

ПРОСТЕЙШИЙ АЛГОРИТМ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, СМОДЕЛИРОВАННЫЙ НА БАЗЕ КРИТЕРИЯ МИНИМАЛЬНОГО УГЛА ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЛЕТА, ПРИ НАЛИЧИИ НА МАРШРУТЕ ЗАПРЕТНЫХ ЗОН

A SIMPLE ALGORITHM FOR DRIVING UNMANNED AIRCRAFT MODELS MODELED ON THE BASIS OF CRITERION OF THE MINIMUM ANGLE TO DEFLECT FROM THE PRESENT TRAJECTORY OF THE AUTOMATIC FLIGHT, IF IT IS NOT AVAILABLE ABOUT MARCH

A. Garin
V. Muhanov
D. Ivlev
D. Finagin

Summary. This article is devoted to a review of the simplest algorithm for the minimum deviation angle from a given trajectory of automatic flight of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the presence of forbidden zones on the route, as well as systems necessary to comply with safety requirements at low altitude. It can be widely used when using civilian UAVs in urban areas and when working near technical facilities (airfields).

Keywords: UAV — unmanned aerial vehicle, ground proximity warning system, algorithm, “ideal pilot”, automatic flight.

Гарин Алексей Владимирович

Служащий, Росгвардия

Муханов Владимир Иванович

Военная академия Генерального штаба Вооруженных

Сил Российской Федерации

alexlpandin2@mail.ru

Ивлев Данила Витальевич

Служащий, Росгвардия

danila.ivlev@gmail.com

Финагин Дмитрий Сергеевич

Служащий, Росгвардия

fn.dmitriy1612@mail.ru

Аннотация. Настоящая статья посвящена обзору простейшего алгоритма минимального угла отклонения от заданной траектории автоматического полета беспилотных летательных аппаратов (БЛА) при наличии на маршруте движения запретных зон, а также систем необходимых для соблюдения требований безопасности полетов на малой высоте. Имеет возможность широкого применения при использовании БЛА гражданского назначения в городских условиях и работе возле технических объектов (аэродромов).

Ключевые слова: беспилотник или БЛА — беспилотный летательный аппарат, система предупреждения приближения земли, алгоритм, «идеальный пилот», автоматический полет.

Современные беспилотные или дистанционно управляемые летательные аппараты различных способов базирования, имеют значительную отличительную особенность относительно летательных аппаратов классической малой авиации, а именно, имеют способность выполнять задачу автоматически, без присутствия человека. Что позволяет использовать широко в народном хозяйстве без наличия стационарного аэродрома, дорогостоящего обслуживания и обучения летного экипажа, но при этом возникает ряд серьезных проблем заключающихся в невозможности быстрого реагирования на изменяющуюся в полете ситуацию, проведения оперативной оценки обстановки оператором как если бы за штурвалом находился непосредственно пилот.

После многих десятилетий разработок, современные БЛА сильно эволюционировали относительно первых разработок. Современные БЛА могут выполнять задачу практически полностью в автоматическом режиме, одновременно анализируя ландшафт и корректируя траекторию полета самостоятельно, за исключением ряда случаев, которые будут описаны ниже [6]. Поэтому БЛА находят множественное применение в различных областях.

Гражданское применение БЛА можно разделить на три группы:

- ◆ решение научно-исследовательских задач;
- ◆ обеспечение безопасности и контроль состояния различных систем;
- ◆ коммерческое применение.

При помощи БЛА решают множество научно-исследовательских задач, таких, например, как мониторинг климата и атмосферы, а также контроль состояния растительного покрова определенного участка и наблюдение за животными в заповедниках.

Ко второму типу применения БЛА можно отнести: слежение за пожарной обстановкой, мониторинг состояния дорог и наблюдения за дорожно-транспортным режимом.

Основу коммерческого применения БЛА составляют такие виды задач, как аэрофотосъемка, аэрокартография и слежение за сельскохозяйственными угодьями.

Таким образом, в настоящее время БЛА имеют множество способов применения в гражданских целях.

Использование беспилотных авиационных комплексов (БАК) в гражданской области на сегодняшний момент практически ограничивается частными случаями локальных применений в интересах решения текущих производственных или хозяйственных задач, преимущественно в экспериментальном порядке.

