**ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГООБРАЗОВАНИЯ (АССОЦИАЦИЯ)**

**«КИСЛОВОДСКИЙ ГУМАНИТАРНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

Факультет Инженерный

Кафедра Систем автоматического управления

Направление Управление в технических системах

К защите допустить:

Зав. кафедрой\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_д.т.н., проф. Гайдук А.Р.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2017 г.

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

к выпускной квалификационной работе

На тему:

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ БЛА**

Руководитель работы: *д.т.н., проф. Гайдук А.Р.*

( должность, ученая степень и звание)

Консультанты:

по экономическому разделу *к.э.н. Курданов М.Д.*

по разделу безопасности и экологичности *Сербулова Т.Н.*

Студент (ка): Гочияева Мадина Асхатовна, гр.241

(фамилия, имя, отчество, группа)

Кисловодск 2017

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГООБРАЗОВАНИЯ (АССОЦИАЦИЯ)**

**«КИСЛОВОДСКИЙ ГУМАНИТАРНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

Факультет Инженерный

Кафедра Систем автоматического управления

Направление Управление в технических системах

**ЗАДАНИЕ**

на выпускную квалификационную работу

|  |  |
| --- | --- |
| **Гочияевой Мадине Асхатовне** | |
| 1. Тема проекта: | Система управления горизонтальными движениями БЛА |

утверждена приказом по вузу № 9 от 15.01.2017г.

2. Срок сдачи студентом законченного проекта 25.06.2017г.

3. Исходные данные к проекту: Синтезировать систему управления горизонтальными движениями БЛА. Система должна обеспечивать устойчивость полета, астатизм первого порядка; длительность переходного процесса не более 15с; переходный процесс без перерегулирования. Уравнение движения БЛА :

, ,

, ,

|  |
| --- |
| где  – отклонения координат и скоростей *i*-го БЛА по соответствующим осям координат; *m* – масса, а , – коэффициенты БЛА. |
| 3.1. Устройство управления реализовать на микроконтроллере и промышленных датчиках. |

4. Содержание пояснительной записки

|  |
| --- |
| 1. Роль БЛА в человеческом обществе. |
| 2. Разработка математической модели движения БЛА. |
| 3. Синтез устройства управления. |
| 4. Моделирование системы управления |
| 5. Реализация устройства управления. Выбор элементов. |
| 6. Безопасность и экологичность системы. |
| 7. Технико-экономическое обоснование системы. |
| 8. Заключение. |

9. Список использованных источников.

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных демонстрационных материалов)

|  |
| --- |
| 1. Математическая модель……………………………………………..(1 слайд). |
| 2. Синтез систем управления…………………………………………. (1слайд). |
| 3. Моделирование системы управления………………………………(1 слайд). |
| 4. Реализация устройства управления …………………………………(1 слайд). |
| 5. Безопасность и экологичность системы…………………………..(1 слайд). |
| 6. Технико-экономическое обоснование системы ………………….(1сдайд). |

1. Консультанты по работе (с указанием относящихся к ним разделов):

6.1. По разделу безопасности и экологочности Сербулова Т.Н.

6.2. По технико-экономическому обоснованию

к.э.н., доцент Курданов М.Д.

Дата выдачи задания 15.12.2016г.

Руководитель д.т.н. проф. Гайдук А.Р.

(подпись)

Задание принял к исполнению 15.12.2016г.

Подпись \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Гочияева М.А.

УДК 681.513.1: 621.396.946

Система управления горизонтальными

движениями БЛА

Выпускная квалификационная работа

Гочияева Мадина Асхатовна

КГТИ 11.03.01 И13-38ПЗ-17

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа(ВКР) содержит 99 листов,   
30 рисунков, 10 таблиц.

Ключевые слова: система управления, БЛА, движение, синтез, математическая модель, микроконтроллер, безопасность, экономическое обоснование.

Данная выпускная квалификационная работа посвящена разработке системы управления горизонтальными движениями БЛА.

В первом разделе проекта выводиться математическая модель объекта управления на основе заданных уравнений движения.

Во втором разделе синтезируется и исследуется система управления продольным и поперечным движением БЛА на постоянной высоте.

В третьем разделе моделируется система управления.

В четвертом разделе осуществляется реализация системы управления, описывается выбранный микроконтроллер и датчик.

Пятый и шестой разделы посвящены вопросам безопасности, экологичности и технико-экономическому обоснованию разработанной системы.

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ. 6

1. ОСОБЕННОСТИ БЛА, КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ. 11

1.1. Классификация БЛА по принципу полета… 11

1.2. Общие технические требования к комплексам БЛА. 17

1.3. Требования к составу комплекса с БЛА 24

1.4. Математическая модель БЛА 32

2. СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЛА 34

2.1. Задача синтеза системы управления БЛА. 34

2.2. Метод аналитического синтеза систем управления. 37

2.3. Синтез УУ продольным движением. 42

2.4. Синтез управления поперечным движением БЛА. 46

2.5. Разработка алгоритма предотвращение столкновений. 48

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ 51

3.1. Исследование линейных движений БЛА 51

3.2. Исследование алгоритма предотвращения столкновений БЛА 55

4. РЕАЛИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ………………………………….59

4.1. Программа сбора и первичной обработки аналоговой информации……59

4.2. Проверка на достоверность.......................................................................61

4.3. Классификация измерительных преобразователей................................66

4.4. Выбор контроллера для управления движением БЛА..........................68

5. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ..............................................................78

5.1. Безопасное применение системы………………………………………..78

5.2. Ограничения по углу атаки или коэффициенту подъемной силы……79

5.3. Экологичность работы……………………………………………………86

6.ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ……………………………….88

6.1. Маркетинговые исследования…………………………………………...88

6.1.1. Исследование спроса……………………………………………...88

6.1.2. Оценка конкурентоспособности………………………………….89

6.1.3. Подход к ценообразованию………………………………………89

6.2. Выбор аналога……………………………………………………………..89

6.3. Расчет интегрального технического показателя качества……………...90

6.4. Расчет полной себестоимости и отпускной цены изделия…………….91

6.4.1. Расчет расходов на оплату труда…………………………….......91

6.4.2. Расчет стоимости изделия………………………………………..91

6.4.3. Расчет основной заработной платы……………………………..92

6.4.4. Калькуляция полной себестоимости……………………….......92

6.4.5. Определение возможной рыночной цены………………………93

6.5. Расчет капиталовложений (расходы на разработку и внедрение в производство изделия)………………………………………………………… …….94

6.6. Расчет плановых финансовых результатов (выручки, прибыли)…….94

6.7. Расчет показателей экономической эффективности инвестиционной разработки……………………………………………………………………… ……...96

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ……………….97

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 98

# **ВВЕДЕНИЕ**

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) успешно применяется для решения все более широкого круга задач. В настоящее время БЛА используются: в лесном хозяйстве, в энергетике и связи, в МЧС а также в охранной деятельности. БЛА также используются военными для выполнения боевых задач, например, обнаружение позиций противника и его стратегических объектов, нанесение ударов по живой силе противника или по технике, что во многом упрощает ведение боевых действий.

В настоящее время существует множество определений о БЛА, но устоявшихся и более точных определений до сих пор нет. Вот представлены наиболее точно и подробно описывающее определения.

Беспилотный летательный аппарат (БЛА) — это летательный аппарат без экипажа на борту, способный самостоятельно перемещаться в пространстве для выполнения различных функций в автономном режиме (с помощью собственной управляющей программы) или с помощью дистанционного управления осуществляемого человеком оператором или с диспетчерского пункта управления.

Существуют БЛА различных типов по принципу создания подъемной силы: [реактивные](http://cyclowiki.org/w/index.php?title=%D0%A0%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D1%91%D1%82&action=edit&redlink=1), [пропеллерные](http://cyclowiki.org/w/index.php?title=%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D1%91%D1%82&action=edit&redlink=1) или [винтокрылые](http://cyclowiki.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%BB%D1%91%D1%82) аппараты. Существуют как мало заметные аппараты малых, компактных размеров, так и БЛА больших размеров, близких к самолётным размерам. Применяемые для разведки и аэрофотосъёмки БЛА могут маскироваться под птиц, в таком случае они называются «дрон». Преимущества БЛА заключаются в отсутствие пилота и систем для его жизнеобеспечения, управления и вывода информации, что позволяет реализовать БЛА меньших размеров. Обычно БЛА работает не отдельно, а в составе комплекса (). В этот комплекс могут входить центр управления полетами, диспетчерские пункты, ретрансляторы, станции подзарядки аккумуляторов, средства перевозки, запуска и посадки БЛА.

Беспилотные летательные аппараты могут быть дистанционно управляемыми или автономными. Дистанционно управляемые появились раньше, чем автономные. Полностью автономные беспилотные аппараты встречаются пока редко. На самом деле автономность не является полной: в основном оператор имеет возможность переводить его на ручное дистанционное управление или корректировать поведение аппарата в полете [1].

Беспилотные летательные аппараты классифицируются по среде их функционирования, которой может быть:

– космос (с подразделением на околопланетные орбиты, межпланетное пространство, атмосферу планет и поверхность планет);

– воздух (земная атмосфера);

– суша (городская дорожная сеть, рельсовые линии, пустыня, лес, горы, заснеженные поля и т.д.);

– водная среда (с подразделением на водную поверхность и подводное пространство);

– подземная среда (это подземные каналы и коммуникации, включая трубопроводы и скважины, а также неразработанную породу).

**Области применения БЛА**. В настоящее время беспилотные летательные аппараты широко применяются во многих странах мира для решения самых разных и достаточно сложных задач. Сфера применения БЛА практически не имеет границ.

Сферы использования БЛА разделяют по назначению на военные и гражданские. БЛА подразделяются вначале по укрупненным сферам использования, а именно – для научных целей и для прикладных целей; последние же подразделяются на БЛА для военного и гражданского применения (рис.1).

В научной сфере БЛА используются для получения новых знаний, причем не имеет значения то, из какой области эти знания и где они потом будут применены. Это могут быть испытания новой техники, в том числе исследование новых принципов полета или наблюдения за природными явлениями.

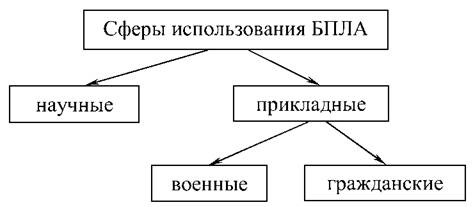


Рисунок 1– Укрупненное представление сфер применения БЛА

В гражданской области БЛА применяются практически в безграничном спектре. Отрасли и потребители услуг, предоставляемых с помощью БЛА, также самые разные: от сельского хозяйства и строительства до нефтегазового сектора и сектора безопасности, а также научные организации, рекламные компании, средства массовой информации. Ниже представлен перечень крупных групп назначений разнообразного использования гражданских БЛА.

