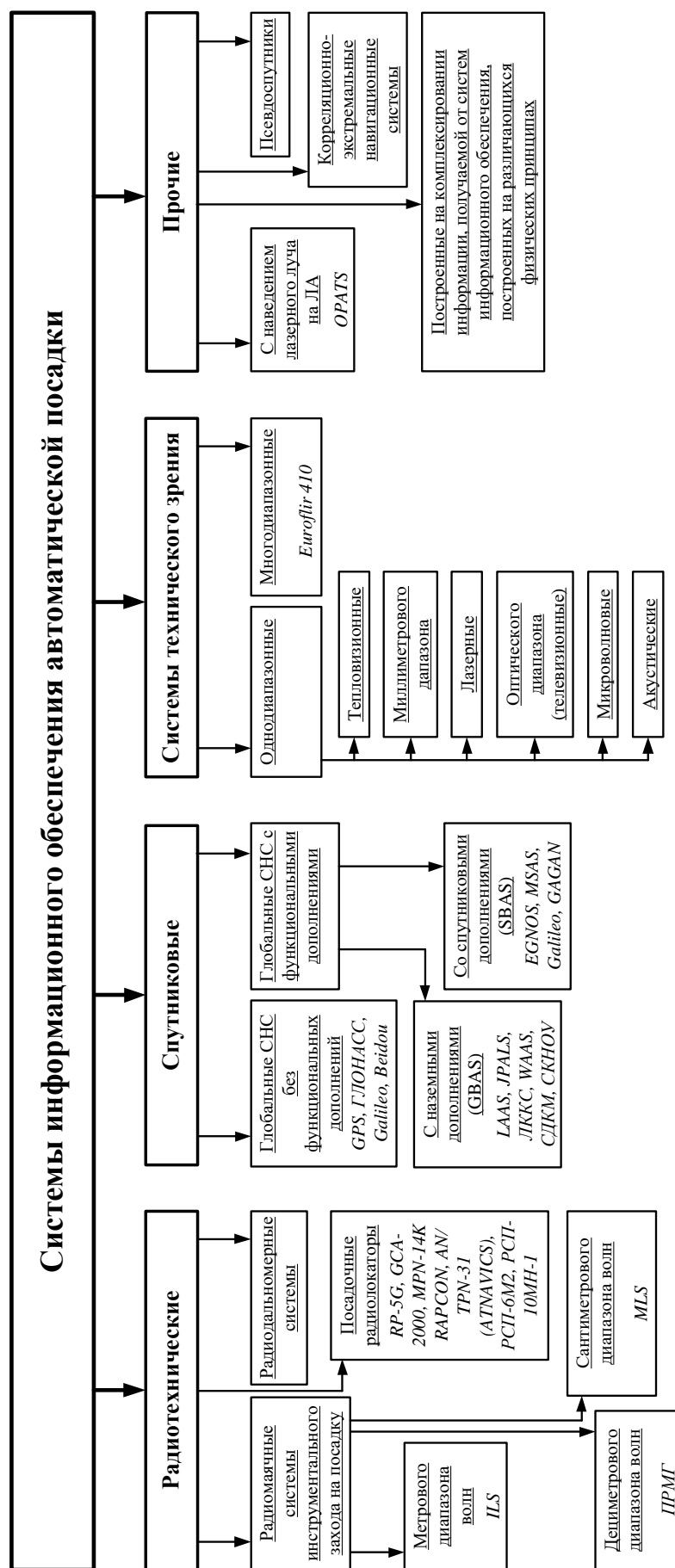


Рис. 1. Классификация систем информационного обеспечения АПос ЛА

Выводы

Исследованы вопросы информационного обеспечения, актуальные для САП пилотируемых и беспилотных ЛА, выявлены основные проблемы, препятствующие развитию САП ЛА в части информационного обеспечения, и предпочтительные технические решения, которые могут быть использованы при создании САП ЛА.

При решении поставленных в настоящей работе задач в качестве методов исследования применена совокупность системных взаимосвязанных методических подходов, основанных на применении поиска и анализа научно-технической литературы, её систематического обзора, анализа трендов с целью выявления доминирующих направлений развития САП в части информационного обеспечения и управления ЛА, элементов SWOT-анализа с целью выявления основных преимуществ и недостатков анализируемых объектов.

По результатам анализа работ, посвящённых вопросам АПос ЛА, было выявлено, что информационное обеспечение и управление являются основными проблемными областями разработки систем автоматической посадки летательных аппаратов.