Из поставленных гражданским сектором рынка задач применения БЛА, в первую очередь, хочется отметить такие, которые в ближайшее время могут стать востребованными. Это, в первую очередь, контрольные функции БЛА. С помощью беспилотных систем можно контролировать как техническое состояние объектов, так и их безопасность, и функционирование, притом, что контролируемые объекты могут находиться на большом удалении (протяженные объекты) с понижением угрозы оператору до нуля.

Вопросы применения БЛА для обеспечения безопасности объектов на сегодняшний день выходят на первые роли.

Угроза жизнедеятельности, требования экономической безопасности, коммерческий риск заставляют различные организации все больше обращать внимание на новые методы контроля и мониторинга земной поверхности.

Больше всего это беспокоит такие организации, которые имеют протяженные объекты, контроль за которыми довольно сложно организовать. В первых рядах — это владельцы различных трубопроводов. Все эти организации могут ощутить экономический эффект от применения беспилотных систем через очень короткий промежуток времени. Который будет заключаться в отсутствии потребности в многочисленной наземной охране, защите объектов от несанкционированного

проникновения, постоянный контроль технологических процессов в режиме онлайн, независимости от требований смежных организаций занимающихся предоставлением услуг малой авиации.

Ввиду высокой протяженности и территориальной обширности объектов наблюдения воздушный мониторинг является наиболее эффективным средством наблюдения и дистанционного сбора данных об их состоянии.

Ранее, вместо БЛА, традиционно использовалась малая авиация, (Ту-134, Ан-2, Ан-30, Ил-18, Cessna, L-410) или вертолеты (Ми-8Т, Ка-26, AS-350), что требует высоких экономических затрат на обслуживание и заправку, что приводит к повышению стоимости конечной продукции.

Применение малой авиации нерентабельно в следующих случаях:

- ◆ съемка небольших объектов и малых по площади территорий;
- ◆ при необходимости проведения регулярной съемки в целях мониторинга протяженных объектов: трубопроводы, ЛЭП, транспортные магистрали.

При съемке небольших объектов и малых по площади территорий экономические и временные затраты на организацию работ, приходящиеся на единицу отснятой площади, существенно превосходят аналогичные показатели при съемке больших площадей (тем более для объектов, значительно удаленных от аэродрома).

Таким образом, плюсами применения БЛА являются:

- ◆ экономичность;
- ◆ простота в эксплуатации;
- ◆ возможность съемки с небольших высот и вблизи объектов;
- ◆ получение снимков высокого разрешения;
- ◆ оперативность получения снимков;
- ◆ возможность применения в зонах чрезвычайных ситуаций без риска для жизни и здоровья пилотов.

В настоящее время большая часть существующих и эксплуатируемых БЛА предназначены для воздушной разведки и наблюдения, которые осуществляются с помощью фото- и видеосъемки [13].

Для выполнения выше перечисленных задач необходимо соблюсти требования безопасности полета в автоматическом режиме, а также предотвратить возможные авиационные инциденты во время автоматического полета БЛА, в особенности на малой высоте.