* Строительство. В настоящее время в строительной сфере широко используются беспилотные летательные аппараты для аэрофотосъемки. Беспилотный летательный аппарат способен выполнить облет участка под застройку по заданным координатам на карте и сделать панорамные аэрофотоснимки, которые необходимы для дальнейшего проектирования коттеджного поселка или целого микрорайона. Многие строительные компании используют фотосъемку с воздуха на всех этапах строительства. Аэрофотосъемка и видеосъемка строящегося объекта позволяет застройщику объективно оценить выполненные работы, увидеть отклонения от задания и вовремя сделать необходимые изменения. Контроль строительных работ с помощью ДПЛА способен заметно увеличить темпы строительства и повысить качество.
* Сельское хозяйство. В сельском хозяйстве аэросъемка является одним из важнейших источников информации для проведения земельных работ. С помощью аэрофотосъемки определяются размеры полей, рельеф местности, расположение и контуры озер, рек, болот, проходящих рядом дорог. Кроме этого, беспилотный летательный аппарат способен сфотографировать состояние посева, его равномерность и густоту.
* Чрезвычайные ситуации, аварии и катастрофы. Беспилотные летательные аппараты способны оказать эффективную информационную поддержку с воздуха при чрезвычайных ситуациях, природных и техногенных катастрофах. БЛА с вертикальным взлетом и посадкой приводятся в готовность за максимально короткие сроки (5-10 мин). Это позволяет оперативно приступить к поисково-спасательным работам и координации действий наземных сил. Кроме наблюдения и передачи видеоинформации на пульт управления с места проведения работ, беспилотники вертолетного типа могут доставлять необходимые спасательные средства, медикаменты, продукты питания удаленным группам спасения и пострадавшим во время бедствия.
* Промышленная безопасность. На многих опасных производствах, например, в химической промышленности, аварийный выброс отравляющих веществ может привести к катастрофическим последствиям. Поэтому особое внимание на таких предприятиях уделяется промышленной безопасности. С появлением в продаже дистанционно пилотируемых летательных аппаратов меры безопасности можно значительно усилить. Беспилотник способен выполнить полет по запланированному маршруту в периметре опасного производства и автоматически вернуться в стартовую точку вылета. Оператор имеет возможность задать в программе полета поворотные пункты маршрута, с указанием того, какие замеры, отборы и другие действия необходимо произвести в каждой точке на территории предприятия.
* Страхование и оценка повреждений. Для того, чтобы оценить масштабы последствий ЧС, в последнее время, не редко применяют беспилотные летательные аппараты вертолетного типа с установленными на них техническими средствами для аэрофотосъемки и видеонаблюдения. Обследование наземной обстановки в режиме зависания над объектами позволяет детально изучить характер разрушений, оценить повреждения зданий и техники.
* Экологический мониторинг. В связи с открытием большого количества новых опасных производств, а также периодическим авариями на действующих предприятиях экологическая обстановка во всем мире не становится лучше. Поэтому одним из основных способов сохранения экологического баланса является дополнительный контроль производственной деятельности промышленных предприятий. Для этих целей во многих странах мира используются беспилотные летательные аппараты. С помощью камер видеонаблюдения они способны показывать обстановку на объектах в режиме реального времени, передавая всю информацию в центры экологического контроля.
* Энергетика. В мировой практике дистанционно пилотируемые летательные аппараты широко применяются для наблюдения линейных объектов топливно-энергетического комплекса. Ранее обследования трубопроводов выполняли с вертолетов, что является неоправданно дорогим занятием. Теперь эта функция выполняется беспилотными средствами авиации. С помощью специального оборудования, которое устанавливается на ДПЛА, производится поиск утечек газа, нефти и нефтепродуктов. Беспилотники способны обнаружить на ранней стадии дефекты трубопроводов (ТП), а именно, нарушение глубины залегания ТП, нарушение геометрических характеристик ТП и выход его на поверхность, обводнение трубопроводов. Такой воздушный контроль, в большинстве случаев, позволяет вовремя предотвратить возможные аварийные ситуации и избежать ликвидации их последствий.
* Недвижимость. Презентация земельных участков под застройку, готовых коттеджных поселков и построенных многоэтажных зданий с помощью аэрофотоснимков, сделанных в лучшем ракурсе, заметно повышает интерес у покупателей. Такой способ продажи недвижимости уже давно используется в риэлтерском бизнесе. С помощью дистанционно пилотируемого летательного аппарата можно очень быстро сделать качественные фотографии продающихся объектов с высоты птичьего полета. И к тому же это будет значительно дешевле, чем аэросъемка с вертолета или самолета. В дальнейшем полученные снимки используются при создании фотоотчетов, красочных рекламных буклетов, а также для эффективного продвижения и продажи строящегося жилья. Благодаря своим способностям, БЛА может зависать в воздухе над объектом и делать живописные, красивые панорамные снимки вида из окна на уровне любого, еще даже не построенного, этажа. Выгодная подача фото и видео материала позволяет произвести яркое впечатление на покупателей и инвесторов. В свою очередь, это дает возможность компании эффективно выделиться среди конкурентов и увеличить количество продаж.
* Архитектура. Аэрофотосъемка имеет ряд очень важных преимуществ по сравнению со съемкой архитектурных объектов с земли. Снимки, сделанные с помощью ДПЛА, позволяют охватить довольно большую площадь снимаемого участка. Высокая детализация фотоснимков архитектурного сооружения достигается за счет высококачественного оборудования, установленного на беспилотном аппарате. Качественная аэрофотосъемка позволяет выделить историческую достопримечательность на фоне других малозначимых объектов.
* Телевидение, кино и реклама. При съемке фильмов и телепередач часто требуются кадры, выполненные с воздуха. Эффективным и экономически целесообразным решением является использование на съемочных площадках беспилотных аппаратов. В Голливуде уже давно отметили преимущества беспилотников перед пилотируемой техникой и с их помощью сейчас снимаются многие современные кинокартины [4].

В данной работе необходимо проанализировать особенности БЛА как объекта управления, области применения БЛА. Далее разработать законы управления продольным и поперечным движением БЛА, а также законы группового управления БЛА. На основе этих законов разработать алгоритмы цифрового управления БЛА. Провести моделирование полетом БЛА и исследование синтезированных систем управления БЛА с применением компьютера и программного пакета MATLAB, а также реализовать устройство управления.

# **1. ОСОБЕННОСТИ БЛА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ**

**1.1 Классификация БЛА по принципу полета**

По этому критерию все БЛА можно разделить на 5 групп (первые 4 группы относятся к аэродинамическому типу):

* БЛА с жестким крылом;
* БЛА с гибким крылом;
* БЛА с вращающимся крылом;
* БЛА с машущим крылом;
* БЛА аэростатического типа.

В перечисленных пяти групп существуют различные гибридные подклассы аппаратов, которые по принципу полета трудно отнести к какой-либо из перечисленных групп. Существует множество БЛА, которые совмещают качества аппаратов самолетного и вертолетного типов.

**БЛА самолетного типа**

Принцип полета БЛА с жестким крылом или самолетного типа заключается в том, что подъемная сила аппарата создается аэродинамическим способом за счет напора воздуха, набегающего на неподвижное крыло. Аппараты такого типа, отличаются от других большой длительностью полета, большой максимальной высотой полета и высокой скоростью. На рис. 2 показан разведывательный БЛА RQ-4 GlobalHawk (Рис.2.). В носовой части фюзеляжа расположено радио-навигационное и локационное оборудование, связное и оптическое. Масса аппарата составляет 15 тонн, способен нести полезную нагрузку до 900 кг. Длительность полета составляет до 30 часов, а максимальная скорость составляет 640 км/ч.



Рисунок 1.1 – Разведывательный БЛА RQ-4 GlobalHawk

Для аппаратов самолетного типа обычно необходима взлетно-посадочная полоса (ВПП) (рис. 1.2а). Для некоторых типов при взлете используют стартовые катапульты (рис. 1.2б). Есть также самолетные БЛА легкого класса, запускаемые "с руки" (рис. 1.2в). При посадке может применяться ВПП, парашют (рис. 1.3) .



Рисунок 1.2а – Запуск БЛА со взлетно-посадочной полосы



Рисунок 1.2б – Запуск при помощи стартовой катапульты



Рисунок 1.2в – Ручной запуск БЛА

Рис. 1.2. Различные типы старта БЛА самолетного типа: а – запуск с ВПП;   
б – запуск с катапульты; в – запуск "с руки"



Рисунок 1.3 – Посадка БЛА с помощью парашюта

Взлеты и посадки классических БЛА самолетного типа – процесс довольно трудоемкий и затратный, требующий наличия специальных средств устройств запуска и посадки, поэтому разработчики новых БЛА чаще обращаются к аппаратам вертикального взлета и посадки. На рис. 1.4 показан пример кольцеплана «Air 250» – разработка ООО "Группа Эйр" (Россия, 2010)



Рисунок 1.4 – Кольцеплан «Air 250»

Это аппарат предназначен, в первую очередь для видеонаблюдения, причем диапазон работы очень широк от помещения внутри строений, лесных массивов, до горных ущелий и пещер: защищенность вентилятора корпусом-крылом делает эксплуатацию безопасной и устойчивой к контакту с препятствиями. Вертикальный взлет/посадка делают возможным применение БПЛА с ограниченных площадок и транспортных средств. Аппарат работает от двигателя внутреннего сгорания или с электромотором и аккумулятором и может развивать горизонтальную скорость до   
150 км/ч.

**БЛА с гибким крылом.** Рассмотрим модель БЛА с гибким крылом представляют собой летательные аппараты аэродинамического типа, в которых вместо несущего крыла используется эластичная конструкция, изготовленная в основном из полимерного материала (Рис.1.5). К БЛА данного класса можно добавить парапланы и дельтапланы. Беспилотный моторизованный параплан – аппарат на основе управляемого парашюта-крыла, снабжённый мототележкой с воздушным винтом для автономного разбега и самостоятельного полёта. Крыло имеет форму прямоугольника или эллипса. Крыло может быть мягким, иметь жесткий или надувной каркас. Их основное достоинство – экономичность. Они снабжены двигателями внутреннего сгорания и способны длительное время находиться над объектом, производя видеосъемку. Для запуска требуется площадка длиной 2-3 м для короткого разбега. Недостатком беспилотных моторизованных парапланов является трудность управления ими, так как навигационные датчики не имеют жесткой связи с крылом. Ограничение на их применение оказывает также очевидная зависимость от погодных условий. Также среди экономичности нужно отметить дешевизну таких БЛА.



Рисунок 1.5 – Беспилотный мотопараплан LEAPPType I

**Многовинтовые вертолеты (мультикоптеры)** в настоящее время применяются для решения следующих задач:

- обнаружение радио излучающей цели. Группа БЛА, каждая единица которой оснащена приемной аппаратурой, производит пеленгацию радио излучающего объекта. Информация, полученная с двух разнесенных антенн, позволяет при использовании фазового метода, определить положение объекта. И далее производит доразведку излучающего объекта.

- создание стереоскопических изображений больших площадей, за счет установки на два БЛА камер и их согласованных действий.

- борьба с сельскохозяйственными вредителями путём распыления специальных средств группой БЛА.

- трехмерное сканирование промышленных объектов. Данный вид работ применяется при проектировании реконструкции промышленных объектов, когда необходимы точные и актуальные пространственные данные, информация о геометрии реконструируемого производства.



Рисунок 1.6 – Схема многовинтового вертолета (мультикоптера)

Поставленные задачи, безусловно, являются актуальными, потому что, используя мультикоптерами, функционирующие по разработанным в рамках ВКР алгоритмам, планируется создать программно-аппаратный комплекс конкурентный на рынке и за счёт более низкой стоимости доступный значительному кругу потенциальных покупателей.

На сегодняшний день на рынке коммерческих многороторных БЛА представлено большое количество различных моделей не высокой стоимости, в первую очередь китайских производителей. Современные полетные контроллеры таких аппаратов, как правило, способны качественно выполнять наиболее востребованные у пользователей задачи: висение в точке по координатам ГЛОНАСС/GPS, возврат на точку взлета, автономный полет по заданному пользователем маршруту по карте, следование за объектом, обзор заданного объекта (полет по траектории в виде окружности вокруг точки).

Создание программно-аппаратного комплекса способного, используя реализованные производителями серийных БЛА базовые функции, гибко управлять группой подобных аппаратов является актуальной и перспективной задачей. Данный подход позволяет на порядок снизить затраты на создание летных единиц комплекса. С точки зрения практической эксплуатации использование серийных наработок позволяет создать конкурентоспособный программно-аппаратный комплекс, имеющий перспективу на рынке. Научную значимость представляют математические модели и алгоритмы взаимодействия БЛА в группе.

### Одновинтовая схема. Это летательный аппарат с приводным несущим винтом, который при подъеме аппарата вращается в горизонтальной плоскости. Вертолет движется горизонтально за счёт наклона плоскости вращения винта. Чаще всего используется классическая одновинтовая схема с хвостовым рулевым винтом. Реактивный крутящий момент у таких вертолетов уравновешивается рулевым винтом, расположенным на хвостовой балке на некотором расстоянии от оси несущего винта. Создавая тягу в плоскости, перпендикулярной вертикальной оси вертолета, рулевой винт компенсирует реактивный момент. Изменяя тягу рулевого винта, можно управлять вертолетом относительно вертикальной оси. Применение беспилотных вертолетов (мультикоптеров) наиболее целесообразно для выполнения узкопрофильных задач: детальной разведки района ЧС, объекта (группы объектов), осмотра отдельных элементов строений, сооружений, в том числе и внутри них, и оценки их состояния, определения маршрутов ввода наземных аварийно-спасательных сил и координации их действий с передачей информации в реальном масштабе времени на пункт управления. [8].