Рассмотрены радиотехнические и спутниковые системы информационного обеспечения АПос, СТЗ, а также ряд иных систем. Предложена многоуровневая классификация средств информационного обеспечения АПос.

Радиотехнические системы информационного обеспечения АПос, способные обеспечить АПос до момента приземления ЛА на ВПП, предполагают высокие материальные затраты на установку и эксплуатацию. Альтернативой им видятся СНС с функциональными дополнениями. Однако, в случае ведения

широкомасштабных боевых действий, доступность спутникового сигнала остаётся под вопросом. Выходом из этой ситуации может быть применение систем, обеспечивающих автономную навигацию: СТЗ, корреляционно-экстремальных систем и т.д., которые тоже, в свою очередь, не лишены недостатков и могут существенным образом зависеть от внешних условий.

Таким образом, в качестве ядра информационного обеспечения АПос можно предложить ИНС, корректируемую по информации, получаемой от спутниковой навигационной системы с функциональными дополнениями (дифференциальной навигацией) и радиотехнической навигационной системы в качестве резервного источника информации.

Резюмируя вышесказанное, при проектировании САП можно рекомендовать строить информационное обеспечение на основе комплексной обработки информации следующих систем: ИНС, радиомаячной системы ILS, глобальной СНС с функциональными дополнениями, СТЗ. При проектировании САП для ЛА военной авиации можно рекомендовать строить информационное обеспечение на основе комплексной обработки информации, поступающей от следующих источников: ИНС, посадочного радиолокатора, глобальной СНС с функциональными дополнениями, СТЗ, корреляционно-экстремальной навигационной системы с использованием бортовых радиотехнических систем.

Ближнесрочные перспективы развития САП в части информационного обеспечения связаны с использованием информации, получаемой от ИНС, радиотехнических систем и глобальных СНС с функциональными дополнениями. Среднесрочные перспективы САП связаны с широким использованием

возможностей комплексирования информации внешних источников различной физической природы (главным образом, СНС, СТЗ и корреляционно-экстремальных навигационных систем с использованием бортовых радиотехнических систем) и повышением точностных характеристик бортовых ИНС. Долгосрочные перспективы САП связаны с использованием систем автономной навигации, способными осуществлять функционирование в недетерминированных условиях, включая деградацию ресурсов управления. Возможные направления развития САП показаны в Проекте дорожной карты развития систем управления БЛА [63].

Благодарность

Авторы считают своим долгом выразить глубокую признательность за замечания и предложения, высказанные в процессе подготовки настоящей статьи, О.В.

Леонтьеву и В.В. Рябову (ПАО «Компания «Сухой»).

Библиографический список

1. A Statistical Analysis of Commercial Aviation Accidents 1958-2019. URL: <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/safety-first/Statistical-Analysis-of-Comercial-Aviation-Accidents-1958-2019.pdf>
2. Boeing. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations. 1959 – 2018. 50th Edition. URL: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf
3. Wild G., Gavin K., Murray J., Silva J., Baxter G. A Post-Accident Analysis of Civil Remotely-Piloted Aircraft System Accidents and Incidents // Journal of Aerospace

4. Williams K. A summary of unmanned aircraft accident/incident data: human factors implications. U. S. Department of Transportation Report, Final Report, 2004, 14 p. URL: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/0424.pdf
5. Manning S.D., Rash C.E., LeDuc P.A., Noback R.K., McKeon J. The role of human causal factors in U. S. army unmanned aerial vehicle accidents, USAARL Report, Tech. Rep., 2004, 30 p. DOI:[10.21236/ada421592](https://doi.org/10.21236/ada421592)
6. Харин Е.Г., Копылов И.А., Копелович В.А., Клабуков Е.В. Лётные исследования алгоритмов комплексной обработки информации инерциальных и радионавигационных систем // Новости навигации. 2010. № 1. С. 8 - 17.
7. Харин Е.Г., Копелович В.А., Клабуков Е.В., Копылов И.А., Якушев А.Ф. Результаты лётных испытаний и сертификации инерциальных и инерциально-спутниковых навигационных систем // Новости навигации. 2009. № 1. С. 10 - 19.
8. JPALS Guides An F/A-18A Hornet To First Automatic Landing. Defense Aerospace. URL: [http://www.defense-aerospace.com/article-view/release/2840/f_18a-makes-automatic-landing-with-jpals-\(aug.-31\).html](http://www.defense-aerospace.com/article-view/release/2840/f_18a-makes-automatic-landing-with-jpals-(aug.-31).html)
9. Щербаков В. «Авианосная революция» ВМС США (Часть I) // Техника и вооружение. 2014. № 6. С. 27 - 33.
10. Adams E. New Navy tech makes it easy to land on a carrier. Yes, easy. Wired. URL: <https://www.wired.com/2016/08/new-navy-tech-makes-landing-aircraft-carrier-breeze>