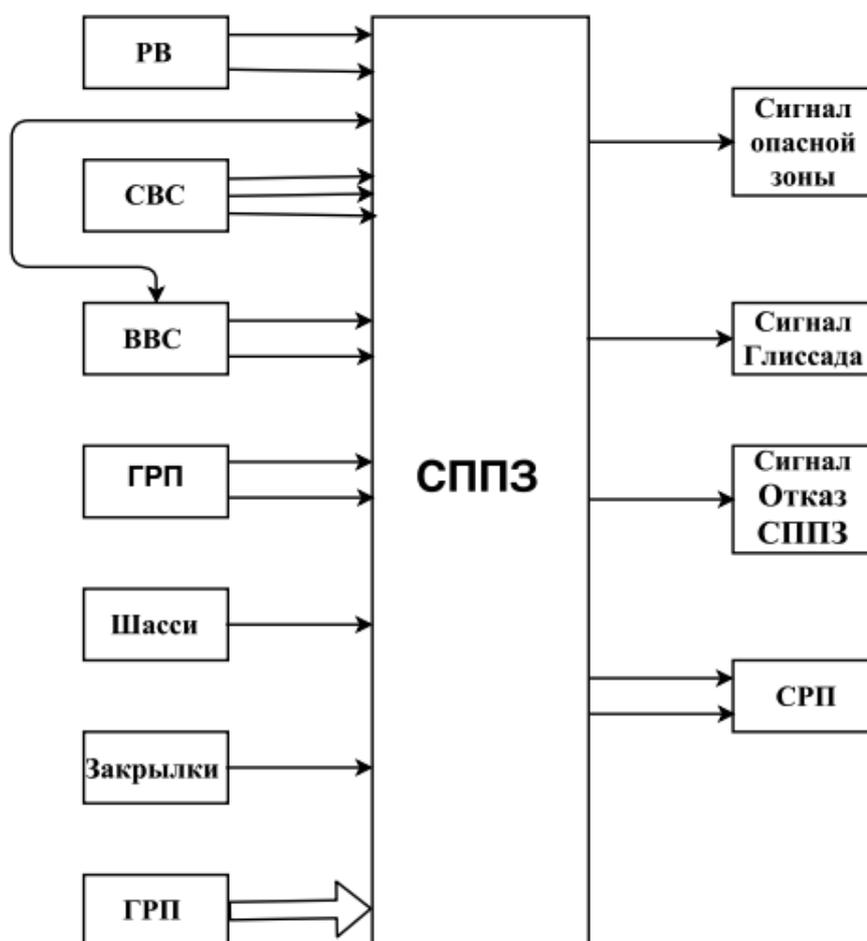


Рис. 1. Структурная схема системы предупреждения приближения к земле.

Системы обеспечения безопасности полета беспилотных летательных аппаратов на малой высоте. Система предупреждения приближения к земле

Эта система на различных летательных аппаратах, в том числе гражданских БЛА средней дальности позволяет обходить препятствие, появляющееся при полете БЛА по заданной траектории и представляющее для него опасность [7]. Структурная схема системы приведена на рисунке 1.

Основным принципом работы этой системы является автоматический контроль высоты и отклонения от радиотехнической глиссады [11].

К причинам столкновения с землей относятся:

- ◆ непреднамеренное превышение опасной скорости сближения с землей при посадке или совершении маневра;

- ◆ потеря высоты после взлета или при уходе на второй круг;
- ◆ сближение с землей при положении шасси или закрылков в не посадочной конфигурации;
- ◆ отклонение от радиотехнической глиссады, снижение ниже минимальной безопасной высоты.

Все вышеперечисленные факторы учтены при проектировании алгоритмов обеспечения предупреждения об опасности столкновения с землей. Варианты возникновения опасных ситуаций могут быть обусловлены различными факторами как погодного, климатического, техногенного характера — сильный боковой ветер, дождь, град, плохая видимость, выбросы предприятий, так и внешнего воздействия — от столкновения с птицами, летательными аппаратами, противодействие обнаруженных нарушителей при охране объектов, с применением стрелкового оружия или метательных снарядов.

Сигналы с измерителей информации после предварительной обработки поступают на устройство вычис-

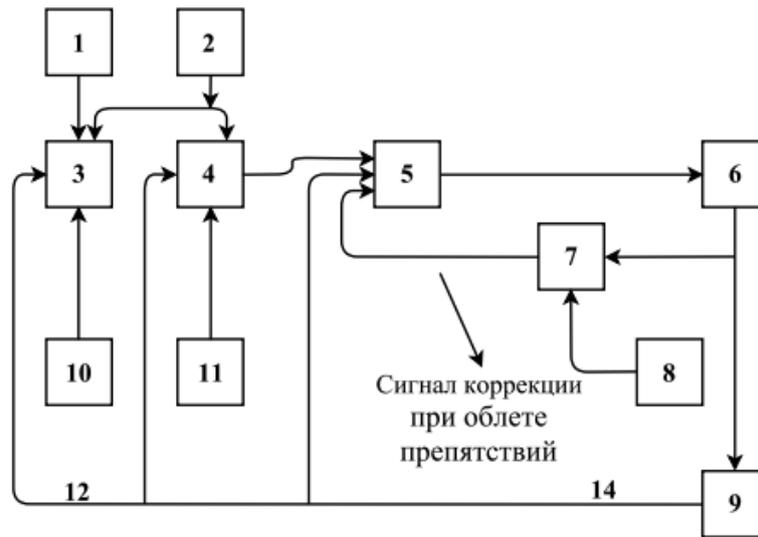


Рис. 2. Типовая структурная схема управления полета на малой высоте.