**1.2. Общие технические требования к комплексам БЛА:**

- обеспечение полной информационно-технической совместимости с системами связи и автоматизированными системами управления (АСУ);

- ведение воздушной разведки (мониторинга) с необходимой производительностью и разрешением на местности с передачей информации на пункт дистанционного управления (ПДУ) в реальном режиме времени в условиях прямой видимости:

- комплексы БЛА большой дальности и средней дальности (тяжелого и среднего класса) - на удалении не менее 250 км. от ПДУ;

- комплексы БЛА малой дальности (среднего класса) - на удалении не менее 100 км. от ПДУ;

- комплексы БЛА ближнего действия (малого класса) - на удалении не менее   
5 км. от ПДУ;

- возможность применения днем и ночью, в простых и сложных метеорологических условиях;

- сохранение работоспособности и аэродинамической устойчивости БЛА в условиях воздействия отрицательных факторов (метеорологических, радиационного и химического заражений, электромагнитного излучения);

- межкомплексная совместимость ПДУ в части обработки информации, обеспечиваемая применением унифицированных протоколов обмена данными, технических средств и программно-алгоритмического обеспечения, единых с системой управления принципов построения системы связи и передачи данных;

- открытая архитектура, модульность (блочность) построения (в т. ч. применение унифицированных модулей полезной нагрузки, предусматривающая возможность их замены, ремонта и модернизации в ходе эксплуатации);

- возможность управления БЛА и приема информации от них с использованием ретрансляторов (космических аппаратов связи двойного назначения, а также пилотируемой авиации, БЛА, аэростатов);

- использование высокоскоростных (с большой пропускной способностью), широкополосных, помехоустойчивых каналов связи для передачи данных и приема команд управления;

- возможность автоматического и автоматизированного управления БЛА и его целевой нагрузкой;

- возможность изменения маршрута и профиля полета БЛА при нахождении в воздухе;

- взаимная идентификация БЛА и ПДУ комплексов, работающих в одной зоне применения;

- автоматический (автоматизированный) взлет и посадка (возвращение в район посадки) БЛА;

- обеспечение рационального сочетания автоматического (программного) и автоматизированного (с участием человека) управления БЛА и его целевой нагрузкой;

- максимально возможная унификация процессов обслуживания комплексов, а также обучения расчетов БЛА;

- наличие программно-аппаратных средств, обеспечивающих тренажную подготовку расчетов БЛА без реального использования БЛА;

- мобильность и транспортабельность;

- использование отечественных комплектующих, при необходимости - с регламентированным использованием импортных, с возможностью их последующей замены на отечественные;

- оснащение бортовым оборудованием спутниковой навигации и наблюдения типа ГЛОНАСС и др.;

- оснащение сертифицированным по требованиям безопасности информации базовым и специальным программным обеспечением;

- обеспечение возможности защиты разведывательной (специальной) и телеметрической информации, циркулирующей в комплексах с БЛА, а также помехостойкости радиоканала управления БЛА криптографическими (либо иными) средствами, сертифицированными ФСБ России по соответствующему типу;

- техническое исполнение БЛА в герметичном варианте, позволяющее садиться на водную поверхность;

- наличие программного обеспечения, позволяющего управлять БЛА не только в ручном режиме, но и задавать полетное задание на выполнение работ с возможностью автономного функционирования с помощью средств спутниковой навигационной системы типа ГЛОНАСС;

- техническое исполнение системы питания БЛА должно обеспечивать не менее 2-2,5 часов работы;

- при проведении работ в зоне чрезвычайной ситуации грузоподъемность БЛА должны обеспечивать не только возможность установки навесного оборудования (камера, тепловизор, блок детектирования и.т.д.), но и иметь ресурс для транспортировки в зону элементарных средств спасения и медикаментов: как для пострадавших, так и для спасателей.

**Дополнительные требования к комплексам с БЛА**.К комплексам с БЛА большой дальности (тяжелого класса):

- продолжительность полета - не более 10 часов;

- использование смешанных и сменных целевых (полезных) нагрузок различного назначения (оптико-электронной разведки, радиационной, химической и биологической (РХБ) разведки, ретрансляции информации и радиосвязи, топогеодезического и навигационного обеспечения и др.);

- возможность использования существующей аэродромной сети;

- возможность работы по морским акваториям в автоматическом режиме;

- возможность транспортирования наземным, водным, воздушным и железнодорожным транспортом.

Для комплексов с БЛА средней дальности (тяжелого и среднего класса): продолжительность полета БЛА - не более 5 часов;

- использование сменных и смешанных целевых (полезных) нагрузок различного назначения (оптико-электронной разведки, РХБ разведки, ретрансляции радиосвязи, топогеодезического и навигационного обеспечения и др.);

- возможность транспортирования наземным, водным, воздушным и железнодорожным транспортом;

- возможность работы по морским акваториям в автоматическом режиме;

- возможность безаэродромного, аэродромного (старта) - посадки, в том числе с использованием автомобильных участков дорог в зависимости от предназначения комплекса с БЛА.

Для комплексов с БЛА малой дальности (легкого и малого класса):

- обеспечение продолжительности полета БЛА - до 3 часов;

- использование сменных и смешанных целевых (полезных) нагрузок различного назначения (оптико-электронной разведки, РХБ разведки, ретрансляции радиосвязи, топогеодезического и навигационного обеспечения и др.);

- минимально возможное количество наземного оборудования комплекса, возможность применения без использования стационарной наземной инфраструктуры для обеспечения взлета-посадки.

Для комплексов с БЛА ближнего действия (малого класса):

- продолжительность полета БЛА - не менее 1часа;

- использование сменных и смешанных целевых (полезных) нагрузок различного назначения (оптико-электронной разведки, ретрансляции информации, топогеодезического и навигационного обеспечения);

- компактность комплекса, возможность транспортировки на малотоннажных автомобилях или вручную (носимый комплект должен быть весом не более 16 кг. и иметь возможность запуска с использованием носимых катапульт (запуск с руки);

- сохранение работоспособности элементов комплекса после десантирования посадочным способом и парашютным внутри парашютно-десантной тары (штатной техники подразделений).

**Требования к бортовому оборудованию БЛА:**

- выдача информации об обнаруженных объектах в реальном режиме времени с копированием информации на бортовой накопитель;

- использование унифицированных каналов связи и передачи данных;

- определение с высокой точностью собственных координат БЛА в пространстве, направления и скорости движения;

- сохранение устойчивости функционирования в различных климатических условиях, в условиях РХБ заражения, повышенной турбулентности атмосферы;

- обеспечение применения целевых (полезных) нагрузок различного назначения; исключение непреднамеренных помех бортовым радиоэлектронным средствам при использовании целевых (полезных) нагрузок;

- обеспечение ведения объективного контроля.

**Требования к целевым (полезным) нагрузкам БЛА**

Полезная нагрузка - всё оборудование БЛА, кроме планёра и двигательной установки.

Целевая нагрузка (ЦН) - часть полезной нагрузки, предназначенная для решения определённых задач, должна быть модульной и взаимозаменяемой.

Требования к средствам разведки (мониторинга):

- высокие точностные характеристики определения координат объектов, в т. ч. подвижных;

- обеспечение ведения видовой разведки (мониторинга) в различных спектральных диапазонах без смены целевых нагрузок, радиолокационной и радиотехнической разведки воздушных, наземных и надводных целей (для комплексов с БЛА большой дальности (тяжелого класса) и средней дальности (тяжелого и среднего класса);

для комплексов с БЛА малой дальности (легкого класса):

а) обеспечение автоматического слежения за одним объектом (целью);

б) обеспечение ведения видовой разведки (мониторинга) в видимом и инфракрасном диапазонах спектра без смены целевых нагрузок, радиолокационной и радиотехнической разведки наземных и надводных целей;

в) обеспечение ведения видовой разведки (мониторинга) в видимом и инфракрасном диапазонах спектра (для комплексов с БЛА ближнего действия (малого класса).

**Требования к сменным модулям целевой нагрузки.** Для выполнения различных целевых функций БЛА снабжаются соответствующими целевыми модулями. К наиболее распространенным относятся.

**Модуль дневной гиростабилизации**. Модуль с гиростабилизированной оптико-электронной системой дневного диапазона работы с уровнем стабилизации не более 300 микрорад, позволяющим получить устойчивое высококачественное изображение при крене БЛА ±45°, а также поворот ТВ-средств по тангажу на углы от +75° до минус 45° и по крену в пределах ±175° с наличием цветной ТВ-камеры с CCD - матрицей не менее 450 ТВ Л (вертикальные телевизионные линии) и объектива с десяти кратным оптическим увеличением.

**Модуль ночной гиростабилизации**. Модуль с гиростабилизированной оптико-электронной системой ночного диапазона работы с уровнем стабилизации не более 300 микрорад, позволяющим получить устойчивое высококачественное изображение при 11 крене БЛА ±45°, а также поворот ТВ-средств по тангажу на углы от +75° до минус 45° и по крену в пределах ±175° с наличием тепловизора с неохлаждаемой матрицей и форматом элементов 640x512 и спектральным диапазоном   
8-12 мкм. При этом тепловизор должен обеспечивать инверсию цветов отображаемого изображения и его не менее чем 2-х кратное увеличение. 7.3. Модуль для получения фотоснимков с наличием цифрового фотоаппарата, содержащего матрицу не менее 11 млн. пикселей. При этом отснятые фотокадры должны сохраняться на карте памяти и быть привязаны к данным телеметрии, а также наличием цветной ТВ-камеры для предварительного обзора местности в интересующем направлении с разрешением не менее 420 ТВЛ.

**Модуль газоанализации**. (требования к применяемому газоанализатору обусловлены унификацией целевой нагрузкой и определяются в ходе проведения опытно-конструкторских работ).

### Модуль с индикатором радиоактивности. (требования к применяемому индикатору обусловлены унификацией целевой нагрузкой и определяются в ходе проведения опытно-конструкторских работ).

### Модуль целевой нагрузки для оповещения населения. (требования к применяемому индикатору обусловлены унификацией целевой нагрузкой и определяются в ходе проведения опытно-конструкторских работ).

### Модуль целевой нагрузки с ретранслятором для передачи радиосигналов.(требования к применяемому индикатору обусловлены унификацией целевой нагрузкой и определяются в ходе проведения опытно­ конструкторских работ).

### Посадочные (стыковочные) места модулей целевой нагрузки летательных аппаратов различных типов должны быть взаимозаменяемыми.

### Требования к аппаратуре для ведения РХБ разведки: обнаружение в автоматическом режиме РХБ заражения и передача регистрируемого сигнала (информации) на ПДУ; для комплексов с БЛА вертолетного типа - осуществление в автоматическом режиме отбора проб с объектов окружающей среды и атмосферных аэрозолей радиоактивных веществ, биологических агентов, отравляющих веществ и паров отравляющих веществ.

### Требования к аппаратуре топогеодезического обеспечения. Для комплексов с БЛА большой дальности (тяжелого класса): оперативное получение высокоточной геопространственной информации о местности на площади более 10 000 кв. км.

### Для комплексов с БЛА средней дальности. (тяжелого и среднего класса): оперативное получение высокоточной геопространственной информации о местности на площади более 2 000 кв. км.

### Для комплексов с БЛА малой дальности. (легкого класса): оперативное получение высокоточной геопространственной информации о местности на площади более 500 кв. км.

### Для комплексов с БЛА ближнего действия. (малого класса): оперативное получение высокоточной геопространственной информации на отдельные участки местности; оперативное обеспечение средствами функциональных дополнений спасательных формирований.