11. Butler A. Again and again. Carrier, civil aviation could eventually take lessons from UCAS landing trials // Aviation Week & Space Technology, 2013, vol. 175, no. 27, pp. 50 - 51.
12. Eurocontrol air traffic management guidelines for Global Hawk in European airspace. European Organisation for the Safety of Air Navigation. URL: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/atm-guidelines-for-global-hawk-in-european-airspace-20101205.pdf>
13. Louis J., Marchetto A., Maretsis M., Mijaris F. NEURON: an international cooperation to enhance innovation. URL: <https://www.icas.org/media/pdf/ICAS%20Congress%20General%20Lectures/2014/ICASnEUROn.pdf>
14. Зиновьев Н.В., Кот М.А. Обзор методов радиоэлектронной борьбы // II Международная научно-практическая конференция «Исследования и разработки в перспективных научных областях»: сборник трудов. (Новосибирск, 20-29 декабря 2017). - Новосибирск: Изд-во «Центр развития научного сотрудничества», 2017. С. 59 - 62.
15. Шелковников Д.Н., Кривенко С.В., Шелковников Н.Д. Перспективные методы радиоэлектронной защиты средств связи в условиях РЭБ // Всероссийская научно-практическая конференция ученых, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов промышленности и связи, посвященной Дню радио: сборник трудов. (Омск, 29 апреля 2014). – Омск: Изд-во «КАН», 2014. С. 196 - 214.

16. Shane S., Sanger D.E. Drone Crash in Iran Reveals Secret U.S. Surveillance Effort, The New York Times. URL: <https://nytimes.com/2011/12/08/world/middleeast/drone-crash-in-iran-reveals-secret-us-surveillance-bid.html>
17. Kong W., Zhou D., Zhang D., Zhang J. Vision-based Autonomous Landing System for Unmanned Aerial Vehicle: A Survey // 2014 International Conference on Multisensor Fusion and Information Integration for Intelligent Systems (MFI). DOI: [10.1109/MFI.2014.6997750](https://doi.org/10.1109/MFI.2014.6997750)
18. Гулевич С.П., Веселов Ю.Г., Прядкин С.П., Тырнов С.Д. Анализ факторов, влияющих на безопасность полёта беспилотных летательных аппаратов. Причины авиационных происшествий беспилотных летательных аппаратов и способы их предотвращения // Наука и образование. 2012. № 12. С. 165 - 182. DOI: [10.7463/1212.0500452](https://doi.org/10.7463/1212.0500452)
19. Смирнов Ю.С., Ларионов В.А., Юрасова Е.В. Технологии обеспечения безопасности инструментальной системы посадки самолётов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2014. № 3. Т. 14. С. 57 - 64.
20. Войтович Н.И., Жданов Б.В., Зотов А.В. Моделирование работы двухчастотной инструментальной системы посадки самолётов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2013. № 4. Т. 13. С. 55 - 69.
21. Мазур В.Н., Хлгатын С.В., Ардалинова А.Е. Разработка алгоритма защиты от радиотехнических помех курсоглиссадных средств в режиме автоматического

захода на посадку // Труды МИЭА. Навигация и управление летательными аппаратами. 2011. № 4. С. 62 - 73.

22. Харин Е.Г., Копылов И.А., Копелович В.А., Минеев М.И., Ясенюк А.В., Дрожжина А.Ю. Отработка в лётных испытаниях алгоритмов комплексирования информации для управления полётом летательного аппарата при заходе на посадку // Новости навигации. 2010. № 4. С. 19 - 23.

23. Верейкин А.А., Лернер И.И. К вопросу фильтрации нестационарных процессов применительно к задачам автоматической посадки // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли»: сборник трудов. - Казань: Изд-во Академии наук республики Татарстан, 2016. Т. 2. С. 404 - 409.

24. Feather J.B., Craven B.K. Microwave Landing System Autoland System Analysis. NASA. Report NASA CR-189551, 1991, 62 p.

25. Завьялов В.А., Король В.М., Петухов С.Г. Многодальномерная навигационная система зоны взлёта и посадки беспилотных летательных аппаратов // Новости навигации. 2019. № 1. С. 15 - 19.