ления и сравнения (УВС), в котором имеется семь различных каналов, соответствующих режимам системы предупреждения приближения земли (СППЗ) (превышение скорости снижения, потеря высоты при взлете, отклонение вниз от радиотехнической глиссады). Полученные с входа УВС сигналы поступают на устройство формирования сигнала предупреждения (УСП), которое в соответствии с полученной информацией выдаёт данные в систему автоматического управления (САУ). СППЗ также содержит блок разовых команд (БРК), на вход которого поступает информация о положении шасси (при наличии в БЛА системы уборки-выпуска шасси (СУВШ)) и закрылков, сигналы исправности измерительных каналов и тестового контроля[10].

Основным элементом СППЗ является УВС, реализующее вычисление программных значений границ срабатывания режимов, которые далее сравниваются с текущим значением радио высоты. Потом вырабатываются сигналы о нахождении в зоне выдачи сигналов предупреждения.

При исследовании алгоритмов идеального пилота и полета по траектории на базе проведенного моделирования считалось, что сигналы об опасном сближении с землей поступают от этой системы.

Система обеспечения безопасности полета на малой высоте для беспилотного летательного аппарата вертолетного типа

Перспективным направлением является обеспечение безопасности полета на малой высоте с использова-

нием карты рельефа поверхности, закладываемой в базу знаний [7].

Если рассмотреть БЛА вертолетного типа, то для него имеют место следующие режимы полета:

- ◆ на малой высоте (БЛА летит выше всех препятствий);
- ◆ по профилю (БЛА летит близко к земле, облетая препятствия);
- ◆ «по ворсу» земли. Происходит изменение высоты и курса. Управление осуществляется и в вертикальной, и в горизонтальной плоскости[2].

Особенностью систем обеспечения полета на малой высоте является включение в структуру цифровых карт: приближенной и точной.

Типовая структурная схема управления полетом на малой высоте представлена на рисунке 2.

1 — требования маршрутного задания, 2 — дополнительная информация, 3 — план выполнения задания, 4 — программа оптимальной траектории полета над землей, 5 — система управления полетом для облета препятствий, 6 — объект управления, заданный в программе в виде математической модели, 7 — датчики препятствий, 8 — база данных о поверхности земли, 9 — инерциальная навигационная система, 10 — приближенная цифровая карта поверхности земли, 11 — уточненная карта поверхности, 12 — работа системы на большом удалении от препятствий (определяется номинальная траектория полета на небольшом расстоянии впереди по курсу), 13 — работа системы на средней дистанции, уточнение траектории по карте местности, 14 — работа

системы вблизи препятствий (управление с целью обхода препятствий при помощи информации, собираемой с датчиков 7 в реальном времени, с уточнением рельефа 8 и данных полученных на среднем уровне 13)[9].

Задачи, решаемые системой обеспечения безопасности на малой высоте:

- ◆ выбор маршрута на большом удалении от препятствий;
- ◆ выбор маршрута на среднем расстоянии от препятствий;
- ◆ обход препятствий на близких расстояниях;
- ◆ определение в процессе полета дальности до препятствий.

Первая задача включает определение полетного задания. На основе общей информации определяются относительно опасные зоны и ресурсы БЛА. Здесь достаточно данных о рельефе приближенной карты местности. Также используются данные о конечной точке полета.

При решении второй задачи, происходит коррекция задания для уточнения пути полета с использованием более детальной информации о рельефе, учитываются местные особенности рельефа[1].

Целью третьей задачи является определение номинальной траектории при облете препятствий на близких расстояниях. Используется номинальная траектория, выработанная на этапе 13 (см. рисунок), с учетом существующих препятствий.

Четвертая задача включает определение дальности до препятствий и в зависимости от удаленности решение задачи 1,2 или 3.

Алгоритм идеального пилота

Имитационное моделирование позволяет осуществить поддержку решения оператора, управляющего движением БЛА по траектории при необходимости обхода возникших на траектории движения препятствий [10,12,13,5]

Алгоритм «идеального пилота» [6] позволяет осуществлять управление БЛА в следующих режимах:

- ◆ управление полетом осуществляется изменением угла тангажа, что приводит к увеличению, либо уменьшению высоты полета над подстилающей поверхностью;
- ◆ значение угла рысканья остается неизменным;
- ◆ движение БЛА осуществляется без скольжения.

Режим «обход препятствий» реализуется следующим образом:

- ◆ управление полетом осуществляется изменением угла крена;
- ◆ БЛА осуществляет полет без изменения высоты полета в географической системе координат.
- ◆ значение угла рысканья остается неизменным.