### Требования к ПДУ:

### прием, регистрация и отображение команд управления, передаваемых в АСУ;

### автоматизированное планирование применения БЛА;

### дистанционный контроль работоспособности БЛА при их подготовке к взлету (пуску);

### возможность внесения изменений в программу-задание БЛА и автоматизированного управления БЛА и установленной на борту целевой нагрузки на любом из этапов полета;

### прием от БЛА по радиолинии, регистрация и отображение траекторной и телеметрической информации (в том числе о работоспособности целевой нагрузки);

### сбор, отображение, анализ и автоматическая обработка данных, поступающих от целевой нагрузки БЛА;

### передача обработанных данных в системы управления, в том числе в потоковом режиме;

### простота, информативность и удобство работы со специальным программным обеспечением комплекса с БЛА;

### возможность управления БЛА ближнего действия и малой дальности (легкого,

### мало-го и мини класса) в движении;

### оборудование ПДУ на базе автомобиля повышенной проходимости с полным приводом.

### Требования к пунктам сбора и обработки информации

### Для приема, обработки получаемой от комплексов с БЛА больших объемов разведывательной информации и доведения ее до потребителей в масштабе времени, близком к реальному, создаются пункты сбора и обработки информации (ПСОИ) в составе ЦУКС.

### ПСОИ наземного базирования и должны обеспечивать:

### автоматизированное планирование применения и управление комплексами с БЛА;

### прием и автоматическую обработку информации от необходимого количества ПДУ и БЛА, находящихся в воздухе;

### управление целевой нагрузкой БЛА, находящихся в воздухе;

### выдачу информации потребителям;

### обеспечивать сопряжение с АСУ, системой разведывательно­-информационного обеспечения, системами связи.

### ПСОИ должны иметь открытую архитектуру, позволяющую увеличивать количество ПДУ и БЛА, от которых принимается информация.

### Требования к средствам ретрансляции для обеспечения применения комплексов БЛА.

### В качестве средств ретрансляции для обеспечения применения комплексов с БЛА могут использоваться космические аппараты связи двойного назначения, пилотируемая авиация, БЛА и аэростаты.

### Средства ретрансляции должны обеспечивать управление и прием информации от БЛА в реальном масштабе времени с использованием унифицированных каналов связи и передачи данных.[8].

### 1.3. Требования к составу комплекса с БЛА

### Комплекс должен быть устойчивым к химическим и радиационным воздействиям по нормам ГОСТ РВ 20.39.304-98 «Требования стойкости к внешним воздействующим факторам» и ГОСТ 21964-76 «Внешние воздействующие факторы. Номенклатура и характеристики».

### Типовой состав комплекса с БЛА должен включать следующие основные элементы:

### от двух и более БЛА с комплектом смененных целевых нагрузок различных типов;

### средства наземного (корабельного, воздушного) обеспечения пусков и эксплуатации БЛА;

### наземный пункт дистанционного управления БЛА - в стационарном (мобильном - на базе автомобиля повышенной проходимости с полным приводом) варианте;

### портативные (индивидуальные) терминалы, обеспечивающие прием информации от БЛА в реальном масштабе времени.

### БЛА включает в себя:

### носитель (планер);

### силовую установку (двигатель);

### пилотажно-навигационное оборудование (систему автоматического управления, интегральную инерциальную навигационную систему, встроенный спутниковый приемник (для комплексов с БЛА большой и средней дальности (тяжелого, среднего класса), бортовой накопитель полетной информации и др.); технические средства обеспечения взлета (посадки);

### комплекс средств связи и передачи данных;

### комплект унифицированных модулей полезной (целевой) нагрузки;

### бортовую навигационную аппаратуру потребителя навигационных спутниковых систем типа GPS, ГЛОНАСС и др.;

### аппаратуру автоматического зависимого наблюдения;

### средства объективного контроля и др.

### Состав средств наземного обслуживания (СНО) определяется с учетом класса и предназначения комплекса БЛА и должен включать средства:

### подготовки пуска и посадки БЛА;

### управления полетом, приема и обработки разведывательной информации, связи и передачи данных;

### программно-аппаратные, обеспечивающие тренажную подготовку расчетов;

### транспортировки и жизнеобеспечения.

### В состав ПДУ БЛА должны входить:

### автоматизированные рабочие места управления БЛА и целевой (полезной) нагрузкой, автоматизированной (автоматической) обработки получаемой информации;

### аппаратура обмена данными с БЛА (в том числе, сбора информации от целевой (полезной) нагрузки БЛА);

### аппаратура сопряжения с АСУ, системами связи.

### Требования надежности.

### Беспилотный авиационный комплекс (БАК) должен иметь следующие показатели надежности в условиях и режимах эксплуатации, установленных требованиями настоящего ТЗ:

### а) назначенный ресурс комплекса - 75 посадок или 100 летных часов - для каждого БЛА самолетного типа, и 75 посадок или 50 летных часов - для БЛА вертолетного типа;

### б) исполнитель должен гарантировать исправную работу оборудования в течение 12 месяцев с момента передачи БАК в эксплуатацию Гензаказчику;

### в) вероятность безотказной работы систем БЛА в полете не менее 0,95;

### г) ремонтопригодность должна обеспечиваться взаимозаменяемостью составных частей БАК из комплектов ЗИП.

### Требования к видам обеспечения.

### В состав общего и системного программного обеспечения комплекса должны входить операционные системы наземной станции управления, программные средства приема, обработки и отображения информации. Допускается применение ОС «Windows» и ОС «Linux».

### Требования к учебно-тренировочным средствам.

### Исполнитель разрабатывает комплект учебно-технических плакатов в соответствии с ГОСТ 2.605-68 «Единая система конструкторской документации. Плакаты учебно-технические» и учебный видеофильм продолжительностью не менее 30 мин, а также электронный учебно­ тренировочный комплекс (имитатор) для получения операторами летной практики.

### Требования к наземной станции управления (НСУ):

### НСУ должна быть, выполнена на базе промышленного защищенного ноутбука с программным обеспечением и интерфейсом, позволяющим отслеживать текущее положение БЛА на карте местности и контролировать его полет с помощью набора виртуальных инструментов.

### НСУ должна иметь ударопрочный пластиковый кейс со степенью защиты не ниже IP 54 для транспортировки использования и хранения, аналого-цифровой преобразователь, джойстик, трехканальный усилитель- распределитель видеосигналов.

### Технические требования к ноутбуку:

### не ниже процессор IntelCore i5 (или эквивалент);

### ОЗУ с объемом памяти не менее 4 Гб.;

### жесткий диск с объемом памяти не менее 500 Гб.;

### лицензионная операционная система Windows;

### степень защиты не ниже IP 54;

### лицензионная антивирусная программа.

### Наземная станция управления должна обеспечивать:

### в автоматизированном режиме: загрузку маршрута полета, полет по заданному маршруту, отслеживание текущих координат БЛА (широта, долгота, высота) и их отображение на картографическом фоне, возвращение БЛА в точку старта;

### в ручном режиме: взлет и посадку, получение команд управления от оператора, выполнение полученных команд, отслеживание текущих координат БЛА (широта, долгота, высота) и их отображение на картографическом фоне; в части самодиагностики БЛА в автоматическом режиме: диагностику состояния аккумуляторной батареи, диагностику состояния БЛА (получение данных о полете и их сохранение в базу данных на борту);

### в части формирования маршрута полета БЛА: отображение карты местности района полета, ввод, редактирование и сохранение маршрута полета, загрузку ранее сформированных маршрутов полета, загрузку сформированных маршрутов полета в БЛА;

### получение информации от полезной нагрузки на борту посредством подключаемых блоков радиопередачи.

### НСУ должна иметь возможность передачи видеоинформации в режиме реального времени с использованием внешних каналов связи (в комплект не входят).

### В состав наземных блок антенн должны входить:

### - двухканальный блок приемно-передающих антенн COFDM модуляции для приема видео изображения;

### - крепление на а/в и штатив с кабель удлинителем 10 м.

### Требования к программному обеспечению (ПО) планирования полета, управления БЛА, получения, обработки и записи видеоинформации:

### Программное обеспечение должно обеспечить:

### - составление полетного задания с учетом карты высот;

### - отображение местоположения БЛА на карте местности;

### - не менее 400 точек полетного задания;

### - совместимость всех БЛА вертолетного и самолетного типа со всеми НСУ и управление ими при помощи одной программы НСУ;

### - должно иметь рабочие версии под операционную систему Linux, под операционную систему Windows, и иметь возможность управления БЛА самолетного и вертолетного типа;

### - работать с картографическим материалом, представленным в формате SXF, JPEG, geoTIFF;

### - возможность загрузки карт с картографических серверов;

### - выполнение самодиагностики БЛА;

### - возможность записи получаемого изображения на жесткий диск НСУ программу для записи и анализирования полетных файлов;

### - программу эмулятор, позволяющая имитировать поведение БЛА, для самостоятельной подготовки и тренировки операторов, с возможностью выбора точки старта в любом месте, расположенном на территории Российской Федерации;

### - иметь версии под ОС Windows и Linux;

### - выгрузки полетного задания и телеметрии на внешний носитель информации;

### - резервные копии программного обеспечения НСУ на компакт-дисках;

### - загрузку полетного задания с внешнего носителя информации; одновременное хранения нескольких вариантов полетного задания для одного экземпляра БЛА;

### - трансляцию видео, поступающего с камеры, установленной на БЛА;

### - физическое разнесение компонентов на отдельные вычислительные машины: машина для подключения каналов связи с БЛА и машина, на которой функционирует пользовательский интерфейс оператора, взаимодействие между компонентами программного обеспечение должно быть возможно как внутри локальной сети, так и через сеть Интернет.

### Программное обеспечение НСУ для ОС Windows должно быть установлено на компьютер предприятием-изготовителем.

### НСУ должен иметь возможность выдачи информации на внешние устройства через выходы RCA PAL, RJ45.

### Пользовательский интерфейс программы должен быть на русском языке.

### Канал передачи данных и программное обеспечение должны обеспечивать безопасность и надежность информации.

### Требования к математическому, программному и информационно-лингвистическому обеспечению комплексов БЛА.

### Требования к математическому обеспечению:

### - совместно с аппаратурой должно обеспечивать выполнение требований назначения комплекса;

### - должно строиться по принципу открытой системы с возможностью наращивания и адаптации к решению новых задач;

### - должно разрабатываться с учетом требований ОТТ 2.1.37-2005 (пункты 2.1...2.4) на основе системотехнических решений, полученных в ходе выполнения комплексной целевой программы «Развитие базовых 17 информационных защищенных компьютерных технологий на период до 2016 года»;

### - должно реализовываться математическими методами, задаваемыми в постановках на основе утвержденных распорядительных документов и методик.

### Разработка новых постановок задач ведется в установленном порядке.

### Требования к программному обеспечению (ПО):

### ПО должно:

### - разрабатываться в соответствии с требованиями «Руководства по разработке программной продукции»;

### - обеспечивать реализацию процессов и функций, подлежащих автоматизации, в том числе поддержание информационного обмена с сопрягаемыми объектами;

### - представлять собой законченное программное изделие, оптимизированное в процессе разработки по составу и объему необходимых программных модулей и компонентов из исходного программного обеспечения разработки, обеспечивающее выполнение в полном объеме и с заданными характеристиками оперативности, достоверности, надежности и безопасности заданных функций в интересах должностных лиц и органов управления по функциональному предназначению и среде реализации комплекта ПО;

### - обеспечивать защиту информационно-вычислительного процесса от ошибочных действий оператора, а также обеспечивать сохранность введенной в систему информации при сбоях или отказах;

### - состоять из общего программного обеспечения (ОПО), общесистемного программного обеспечения (ОСПО), специального программного обеспечения (СПО) и технологического программного обеспечения (ТПО).

### В состав ОПО должны входить: операционная система (ОС), система управления базой данных (СУБД), телекоммуникационное абонентское ПО, средства геоинформационных систем (ГИС).

### (Примечание: в состав ОПО должны включаться только отечественные, сертифицированные по требованиям безопасности, ОС и СУБД.