26. Щербинин В.В., Связов А.В., Кветкин Г.А. Результаты лётных испытаний макета автономного навигационного комплекса ДПЛА // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. Т. 162. № 1. С. 6 - 13.

27. Salih A.A.Al-A., Zhahir A. Design of a high accurate aircraft ground-based landing system // International Journal of Engineering Trends and Technology, 2013, vol. 4, no. 3, pp. 415 - 429.

28. Большаков Ю.П., Нечаев Е.Е. Посадочные радиолокаторы гражданской авиации и тенденции развития техники их построения // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2005. № 96. С. 97 - 102.
29. Agarwal S., Hablani H.B. Automatic Aircraft Landing over Parabolic Trajectory using Precise GPS Measurements // 2nd International Conference and workshop on Emerging Trends in Technology (ICWET) 2011. International Journal of Computer Applications (IJCA), 2011, no. 1, pp. 38 - 45.
30. Satellite Navigation – Ground Based Augmentation System (GBAS). URL: http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/laas/
31. Neri P. Use of GNSS signals and their augmentations for Civil Aviation navigation during Approaches with Vertical Guidance and Precision Approaches, PhD thesis, Doctorat de l'Universite de Toulouse, November 2011, 245 p.
32. Прусс Л.В. Спутниковые системы посадки гражданской авиации WAAS и LAAS // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Технические науки. 2012. Т. 1. № 8. С. 192 - 193.
33. Stevens J., Pierce B. Joint Precision Approach and Landing System (JPALS). Land-Based JPALS Technical Overview // AFCEA CNS/ATM Orlando, FL, 15 June 2011, 25 p.
34. Stanford GPS Lab – JPALS. URL: <http://waas.stanford.edu/research/jpals.htm>
35. Союз авиапроизводителей. Локальная контрольно-корректирующая станция ЛККС-А-2000 (GBAS). URL: www.aviationunion.ru/Files/Nom_1_Spektr.doc

36. Завалишин О.И., Лукьянов В.А. Результаты испытаний спутникового оборудования ЛККС-А-2000 и GLS в Европе // Новости навигации. 2007. № 4. С. 13 - 16.
37. Azoulai L., Neri P., Milner C., Macabiau C., Walter T. SBAS Error Modelling for Category I Autoland // Proceedings of the ION GNSS 2012, 17-21 September 2012, Nashville, TN, USA. pp. 1334 - 1337.
38. Веремеенко К.К., Антонов Д.А. Обнаружение сбоев спутниковых навигационных систем в интегрированной навигационной системе // XXIII Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам: сборник трудов (Санкт-Петербург, 30 мая-01 июня 2016). – Санкт-Петербург: Изд-во ЦНИИ «Электроприбор», 2016. С. 497 - 500.
39. Muja M., Lowe D.G. Fast Approximate Nearest Neighbors with Automatic Algorithm Configuration // Proceedings of International Conference on Computer Vision Theory and Applications, Lisboa, Portugal, February 5-8, 2009, vol. 1.
40. Rublee E., Rabaud V., Konolige K., Bradski G. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 6-13 Nov. 2011, Barcelona, Spain, pp. 2564 - 2571. DOI: [10.1109/ICCV.2011.6126544](https://doi.org/10.1109/ICCV.2011.6126544)
41. Bay H., Tuytelaars T., van Gool L. SURF: Speeded Up Robust Features // Computer Vision – ECCV 2006: 9th European Conference on Computer Vision, Graz, Austria, May 7-13, 2006, pp. 404 – 417. DOI: [10.1007/11744023_32](https://doi.org/10.1007/11744023_32)
42. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Коблов Ю.С., Муравьев В.С., Стротов В.В., Фельдман А.Б. Автоматизация разработки и исследования алгоритмов машинного зрения для навигации беспилотных летательных аппаратов на базе

специализированного программного комплекса // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2012. Т. 128. № 3. С. 85 - 91.

43. Соколов С.М., Богуславский А.А., Фёдоров Н.Г., Виноградов П.В. Система технического зрения для информационного обеспечения автоматической посадки и движения по ВПП летательных аппаратов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2015. Т. 162. № 1. С. 96 - 109.

44. Vezinet J., Escher A.-C., Guillet A., Macabiau C. State of the art of image-aided techniques for aircraft approach and landing // International Technical Meeting of The Institute of Navigation, January 2013, San Diego, USA, pp. 473 - 607.