Режим «обход-облет препятствий» реализуется следующим образом:

- ◆ управление полетом БЛА осуществляется изменением угла тангажа и угла крена;
- ◆ значение угла рысканья остается неизменным.

Режим автоматического выбора варианта управления маневром БЛА реализуется с использованием специального «решающего правила» с учетом располагаемого динамического ресурса по управлению. Решение о выполнении того или иного маневра принимается из условия минимизации используемого ресурса[7].

С этой целью в каналах управления БЛА была использована функция «идеального пилота», коэффициенты которой подбирались таким образом, чтобы величина среднеквадратического отклонения высоты полета над рельефом принимала минимальное значение.

При практическом применении расчета алгоритма движения при облете заданной территории будет прокладываться маршрут движения с учетом расположения аэродромов, технических складов и других охраняемых объектов, в соответствии с действием базового алгоритма приведенного ниже.

Обзор действия алгоритма простейшего обхода запретной зоны

Требуется смоделировать полет БЛА из точки А в точку В при следующих условиях[3]: полет с наличием шести запретных зон, расположенных в различных положениях на цифровой карте местности.

Алгоритм включает в себя 10 шагов. Каждый шаг выполняется в каждой клетке цифровой карты местности.

- ◆ Шаг 1. Проверить наличие запретной зоны перед БЛА.
- ◆ Шаг 2. В случае наличия таковой, перейти к шагу 3; если же запретной зоны не обнаружено, перейти к шагу 4.
- ◆ Шаг 3. Осуществляется выбор направления облета перпендикулярно траектории полета и переход к шагу 5.
- ◆ Шаг 4. Продолжается полет по исходной прямой траектории и осуществляется переход к шагу 1.
- ◆ Шаг 5. Проверяется наличие границы запретной зоны, параллельной траектории движения БЛА.