### ОСПО должно обеспечивать автоматизированное выполнение следующих общесистемных функций:

### обработки командно-сигнальной информации;

### документооборота;

### обеспечения системных телекоммуникаций;

### геоинформационной поддержки;

### ведения компонентов единого информационного пространства;

### администрирования информационного и программного обеспечения;

### поддержки функционирования функциональных подсистем.

### СПО должно обеспечивать реализацию задач, содержание которых определяется спецификой предметной области.

### СПО должно иметь модульный принцип построения и обеспечивать возможность наращивания своего состава.

### Состав СПО определяется перечнем оперативно-тактических задач и моделей. Указанный перечень разрабатывается НИУ на этапе эскизно-технического проектирования, согласовывается с заинтересованными органами управления и утверждается Заказчиком.

### Постановки задач СПО разрабатываются на этапе эскизно­ технического проектирования НИУ, согласовываются с заинтересованными органами управления и утверждается Заказчиком.

### Разработка СПО должна осуществляться с учетом документации главных и генеральных конструкторов автоматизированных систем и подсистем управления звена управления.

### ТПО должно включать в себя средства программной инструментальной поддержки процессов создания, внедрения и сопровождения программного обеспече-

### ния.

### ПО должно быть сертифицировано по требованиям безопасности информации установленным порядком.

### Для режимов работы «боевой» и «учебный» должны быть предусмотрены собственные базы данных[9].

### Требования к информационному и лингвистическому обеспечению (ИЛО):

### ИЛО должно обеспечивать:

### - информационную и лингвистическую поддержку выполнения требований по автоматизации процессов и функций, реализуемых в средствах автоматизации комплекса;

### - возможность взаимодействия операторов расчета комплекса с БЛА со средствами автоматизации;

### - удовлетворение информационных потребностей расчета при выполнении возложенных на них функциональных задач при использовании средств автоматизации комплекса с БЛА;

### - поддержание информационно-вычислительного процесса;

### - информационную совместимость с вышестоящими органами управления и взаимодействующими объектами (перечень органов управления определяется Заказчиком).

### В состав информационных средств ИЛО должны входить:

### - формы входных и выходных сообщений для определения состава и формы представления должностным лицам комплекса оперативно­ тактической и военно-технической информации, используемой в средствах автоматизации комплекса с БЛА;

### - классификаторы оперативно-тактической и военно-технической информации, используемые в обработке данных средствами автоматизации; нормативно-справочная информация, составляющая нормативную и справочную базу средств автоматизации комплекса с БЛА;

### - информационная база, реализующая решения по объемам, размещению и формам хранения информации.

### Средства формализации информации должны обеспечивать возможность их использования при вводе и чтении формализованной информации.

### 1.4. Математическая модель БЛА

### При групповом управлении БЛА необходимо решать ряд сложных специфичных задач. Одной из таких задач является движение БЛА в определенном порядке, который обычно называют «строем». Для обеспечения целевого движения БЛА необходима система группового управления, которое обычно является распределенной, т.е. состоит из систем управления БЛА, входящих в группу. Эти системы управления строятся на основе математических моделей БЛА, описывающих их движения.

**Уравнения движения**. Рассмотрим группу, состоящую из нечетного числа БЛА, и будем предполагать, что ось *Оx* земной системы координат совпадает с направлением начальной траектории движения группы. В начальный момент времени продольные оси всех БЛА параллельны начальной траектории движения и совпадают с положительным направлением оси *Оx*. Ось *Оz* направлена вправо, а ось *Оy* вертикально – вверх.

Далее будем рассматривать горизонтальные () движения группы, начиная с момента, когда все БЛА группы набрали заданную высоту полета. Предположим также, что эти движения БЛА описываются следующей математической моделью, состоящей из уравнений в отклонениях от установившихся значений:

, , (1)

, , (2)

где  – отклонения координат и скоростей i-го БЛА по соответствующим осям координат;

*m* – масса,

, – коэффициенты БЛА.

Начальные условия: м,  м, , ;  м/с, , ;  – число БЛА в группе.

Таким образом, предполагается, что при  все БЛА группы имеют одинаковые скорости, располагаются на одной прямой, перпендикулярной к начальному направлению движения, на различных расстояниях друг от друга. В начале полета они должны переместиться на заданные, параллельные траектории, находящиеся на некоторых расстояниях друг от друга и далее некоторое время продолжать прямолинейное движение, с одинаковой скоростью. В процессе установившегося движения БЛА должны располагаются либо на одной прямой, перпендикулярной к направлению движения либо на заданных расстояниях от головного, т.е. двигаться в строю определенного вида.

### Для выполнения указанных движений БЛА, каждый из них снабжается специальным двухканальным устройством управления (УУ). В данной работе используются УУ, которые формируют управление по выходу и воздействиям для каждого канала БЛА и обеспечивает необходимый порядок астатизма [10].

### Задачей диссертации является разработка и исследование систем управления продольным и поперечным движением БЛА на постоянной высоте. При этом этапы взлета и набора заданной высоты в данной работе не рассматриваются, т.е. предполагается, что все БЛА группы уже набрали заданную высоту полета. Проектируемые системы управления должны обеспечить необходимое маневрирование на постоянной высоте.

### Кроме того необходимо разработать алгоритмов предотвращения столкновений БЛА при их полете на постоянной высоте.

# **2. СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЛА**

### 2.1. Задача синтеза системы управления БЛА

Как отмечалось выше, к началу решения задачи синтеза САУ объект управления, в данном случае БЛА, как совокупность исполнительного механизма, объекта и датчиков, обычно известен, т.е. известна его математическая модель. Поэтому задача синтеза заключается в определении структуры и параметров устройства управления (УУ), которое предназначено для придания замкнутой системе устойчивости и требуемых значений показателей качества. Задача синтеза САУ формулируется различным образом в зависимости от назначения системы, условий её функционирования и предполагаемого метода синтеза [20].

Рассмотрим постановку задачи синтеза одномерных систем управления, функционирующих в условиях регулярных (не случайных) воздействий. Требуемый закон изменения во времени управляемой переменной этих систем определяется задающим воздействием, а качество характеризуется обычно заданными прямыми показателями качества. Поэтому в данном случае целесообразно применить метод аналитического синтеза систем с управлением по выходу и воздействиям (АСС и УВВ) по прямым показателям качества. Синтез САУ этим методом проводится на основе модели заданной части или объекта управления в виде уравнения «вход-выход»:

, (3)

где  – управляемая переменная;

 – управляющее воздействие (управление);

 – неизмеряемое возмущение;

 – нормированный по старшей степени полином вида;,  – числа или полиномы общего вида. Коэффициенты всех полиномов в (3) имеют известные численные значения.

Далее будем предполагать, что объект управления (3) является полным.

Уравнение УУ всегда определяется используемым при синтезе САУ принципом управления. При использовании метода АСС и УВВ ищется уравнение «вход-выход» УУ в соответствии с «принципом управления по выходу и воздействиям», и сначала записывается следующим образом:

, (4)

где  – задающее воздействие замкнутой системы; ,

,  – полиномы, подлежащие определению.

Как видно, на вход УУ (4) подаются выход объекта, а также задающее воздействие. В данном случае возмущение  не подается на УУ, так как оно не измеряется. В общем же случае, когда к объекту управления приложены и измеряемые возмущающие воздействия, они также подаются на вход устройства управления, наряду с задающим воздействием. Поэтому устройство управления, описываемое уравнением (4), фактически, является многомерным устройством управления (МУУ), и реализует «управление по выходу и воздействиям».

Величина

### , (5)

где ,

,

, называется относительным порядком МУУ (4).

Эта величина связана с возможностью физической реализации уравнения (4), т.е. с возможностью построения такого реального, физического устройства, которое бы описывалось этим уравнением.

Практически, полиномы , ,  из уравнения МУУ (4) необходимо искать такими, чтобы их степени удовлетворяли следующему условию физической реализуемости:

, (6)

где – допустимое по условиям реализуемости значение относительного порядка синтезируемого МУУ.

Значение назначается при синтезе системы в зависимости от предполагаемого способа реализации МУУ и свойств технических элементов, используемых при этом. Например, относительный порядок безынерционного пропорционального звена с ПФ  равен нулю, а относительный порядок инерционного звена первого порядка с ПФ  равен единице.

Если реализация МУУ предполагается на широкополосных операционных усилителях, с помощью которых можно реализовать усилители, с передаточной функцией , то следует полагать 

Аналогично, если для реализации МУУ предполагается использовать вычислительные средства, способные осуществить все необходимые преобразования сигналов с датчиков и расчеты по двукратному вычислению (для исключения вычислительных ошибок) последующего значения управляющего воздействия за время одного периода дискретизации *Т*, то , если же для выполнения этих действий требуется  периодов *Т*, то .

Это связано с тем, что если некоторый дискретный элемент реализуется с помощью вычислительного устройства и его относительный индекс,то его передаточная функция имеет, например, вид . Ей соответствует разностное уравнение , т.е. для вычисления управления  необходимо иметь значение рассогласования , соответствующее этому же моменту времени. Это невозможно, т.к. между моментом измерения сигнала  и образованием с его использованием в цифровом вычислителе кода  всегда проходит некоторое время.

Если же передаточная функция некоторого УУ равна , где , т.е. , то разностное уравнение этого УУ будет иметь вид . Это значит, что для вычисления управления  вычислителем будет использоваться значение рассогласования, измеренное в более ранний момент времени . Интервал между моментом времени  и моментом  – моментом выдачи управления  на исполнение используется в цифровом МУУ, для преобразования сигналов и вычисления значения управления .

Рассматриваемый далее метод аналитического синтеза систем с управлением по выходу и воздействиям (АСС и УВВ) по прямым показателям качества позволяет создавать САУ с согласованными полюсами. Рассмотрим основные особенности синтеза систем указанным методом.

**2.2. Метод аналитического синтеза систем управления**

Очень часто для заданного объекта управления требуется найти МУУ так, чтобы замкнутая система имела:

- астатизм порядка  к задающему воздействию и – к возмущению;

- время регулирования не более с,

- перерегулирование не более %.

При этом относительный порядок МУУ должен быть равен назначенному значению .

Если в уравнении заданного объекта (1) полиномы , а , причем  и , то для обеспечения требуемых порядков астатизма  и  необходимо в МУУ дополнительно ввести

 (7)

чистых интеграторов (т.е. звеньев с передаточной функцией ). Здесь – это число нулевых корней полинома *A*(*p*) , а – это число нулевых корней полинома*H*(*p*) из уравнения объекта (5).

Чтобы ввести в МУУ чистых интеграторов, достаточно в (6) принять полином  в виде

, (8)

где – вспомогательный полином, причем, очевидно, что его степень . Вид и коэффициенты этого полинома уточняются ниже.

Очень часто процессы, протекающие в объектах управления, являются разнотемповыми, т.е. некоторые их составляющие протекают намного быстрее, чем требуется в синтезируемой системе управления, а некоторые – медленнее. Этим составляющим соответствуют различные значения постоянных времени в характеристическом полиноме объекта, представленном в виде произведения множителей вида  или , где .

Если характеристический полином объекта представлен в виде полинома типа (), то каждому множителю  соответствует его вещественный корень , а каждому множителю  – пара комплексно-сопряженных корней , где , а . Справедливы и обратные соотношения, т.е. каждой паре комплексно-сопряженных корней, например, , соответствует множитель , где , .

Как известно, каждая составляющая, соответствующая указанным корням  или , затухает за время не более . Поэтому, если характеристический полином объекта имеет множители , постоянные времени  которых намного меньше, чем , где  – требуемое время регулирования синтезируемой системы, то соответствующие корни  можно предусмотреть и в характеристическом уравнении замкнутой системы. Аналогично можно поступить, если соответствующие множителям  величины , намного меньше величины . Тем самым соответствующие составляющие процессов, протекающих в объекте управления, затухнут задолго до окончания переходных процессов синтезируемой системы, причем без влияния на них синтезируемого МУУ. Фактически этот прием позволяет реализовать принцип «наименьшего принуждения», предложенный В.В Солодовниковым и академиком А.А. Красовским.

С этой целью, прежде всего, на комплексной плоскости определяется область допустимого расположения корней характеристического полинома  синтезируемой системы, которая далее обозначается символом . В дальнейшем корни характеристического полинома  системы, для краткости, называются ее полюсами.