45. Анцев Г.В., Макаренко А.А., Турнецкий Л.С. Средства имитационного моделирования оптикоэлектронной системы автоматической посадки беспилотного летательного аппарата // Всероссийская научно практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика»: сборник докладов. Т. 2. - СПб: ОАО «ЦТСС», 2009. С. 17 - 21.

46. Williams P., Crump M. Intelligent Landing System for Landing UAVs at Unsurveyed Airfields // 28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 23-28 September, 2012, Brisbane, Australia, Paper ICAS 2012-11.6.2, 19 p.

47. Laiacker M., Kondak K., Schwarzbach M., Muskardin T. Vision Aided Automatic Landing System for Fixed Wing UAV // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 3-7 November, 2013, Tokyo, Japan, pp. 2971 - 2976. DOI: [978-1-4673-6358-7/13/\\$31.00](https://doi.org/10.1109/IROS12724.2013.6622111)

48. Coutard L., Chaumette F., Pflimlin J.M. Automatic landing on aircraft carrier by visual servoing // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 25-30 September, 2011, San Francisco, CA, USA, pp. 2843 - 2848. DOI: [10.1109/IROS.2011.6094887](https://doi.org/10.1109/IROS.2011.6094887)
49. Бондарев В.Г. Автоматическая посадка самолета на авианосец // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2012. № 185. С. 124 - 131.
50. Бондарев В.Г., Лопаткин Д.В., Смирнов Д.А. Автоматическая посадка летательных аппаратов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2018. № 2. С. 44 - 51.
51. Антонов Д.А., Жарков М.В., Кузнецов И.М., Лунев Е.М., Пронькин А.Н. Определение навигационных параметров беспилотного летательного аппарата на базе фотоизображения и инерциальных измерений // Труды МАИ. 2016. № 91. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=75632>
52. Нигруца И.В., Гребенников А.В., Казанцев М.Ю. Система посадки по сигналам псевдоспутников // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. 2012. № 1. С. 96 - 99.
53. Веремеенко К.К., Антонов Д.А., Жарков М.В., Пронькин А.Н., Кузнецов И.М. Интегрированные навигационно-посадочные комплексы БПЛА с функцией обнаружения отказов // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019: сборник трудов. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2019. С. 1353 - 1358.

54. Веремеенко К.К., Пронькин А.Н. О некоторых результатах исследований интегрированной системы посадки БЛА, использующей сигналы псевдоспутников // Новости навигации. 2012. № 3. С. 16 - 22.
55. Арефьев Р.О., Арефьева Н.Г., Скрыпник О.Н. Совершенствование аэронавигационного обеспечения этапа посадки путём оптимизации размещения псевдоспутников ГЛОНАСС // Труды МАИ. 2017. № 92. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=77182>
56. Beyeler A., Zufferey J-C., Floreano D. optiPilot: control of take-off and landing using optic flow // Proceedings of the European Micro Air Vehicle conference and competition (EMAV), 2009, Delft, Netherlands, pp. 1 - 8.
57. Кондрашов Я.В., Фиалкина Т.С. Математическое моделирование многопозиционной радиодальномерной системы посадки летательных аппаратов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2011. № 164. С. 78 - 84.
58. Lowe D.G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // International Journal of Computer Vision, 2004, vol. 60, no. 2, pp. 91 - 110.
59. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами – 2010: труды научно-технической конференции-семинара. Вып. 4. - М.: КДУ, 2011. С. 11 - 44.
60. Niles F.A., Conker R.S., El-Arini B.M., O’Laughlin D.G., Baraban D.V. Wide Area Multilateration for Alternate Position, Navigation and Timing (APNT). URL:

https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navigation_services/gnss/library/documents/apnt/media/wam_whitepaperfinal_mitre_v2.pdf

61. Наумов А.И., Кичигин Е.К., Сафонов И.А., Мох А.М.А.Э. Бортовой комплекс высокоточной навигации с корреляционно-экстремальной навигационной системой и цифровой картой местности // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Т. 9. № 6-1. С. 51 - 55.

62. Грошев А.В. Стратегия алгоритмического повышения точностных характеристик и информационной надёжности инерциально-спутниковых навигационных систем в составе беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2019. № 104. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=102217>

63. Верейкин А.А. Проект дорожной карты развития систем управления беспилотными летательными аппаратами // 10-й Всероссийский межотраслевой молодёжный конкурс научно-технических работ и проектов «Молодёжь и будущее авиации и космонавтики»: аннотации конкурсных работ. – М.: Изд-во МАИ, 2018. С. 36 - 38.