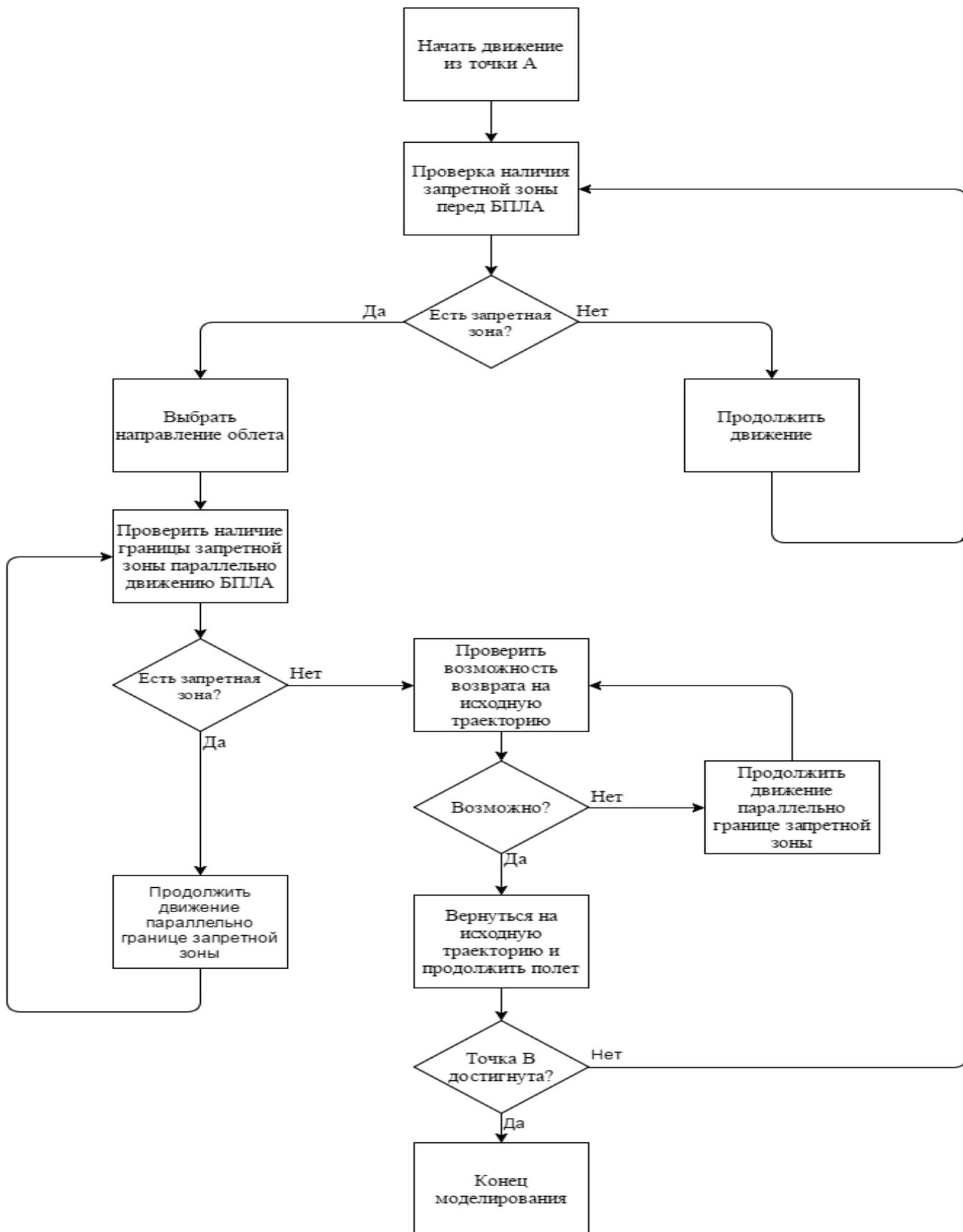


Рис. 3. Блок-схема простейшего алгоритма обхода запретной зоны.

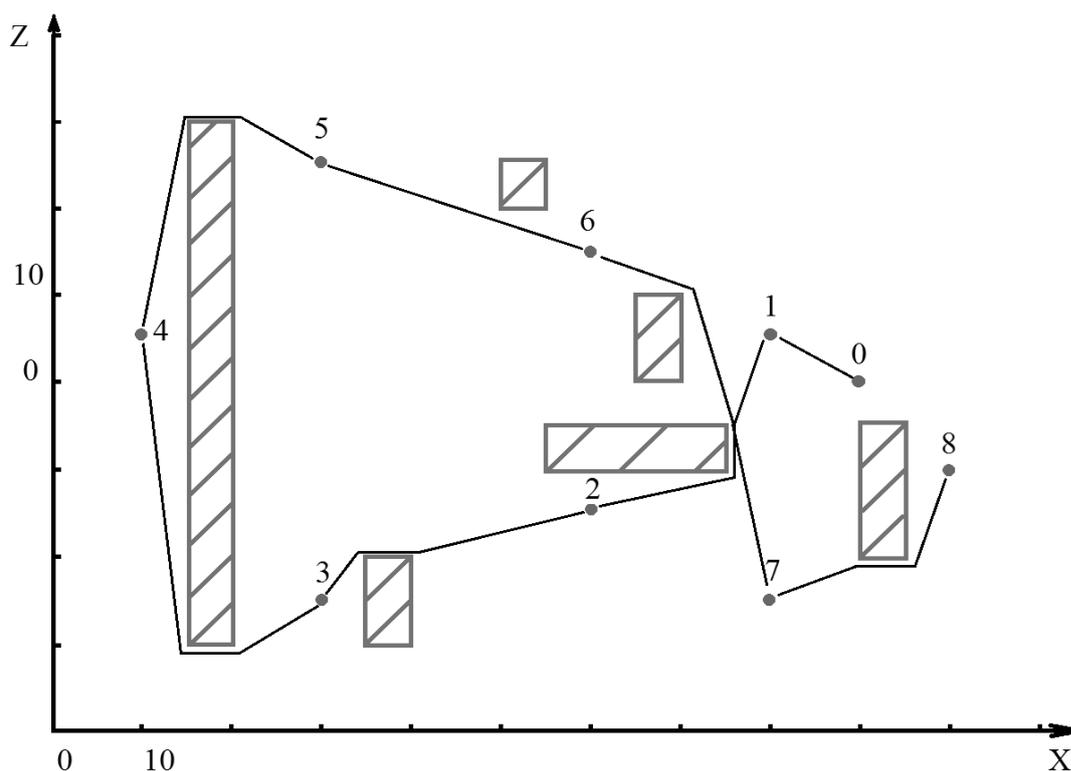


Рис. 4. Расположение запретных зон и планируемая траектория полета из точки 0 в точку 8.