Область можно определить, например, условием , где  – желаемая степень устойчивости синтезируемой системы. Фактически, это значит, что если корни некоторого полинома  лежат в области , то его корни можно включить в число корней характеристического полинома синтезируемой системы . Для этого достаточно принять этот полином равным , где  – полином, корни которого назначаются, исходя из требуемых прямых показателей качества синтезируемой САУ. Принадлежность полюсов некоторого полинома  области обозначается либо символом , либо . В частности, полином  может включать множители  или  при указанных выше условиях.

В связи с этим при синтезе систем с согласованными полюсами, после определения области , проводится факторизация полиномов *A*(*p*) и *B*(*p*) из уравнения заданного объекта управления (7) относительно этой области. Она заключается в представлении этих полиномов в виде

, , (9)

где , ,  и  – полиномы, нормированные по старшей степени ;  – коэффициент при старшей степени  полинома *B*(*p*). Будем считать, что корни полиномов  и  равны тем корням полиномов *A*(*p*) и *B*(*p*), которые включаются в число полюсов синтезируемой САУ, а корни полиномов  и  равны остальным корням *A*(*p*) и *B*(*p*). Отметим, что в общем случае каждый из полиномов , ,  и  может быть равен 1.

Для включения корней полиномов  и  в число полюсов синтезируемой системы с учетом соотношений (6), (8) и (9) полагают

, ,

, (10)

где ,  – неизвестные пока полиномы степеней , , и , соответственно. При этом характеристический полином *D*(*p*) замкнутой системы (3), (5) принимает вид , где полином  определяется выражением

. (11)

Выражение (11) является полиномиальным уравнением, которое эквивалентно системе линейных алгебраических уравнений, относительно  коэффициентов полинома  степени  и  коэффициентов полинома  степени . Здесь и далее обозначено , , а . Обозначим также и введем обозначения:

,

,

,

,

. (12)

При этих обозначениях система линейных алгебраических уравнений, эквивалентная полиномиальному уравнению (11), имеет вид

. (13)

Используя условия физической реализуемости (4) и условия разрешимости системы алгебраических уравнений (13), найдём, что степени указанных выше полиномов определяются выражениями

, , ,

, . (14)

При указанных полиномах (10) передаточная функция замкнутой системы по задающему воздействию определяется выражением . При этом коэффициентами полиномов  степени  и  степени  задаются, в соответствии с требуемыми показателями качества синтезируемой системы. Для этой цели, удобнее всего, применять стандартные передаточные функции. Отметим, что сокращающиеся в передаточной функции  полиномы  и  описывают неполную часть замкнутой системы МУУ + объект. Как известно, неполная часть не влияет на переходные и установившиеся процессы системы, вызванные внешними воздействиями.

Порядок выбора коэффициентов полиномов  и  с применением стандартных передаточных функций зависит от вида  в представлении (9) полинома  из уравнения объекта (3) и сводится к следующим действиям.

Если полином , то по заданному порядку астатизма , степени  и перерегулированию % из указанных таблиц стандартных передаточных функций выбираются коэффициенты  и величина . Затем вычисляются коэффициенты  полинома  (10) по формуле

, , (15)

где , составляется и решается в MATLAB система (13). По найденным коэффициентам  и  записываются полиномы ,  (12), а затем по формулам (10) – и полиномы , .

Полином ** из (10) определяется по формуле

. (16)

Если полином , то после выполнения описанных выше действий при несколько меньших значениях % и , по передаточной функции строиться переходная функция. Если перерегулирование или время регулирования, найденные по этой переходной функции, превышают допустимые значения, то изменяются коэффициенты  передаточной функции  до тех пор, пока значения указанных величин не будут удовлетворять требованиям. Найденные таким образом коэффициенты  полинома  подставляются в систему (13), а полином  в (10).

Таким образом, метод АСС и УВВ позволяет по выражениям (6) – (16) найти все полиномы искомого МУУ и записать его уравнение (4). Для технической реализации МУУ от уравнения «вход-выход» (4) переходят к его уравнениям в переменных состояния, с применением соотношений канонической наблюдаемой формы.

Рассмотрим на численном примере порядок синтеза САУ с согласованными полюсами методом АССУВВ с применением ПЭВМ и пакета MATLAB.

**2.3. Синтез УУ продольным движением**

Для решения этой задачи применяется рассмотренный выше аналитический метод, в соответствии с которым уравнение УУ сначала берется в виде

, (17)

где  – управление, задающее воздействие и выходная (управляемая) переменные замкнутой системы управления – начальные значения управления, задающего воздействия и управляемой переменной;  – полиномы, степени и коэффициенты которых определяются исходя из требований к астатизму, быстродействию, перерегулированию и колебательности, а также условий физической реализуемости УУ.

Обозначим  степень некоторого полинома. Тогда условия реализуемости УУ (15) можно записать следующим образом:

, , (18)

где – относительный порядок УУ, определяемый техническими средствами, на основе которых предполагается его реализация.

При движении в установившемся режиме с постоянной скоростью вдоль оси *Ox* всех рассматриваемых БЛА выходные переменные  их систем управления по каналам , т.е. координаты является линейными функциями времени . В связи с этим для обеспечения в этом режиме заданного расстояния между отдельными БЛА, порядок астатизма их систем управления по координате  должен быть одинаковым и равным двум, т.е. .

На основе (1) запишем уравнение канала  БЛА в операторной форме

, (19)

где . Уравнение канала  замкнутой системы (15), (17), очевидно, имеет вид

, (20)

где

. (21)

– задающее воздействие по координате *i*-ого БЛА.

Как известно, для обеспечения второго порядка астатизма по  необходимо, чтобы полином  в уравнении (20) имел, по крайней мере, два коэффициента, т.е.  [19]. Примем , тогда из условия реализуемости УУ (1) при  следует, что можно взять . При этом по (20), (21) степень характеристического полинома  замкнутой системы . Полиномы  и  определяются решением полиномиального уравнения (21) при, где – назначенный по требованиям к качеству системы полином. Уравнению (21) соответствует линейная система из  алгебраических уравнений, в которой неизвестными являются коэффициенты полиномов  и  [10, 11]. Число этих коэффициентов равно . Так как , т.е. . Указанная линейная система из  уравнений будет иметь решение, если выполняется условие . Из этого условия следует, что .

Далее, в соответствии с применяемым аналитическим методом синтеза, необходимо выбрать коэффициенты  стандартной передаточной функции, степень знаменателя которой равна . Судя по известным таблицам коэффициентов стандартных передаточных функций (СПФ) [13], астатизм второго порядка при  можно обеспечить с перерегулированием 10%, при стандартных коэффициентах: , , , , . Коэффициенты ,  желаемого характеристического полинома  вычисляются по формулам , , где , где – длительность переходного процесса в системе, имеющей стандартную передаточную функцию. Эта величина указывается в таблице наряду с коэффициентами . Выбранным выше коэффициентам соответствует  с [13]; – желаемая длительность переходных процессов в проектируемой системе управления по каналу .

Таким образом, , а коэффициенты желаемого характеристического полинома равны , ; ; ; . Учитывая найденные выше степени полиномов  и , положим , а . Тогда согласно [10, 11] полиномиальному уравнению (21) при соответствует следующая система линейных уравнений:

. (22)

Следовательно, с учетом решения системы (22) и указанных выше равенств для коэффициентов , полиномы  и  из уравнения УУ (17) по каналу  определяются выражениями:

;

. (23)

По условиям астатизма второго порядка к задающему воздействию (в данном случае ) необходимо, чтобы два коэффициента полинома  в уравнении (20) были равны двум последним коэффициентам полинома  [10], т.е. . Отсюда следует, что , т.е. с учетом (22) и (23) полином .

Подставляя найденные полиномы в уравнение (17) и принимая во внимание, что в канале , , а , получим уравнение «вход-выход» искомого УУ:

, (24)

где .

Для построения алгоритма управления перейдем к уравнениям в переменных состояния (предварительно умножив обе части на). Применяя соотношения канонической наблюдаемой формы [10, с. 347], будем иметь:

,

,

, . (25)

На основе этих уравнений разработан алгоритм вычисления на микроконтроллере значений управлений . Данный алгоритм описывается следующими математическими выражениями:

,

,

, . (26)

Соотношения (26) представляют собой алгоритм работы цифрового устройства управления продольным движением*i*-го БЛА, который реализуется микроконтроллером продольного канала. Желаемая длительность переходных процессов  является, очевидно, параметром данного УУ. Изменяя значения  можно изменять максимальные перегрузки (ускорения), которые будут возникать при резком изменении скорости движения БЛА[10].

### 2.4. Синтез управления поперечным движением БЛА

Имея ввиду,тот же метод синтеза [13] что и выше, примем порядок астатизма системы к задающему воздействию в данном случае равным единице, т.е. , а . Уравнение поперечного движения (4) в операторной форме имеет вид аналогичный уравнению (19). Примем, что искомое УУ и в этом случае описывается уравнением (17) с соответствующими заменами переменных и обозначений полиномов. Поэтому уравнение замкнутой системы и выражения для характеристического полинома , также аналогичны выражениям (20), (21), причем в соответствии с уравнением (21) .

При этом полиномы  и  из уравнения УУ по координате , которое аналогично (15), определяются решением полиномиального уравнения,

, (27)

которое аналогично уравнению (9)[15]. Здесь – полином, назначенный по требованиям к качеству системы управления по координате *i*-го БЛА. Линейная система, соответствующая уравнению (27), содержит, очевидно,  алгебраических уравнений и  неизвестных коэффициентов. В данном случае примем величину , поэтому, полагая , найдем . Тогда из условия  выводим . При этом , , а, т.е. .

В соответствии с таблицами коэффициентов стандартных передаточных функций астатизм первого порядка при можно обеспечить без перерегулирования, при стандартных коэффициентах: , , ,  и  [13]. Вычисляя коэффициенты ,  желаемого характеристического полинома  по той же, что и выше формуле , где , получим: , ; ; . Так как , то положим , а . Тогда полиномиальному уравнению (27) будет соответствовать система:

. (28)

Решение системы (28) с учетом выражений для коэффициентов  дает:

; . (29)

По условию астатизма первого порядка в соответствии с уравнением, аналогичным выражению (18), в данном случае должно выполнятся условие  [10, с. 164]. Отсюда выводим . Наконец, подставляя найденные полиномы в уравнение (1.15), получим

,

. (30)

где – заданное значение координаты *i*-го БЛА.

Уравнению вход-выход (30) УУ по координате *i*-го БЛА соответствуют следующие уравнения в переменных состояния:

,

, , (31)

Алгоритм работы микроконтроллера канала поперечного движения БЛА, вытекающий из уравнений (31) определяется выражениями:

,

, , (32)

где – рассогласование поперечного канала.

### Итак, система управления плоским движением каждым БЛА включат два УУ: одно из них реализует управление продольным движением БЛА, а второе – поперечным движением[11].

**2.5. Разработка алгоритма предотвращение столкновений**

При выполнении маневров в некоторых случаях траектории БЛА могут пересекаться, что может привести к столкновениям БЛА. Поэтому в системы группового управления БЛА включаются алгоритмы предотвращения столкновений БЛА. В рассматриваемом случае все БЛА группы совершают движения в одной плоскости, поэтому они не могут избежать столкновения путем изменения высоты полета. В связи с этим в данной работе предлагается логический алгоритм предотвращения столкновений БЛА в горизонтальной плоскости. В основе этого алгоритма лежит условие прихода БЛА в точку пересечения траекторий в разное время. С этой целью скорость одного из БЛА, которые могут столкнуться, увеличивается, а другого – уменьшается.

Этот алгоритм активируется в системах группового управления тех пар БЛА, расстояние между которыми стало меньше , где – допустимое расстояние между БЛА,  – коэффициент запаса, назначаемый исходя из динамики БЛА. Для описания указанного алгоритма введем дополнительные переменные:

, , . (33)

, (34)

, , (35)

где  и – расстояние между *i*-м и *j*-м БЛА и скорость изменения этого расстояния. Алгоритм предотвращения столкновений включает следующие условия:

1. В течении всего времени полета системы управления каждого БЛА определяют указанные величины по формулам (29) – (30) [14].

2. Предполагается, что после набора высоты (при ) выполняется условие , при этом полагается , .

3. Если при некотором  выполнится условие  и , то запоминаются значения  и , и изменяются соответствующие величины . При этом:

3а. Если , т.е. *i*-й и *j*-й БЛА вдоль оси *z* движутся в одном направлении, то для предотвращения столкновения изменяется задающее воздействие по координате *z* «догоняющего» БЛА так, чтобы точку пересечения своих траекторий *i*-й и *j*-й БЛА прошли в разные моменты времени. С этой целью

если  и , то  и ;

если  и , то  и ;

если  и , то  и ;

если  и , то  и .

3б. Если же , т.е. *i*-й и *j*-й БЛА вдоль оси *z* движутся навстречу друг другу, то для предотвращения столкновения также изменяются задающие воздействия по координате *z*обоих БЛА так, чтобы точку пересечения своих траекторий *i*-й и *j*-й БЛА прошли в разные моменты времени, т.е.

если , то , , .

Далее БЛА продолжают движение при новых заданных значениях до тех пор, пока расстояние между ними не станет больше . Тогда

если  и , то

, , , .

Таким образом, алгоритмы управления продольным и поперечным движениями группы БЛА, а также алгоритм предотвращения столкновений найдены. Однако, прежде чем их применять в реальных системах управления необходимо в том, что они корректны. Проверка этого свойства в данной работе осуществляется путем моделирования с применением пакета MATLAB[12].

**Заключение**. Аналитический метод синтеза систем с управлением по выходу и воздействиям позволяет проектировать системы управления с желаемыми показателями качества как в установившемся, так и в переходном режиме. При этом имеется возможность автоматической перенастройки динамики систем управления, путем задания одного параметра системы.

# **3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

### 3.1. Исследование линейных движений БЛА

### С целью изучения свойств синтезированных систем управления продольным и поперечным линейным движением БЛА проведено компьютерное моделирование соответствующих систем управления, которые описываются выражениями: (3), (13) и (4), (18). Моделирование движений группы БЛА проводилось при следующих условиях , начальные значения координат по оси x:, м/с; по оси z: , , . При этом моделировались различные режимы.

**I. Выход на заданные курсы в автономном режиме**, т.е. каждый БЛА маневрирует независимо от других.При этом они должны двигаться, находясь на одной прямой перпендикулярной к направлению движения. В этом случае: м, ;  м;  м;  м; при  м,  м, м. По окончании переходных процессов все БЛА движутся на одной прямой, перпендикулярной к оси *Ох*.

Соответствующие графики изменения координат  и ускорений  при допустимом поперечном ускорении до 10g, возникающем при с приведены на рис. 3.1.На этом и всех последующих рисунках цифрами 1, 2, 3 обозначены переменные 1-го, 2-го и 3-го БЛА, соответственно. Аналогичный вид имеют эти графики и при других начальных условиях.



а)



б)

Рисунок 3.1 – Автономное движение: а) координаты ; б) ускорения 

Отметим, что время выхода БЛА на заданные траектории определяется в основном допустимым ускорением. На рис. 3.2 представлен график зависимости максимального ускорения, действующего на 1-й БЛА от продолжительности маневра (рис. 3.1) без учета в законе управления (18) ограничения на ускорение. При этом ускорения, равные управлениям БЛА, изменяются, как показано рис. 3.1б.

Как видно, на рис. 3.2 при малой продолжительности  маневра (высоком быстродействии системы управления) ускорение может достигать значительных величин. Естественно, эти большие ускорения могут быть достигнуты только при наличии высокой энерговооруженности (достаточно мощных двигателях) БЛА.

Максимальная допустимая перегрузка составляет 10g, но на примере БЛА, который используется, максимальная нагрузка аппарата составляет ≈ 7g. На рис. 3.2 изображено изменение перегрузки за определенное время, что свидетельствует о сильном скачке в скорости аппарата, который может от сильных перегрузок прийти в неисправность или из-за большой нагрузки возможно уничтожение и потеря БЛА.

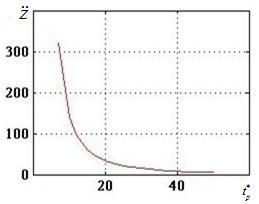


Рисунок 3.2 – Зависимость ускорений БЛА от времени маневра

В дальнейшем параметры  и  принимались такими, чтобы ускорения БЛА не превышали допустимого значения в м/c.

**II.Выход на заданные курсы с ведущим** с последующим движением на одной прямой, перпендикулярной к оси *Ох*. Здесь они также должны двигаться, находясь на одной прямой перпендикулярной к направлению движения. В этом случае задающее воздействие для систем управления поперечным движением ведомых первого и третьего БЛА вычисляется в зависимости от текущего значения координаты  ведущего второгого БЛА. При моделировании полагалось:  м, ;  м,  м, м, по-прежнему, а  м;  м;  м.

Соответствующие, графики при приведены на рис. 3.3. В данном случае наблюдается перерегулирование (рис. 3.3,а), что объясняется, одновременностью выполнения маневров ведущим и ведомыми БЛА. При более быстром выполнении маневра ведущим БЛА, по сравнению с ведомыми (за счет установки в УУ 2-го БЛА меньшего значения параметра  по сравнению с  и ), перерегулирование исчезает, как видно на рис. 3.3.



а)



б)

Рисунок 3.3 –Движение «с ведущим – 2-м БЛА»: а) координаты ; б) ускорения 



Рисунок 3.4 – Движение с ведущим – 2-м БЛА при и 

**III.Выход на заданные курсы с ведущим** с последующим отставанием по координате *х* ведомых БЛА от ведущего (2-го БЛА) на заданное расстояние . Практически в этом случае БЛА должны двигаться «клином», при чем, 1-й и 3-й БЛА должны отставать от 2-го БЛА на заданное расстояние. В этом случае:  м,  м,  м;  м;  м;  м;  м,  м, м. Заданное расстояние . Проекции траекторий БЛА на горизонтальную плоскость *xOz* в этом случае при  и  приведены на рис. 3.5. На рисунке хорошо видно, что в установившемся режиме ведомые 1-й и 3-й БЛА отстают от ведущего 2-го БЛА на заданное расстояние[16].



Рисунок 3.5 – Проекции траекторий БЛА на горизонтальную плоскость

На рис. 3.5 видно, что ведомые аппараты под номерами 1 и 3 прошли перерегулирование и движутся, находясь на одной прямой перпендикулярной к направлению заданного движения в установившимся режиме. Ведущий БЛА под номером 2 движется на заданном установившемся расстоянии от ведомых БЛА.

На основе полученных графиков, которые получили при помощи компьютерного моделирования, можно сделать следующие выводы. При выходе на заданный курс в автономном режиме, каждый БЛА независимо друг от друга маневрирует по своей заданной траектории. Каждый БЛА выходит на курс с разным ускорением, но в процессе полета группа БЛА принимает заданный строй.

**3.2. Исследование алгоритма предотвращения столкновений БЛА**

Об эффективности работы предложенного алгоритма предотвращения столкновений можно судить по графикам, приведенныминиже. Здесь начальные условия: м, м, м; м; м; м; м, м, м. Заданные расстояния по координате х: м, допустимое расстояние м, . При этих условиях возможно столкновение 2-го и 3-го БЛА, так как их траектории пересекаются. Период возможного столкновения показан в виде пунктирного прямоугольника. Это хорошо видно на рис. 3.6 и, в укрупненном масштабе, на рис. 3.7 и рис. 3.8[17].



Рисунок 3.6 – Пересечение второго и третьего БЛА

Моделирование полета группы, позволило установить, что когда с расстояние  между вторым и третьим БЛА, как видно на рис. 3.7 и рис.3.9, становится меньше допустимого значения  м, причем , а . Поэтому, в соответствии с алгоритмом предотвращения столкновений при  (на рис. 3.7 этот момент отмечен окружностями), изменяются заданные значения  2-го и 3-го БЛА.



Рисунок 3.7 – Точки пересечения траекторий БЛА

На рис. 3.7, окружностями отмечены БЛА, их траектории движения пересекаются на высоте приблизительно 4080м. Аппарат номер 2 движется на снижение, а аппарат номер 3 набирает высоту. Благодаря разной силе ускорения вероятность столкновения практически становится равной нулю.



Рисунок 3.8 – Пересечение в укрупненном масштабе.

На данном рисунке 3.8, 2 БЛА пересекаются в точке, что бы выйти на заданные траектории. В данном случае большую роль играет сила ускорения, их скорость в этот момент разная и поэтому точку предполагаемого пересечения они пройдут по очереди, тем самым избежав столкновения.

Работа алгоритма приводит к некоторой задержке второго БЛА, в результате чего 2-й и 3-й БЛА проходят точку пересечения их траекторий в разные моменты времени. На рис. 3.7 крестиками показаны положения 2-го и 3-го БЛА в момент прохождения 2-м БЛА точки пересечения их траекторий. Как показывает рисунок 3.7скорость 3-го БЛА гораздо выше, чем 2-го. Изменения расстояния между 2-м и 3-м БЛА показано на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Работа алгоритма предотвращения столкновений

На этом рисунке видно, что при уменьшении расстояния срабатывает алгоритм предотвращения столкновения и буквально за 2 секунды меняется скорость одного из аппаратов. Далее, на графике кривая устремляется вверх, что свидетельствует о быстром отдалении БЛА друг от друга. Согласно этому рисунку алгоритм предотвращения столкновений отключается прис и БЛА переходят к реализации исходных установок.Метод позволяет решить задачу перехода группы БПЛА из одной заданной формации в другую при минимизации временных и прочих затрат, но без контроля безопасности передвижения БПЛА в процессе перестройки.

# **4. РЕАЛИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ**

**4.1 Программа сбора и первичной обработки аналоговой информации**

В состав УУ каждого канала входят следующие элементы:

* датчики;
* линии связи;
* устройство связи с объектом;
* микропроцессор;
* усилитель.

Сигналы, полученные с датчика, как правило, содержать помехи, поэтому они должны подвергаться некоторой обработке. Программа обработки сигналов приведена на рисунке 4.1

Данная блок-схема показывает каким процедурам подвергаются сигналы датчиков в процессе опроса и первичной обработки.

На начальном этапе выбирается датчик. При проверки времени опроса одного датчика, проверяется условие tp=Tопрi. Если условие выполняется, то сигнал поступает в подпрограмму аналогового сигнала. В противном случае выбирается модификация датчика.

После подпрограммы аналогового сигнала, сигнал проверяется на условие проверки достоверности. Если сигнал не нуждается в проверке, то он поступает на цифровую фильтрацию. Если имеется условие проверки на достоверность, сигнал поступает в подпрограмму проверки. И если он достоверен, то переходит к цифровой фильтрации. В противном случае он поступает на подпрограмму сигнализации печати аварии, после чего происходит модификация номера датчика.

После окончания цифровой фильтрации сигнал поступает на проверку на технологические границы. Если сигнал не требует данной проверки, то он поступает в засылку результатов в выходной массив данных. Если же все-таки проверка на технологические границы необходима, то сигнал проверяется по отклонениям. После чего поступает в засылку результатов в выходной массив данных.

нет

нет

нет

нет

нет

Установить номер датчика i=1

Проверить время опроса первого датчика

tр=tопрi

Подпрограмма аналогового сигнала

Есть проверка на достоверность

Подпрограмма проверки на достоверность

Необходима цифровая фильтрация

Подпрограмма цифровой фильтрации

Необходима проверка на технологические границы

Подпрограмма проверки по отклонениям

Засылка результатов в выходной массив данных

Сигнал достоверен

Подпрограмма сигнализации печати аварии

Проверка конца списка датчиков i>N

Выход

Вход

Модификация N датчика

Рисунок 4.1 – Блок-схема программы сбора и первичной обработки аналоговых сигналов

На следующем этапе сигнал поступает на модификацию номера датчика, и проверяется конец списка датчиков. Если список не закончился, то сигнал переходит к началу алгоритма, только на новом датчике. Если же датчик был последний, то сигнал поступает на выход.