- ◆ Шаг 6. Если таковая имеется, перейти к шагу 7; если нет — перейти к шагу 8.
- ◆ Шаг 7. Продолжить движение параллельно границе запретной зоны и перейти к шагу 5.
- ◆ Шаг 8. Проверить возможность возврата на исходную прямолинейную траекторию.
- ◆ Шаг 9. Если возврат невозможен, перейти к шагу 10; если возврат возможен, перейти к шагу 11.
- ◆ Шаг 10. Продолжить движение параллельно границе запретной зоны с целью её обхода и перейти к шагу 8.
- ◆ Шаг 11. Выполнить возврат на траекторию и продолжить полет по исходной прямолинейной траектории.
- ◆ Шаг 12. Проверить, достиг ли БЛА конечной точки маршрута (точки В). Если нет, осуществить переход к шагу 1; если да, закончить моделирование полета[8].

Блок-схема данного алгоритма представлена на рисунке 3.

Результат работы алгоритма представлен в виде набора координат промежуточных точек маршрута полетного задания. Визуализация размещения запретных зон, а также предполагаемой траектории полета представлена на рисунке 4[8].

Заключение

Работа посвящена анализу применения современной БАС гражданского назначения, использования её бортового оборудования, применяемого в гражданских целях, и исследованию алгоритмов идеального пилота и простейшего алгоритма обхода запретных зон на цифровой карте местности.

Рассмотрен обычный режим полета по алгоритму идеального пилота из точки 1 цифровой карты местности в точку 8. Обход запретных зон рассмотрен на примере движения из точки 1 в точку 8, при условии наличия по ходу движения шести запретных зон. Запретные зоны не имеют принципиального фиксирования по принадлежности, это могут быть аэродромы базирования авиации, закрытые гражданские объекты, объекты федерального использования, частная территория и т.д. Основным критерием при обходе объекта будет выступать его наличие на цифровой карте местности и в памяти БЛА.

Проведенное обзор показал, что данный простейший алгоритм позволяет обойти заданные препятствия, по кратчайшему пути без применения дополнительных затрат наземного или воздушного радиолокационного (навигационного) оборудования.

На практике необходимо учитывать ограничения на физические возможности БЛА, полученные результаты может быть использованы при практическом расче-

те алгоритмов движения БЛА гражданского назначения на территории субъектов Российской Федерации по запросу ведущих организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров А.А., Сурков Д. А., Васильев Н. М. Мобильный комплекс оперативного мониторинга газа и нефтетрубопроводов на базе мультироторного беспилотного летательного аппарата. // Автоматизация в нефтегазовой отрасли. — 2015. — № 4. — с. 44–50.
2. Системы раннего предупреждения приближения к земле ТТА-12//ЗАО «Транзас», 2004.
3. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. //Веремеенко К.К., Желтов С. Ю., Ким Н. В. и др. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.
4. Современные подходы к проектированию систем управления беспилотными летательными аппаратами//Г.Н.Лебедев, Д. А. Михайлин, Е. С. Неретин, Е. М. Лунев, Д. В. Курмаков — Москва, издательство МАИ 2015.
5. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений. — М.: СИНТЕГ, 1998.
6. Шэнон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. — М.: Издательство «МИР», 1978.
7. Ефимов А. В. Планирование полета беспилотного летательного аппарата при мониторинге наземной обстановки в заданном регионе с учетом воздействия бокового ветра: диссертация кандидата технических наук. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, 2012.
8. Лебедев Г.Н., Румакина А. В. Нейросетевое планирование маршрута разнвысотного полета беспилотного летательного аппарата. Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 5. С. 3–8.
9. Лебедев Г.Н., Румакина А. В. Система логического управления обхода препятствий беспилотным летательным аппаратом при маршрутном полете. Труды МАИ. 2015. № 83. С. 5
10. M.R. Garey, D.S. Johnson, Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP Completeness, Freeman, San Francisco, 1979.
11. Лебедев Г.Н., Гришанин Ю. С., Липатов А. В., Степаньянц Г. А. Теория оптимальных систем. М.: МАИ, 1999.
12. Лебедев Г. Н. Методы принятия оперативных решений в задачах управления и контроля. М.: МАИ, 1992.
13. Лебедев Г.Н. и др. Теория оптимальных систем. М.: МАИ, 1999г, 317 стр.

© Гарин Алексей Владимирович, Муханов Владимир Иванович (alexlupandin2@mail.ru),
Ивлев Данила Витальевич (danila.ivlev@gmail.com), Финагин Дмитрий Сергеевич (fin.dmitriy1612@mail.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»