**4.2 Проверка на достоверность**

Эта проверка служит для своевременного обнаружения ложных, недостоверных сигналов в каналах измерения. Сигнал с датчика может быть недостоверным по следующим причинам:

* датчик вышел из строя;
* возникла импульсная помеха;
* произошел сбой в канале связи.

Проверка на достоверность осуществляется чаще всего путем слежения за скоростью изменения измеряемой величины. Это объясняется тем, что большинство технологических процессов в нормальном режиме протекают медленно, переменные изменяются с небольшой скоростью.

В тоже время при возникновении любых неисправностей в канале измерения происходит резкое изменение выходного сигнала. Поэтому скачки, то есть резкое изменение скорости выходных сигналов, принято считать признаками недостоверности сигналов.

В цифровых системах все датчики опрашиваются с некоторым периодом Топрi. Интервал контроля Тνi по скорости *v*i изменение переменной i-го датчика обычно больше периода опроса этого датчика. Это необходимо для того, чтобы получить более достоверную информацию о скорости изменения выходной величины i-го датчика, а также для того, чтобы исключить неверные сообщения о неисправности датчика из-за влияния случайных помех.

Обычно сообщение о недостоверности сигнала датчика выбирается при многократном, последовательном превышении допустимого значения скорости изменения измеряемой величины. Другими словами, после первого сигнала о нарушении достоверности проверку значения скорости повторяют еще два раза, но уже на каждом опросе датчика, то есть с периодом Топрi.

допустимые значения скорости

Тνi

Топрi

t2

t1

t

t

| *v*i |

сигнал о недостоверности данных i-го датчика

Рисунок 4.2 – Проверка на достоверность

Как видно, ни после первого, ни после второго превышения допустимого значения скорости переменной система ни вырабатывает ни какого сообщения. Вместо них используют достоверные данные (последние). При трехкратном превышении система вырабатывает сигнал об ошибке.

Аналитически условие формирования этого сообщения выглядит следующим образом.

«Данные i-го датчика недостоверны», если:

,

,

В противном случае это сообщение не формируется. Здесь tk- последний момент проверки скорости, когда сигнал с i-го датчика считается достоверным;   
 - допустимое приращение измеряемой величины за время .

В моменты появления сомнительных данных в расчетах используются последние достоверные значения этой переменной.

Фильтрация сигналов датчиков.

Элементы автоматизированной информационно-управляемой системы (АИУС) и датчики всегда работают в условиях интенсивных помех создаваемых технологическим оборудованием. Поэтому сигналы с датчиков всегда сопровождаются случайными помехами. Среднее значение этих помех=0. Помехи, имеющие не нулевое среднее значение, создают системную ошибку датчика. Эта ошибка, как правило, определяется конструктивно.

Чаще всего системные ошибки возникают из-за нарушений в работе источников питания АИУС. Для устранения случайных помех в АИУС используются различные программы, использующие алгоритмы дискретной фильтрации или сглаживания. В АИУС получили распространение следующие алгоритмы:

* скользящего среднего;
* экспоненциального сглаживания;
* фильтры Калмана-Бьюси;
* рекурсивные и нерекурсивные цифровые фильтры.

В данной работе будет использоваться метод скользящего среднего. В процессе вычисления k-го усредненного значения переменной xi в памяти фильтра скользящего среднего (ФСС), всегда хранится М значений измеренного сигнала.

Рисунок 4.3 – Метод скользящего среднего

*k+1*

*k-2*

*k*

*k*- *Mi*

*Mi*

*xcik+1*

*xcik*

*xi*

ФСС

*xcik*

В следующем такте перед записью полученного от датчика k+1 значения xi(k+1) в памяти УВМ, все предыдущие значения сдвигаются на одну ячейку так, что последнее Mik значение теряется, а в освободившуюся первую ячейку записывается xi(k+1).

Сглаженное (усредненное) значение вычисляется

где xik- данное поступившее от i-го датчика при t=k Топрi и хранящееся в  ячейках памяти, - усредненное значение переменной xi, выданное ФСС в момент времени t=k Топрi.

Метод скользящего среднего позволяет сильно уменьшить влияние центрированных воздействий при больших . Имеется ряд недостатков:

* метод не может начать работу пока не пройдет  тактов;
* выдаваемое этим методом значение , на самом деле соответствует значению 

Другими словами, метод скользящего среднего вносит запаздывание на

.

При больших значениях , это запаздывание может достигать недопустимо больших значений.

Проверка отклонений от технологических границ.

При нормальном, штатном ходе технологических процессов переменные величины, характеризующие этот процесс, допускаются в некоторых допустимых пределах. Поэтому выход технологической переменной за допустимые границы считается предаварийной или аварийной ситуацией.

Контроль производится путем сравнения текущего значения технологической переменной xik с заданными верхним xвi и нижним xнi граничными значениями этой переменной.

Признак нарушения границ формируется по условиям:

*xвi*

*xнi*

Рисунок 4.4 – Проверка отклонения от технологических границ

Чтобы предотвратить частые переключения признаки нарушения границ вводится петля гистерезиса. В этом случае признак  формируется в соответствии со следующими условиями:

Пересчет показаний датчиков.

Очень часто для получения более высокой точности датчики конструируются так, чтобы они измеряли не действительное значение, а лишь отклонение ее от начального значения. Эти же отклонения хранятся в памяти УВМ в виде соответствующих кодов и используются и при формировании управляющих воздействий.

Для получения действительных значений переменных, которые необходимы для визуализации хода процесса, для выполнения различных экономических, тепловых и других расчетов необходимо добавить величину пропорциональную уровню, отклонение от которого измеряется данным датчиком.

Этот пересчет осуществляется по формуле

где - код переменной, поступивший с выхода АЦП;

и - минимальное и максимальное значение величин.

**4.3 Классификация измерительных преобразователей**

Важнейшим элементом любой системы измерения является измерительный преобразователь (ИП) — устройство, преобразовывающее информацию к виду, удобному для последующей обработки.

Функционально схему измерения можно представить в виде, показанном на рисунке ()



Рисунок 4.6 – Функциональная схема контролируемого параметра*.*

Первичный ИП включает чувствительный элемент, который   
непосредственно связан с измеряемой величиной и находится под ее   
воздействием.

В сложных системах измерения может быть несколько преобразований. Например, изменение давления может быть преобразовано   
в перемещение упругого элемента, перемещение — в изменение электрического сопротивления, а последнее — в электродвижущую силу-  
напряжение. Такие ИП являются промежуточными.

Конструктивно законченное устройство, включающее один или   
несколько ИП и расположенное непосредственно на объекте управления, называется датчиком.

По принципу действия датчики можно разделить на две группы:   
параметрические и генераторные.

В параметрических датчиках контролируемая величина преобразуется в параметр электрической цепи: сопротивление, емкость, индуктивность, электрический контакт (датчики-реле) и т. п.

В генераторных датчиках различные виды энергии преобразуются   
в электрическую. Это термоэлектрические (термопары), индукционные, пьезо- и фотоэлектрические датчики.

По виду выходной величины датчики классифицируются в зависимости от того, в какую величину преобразуется контролируемый параметр:

- параметрические (омическое сопротивление, емкость, индуктивность);

- переменный ток (напряжение);

- постоянный ток (напряжение);

- дискретные (датчики-реле).

Из параметрических датчиков наиболее распространены датчики   
омического сопротивления, так как измерение или передача значений   
емкости и индуктивности по каналам связи технически трудная задача. На выходе датчика обычно получают унифицированный сигнал   
постоянного напряжения (тока) или состояние электрического кон-  
такта (замкнут/разомкнут). Наличие унифицированного сигнала   
на выходе датчика позволяет упростить стыковку его с регулирующими устройствами и исполнительными механизмами. Наибольшее   
распространение получили унифицированные электрические сигналы постоянного тока (0-5 мА, 4-20 мА) и напряжения   
(0-5 В, 0-10 В).   
Они используются не только для передачи данных от датчиков к регуляторам, от регуляторов к исполнительным механизмам, но и для   
обмена информацией устройств управления между собой.

По виду контролируемой величины можно выделить датчики: скорости, температуры, влажности, давления, уровня, расхода, состава вещества.

По конструктивному исполнению датчики подразделяются в зависимости от места их установки:

- наружные, устанавливаемые на открытом воздухе, вне помещения;

- канальные, устанавливаемые в трубопроводах и воздуховодах;

- комнатные, устанавливаемые в помещениях;

- специальные, которые учитывают специфические условия измерения и эксплуатации в различных технологических помещениях (поверхностные, точечные, накладные, совмещенные   
и т. д.).

При выборе датчиков по конструктивному исполнению необходи-  
мо учитывать исполнение по степени защиты от воздействия внеш-  
них факторов.

Основными характеристиками датчиков являются:

- вид функциональной зависимости между измеряемой  и выходной  величинами: ;

- чувствительность, определяемая как отношение приращения   
выходной величины  к вызвавшему его изменению измеряемой   
величины ();

- погрешность измерения.

**4.4 Выбор контроллера для управления движением БЛА**

Для автоматизации различных процессов и технических объектов применяют свободно программируемые контроллеры. В России популярны контроллеры Siemens Desigo (реже Simatic), TAC Xenta, Sauter, Honeywell и некоторые другие. Эти контроллеры, как правило, имеют интерфейс связи Lon или Bacnet и легко объединяется в единую сеть с возможностью диспетчеризации. Один контроллер может управлять одним объектом или сразу несколькими. Количество входов-выходов контроллера всегда можно расширить с помощью модулей ввода-вывода.

Наиболее оптимальным для установки в нашей системе, с точки зрения простоты, надежности и стоимости является контроллер TAC Xenta 302.



Рисунок 4.7 – Внешний вид контроллера TAC Xenta 302*.*

Основные характеристики данного контроллера приведены ниже:

Напряжение питания………………… 24 AC ± 20%, 50-60 HZ или 19-40 V DC

Потребление энергии…………………………………………………… max 5 W

Температура среды:

При хранении:…………………………………от -20 0С до +50 0С

При работе:……………………………………….от 0 0С до +500С

Влажность:…………………………………max 90% Rh без конденсирования

Основные данные:

Корпус………………………………………………………ABS/PC

Класс защиты……………………………………………………IP20

Размеры(мм)………………………………Указаны на рисунке

Вес………………………………………………………………0,5кг

Часы реального времени

Погрешность при +25 0С……………………………+12 мин. В год

Защита при потере питания…………………………………72 часа

Средства коммуникации:

Модем…………………………………………9600bps, RS232, RJ45

Контакт под винт………..LonWorks, TP/FT-10 модульный разъем

Соответствие стандартам

Излучение…………………………………………………EN50081-1

Помехозащитность……………………………………… EN50082-1

Безопасность……………………………………………..EN61010-1

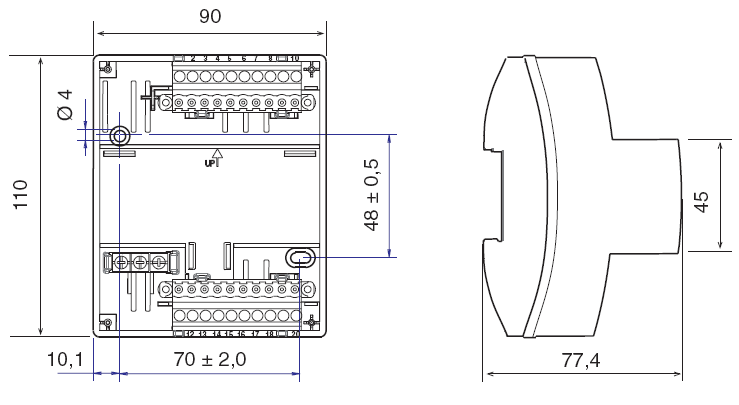


Рисунок 4.8 – Устройство контроллера Xenta OP 302

Контроллер Xenta OP 302 позволяет реализовать следующие возможности управления и сбора данных:

* мониторинг и обработка всех входных сигналов.
* построение любых алгоритмов управления системами. Использование временных расписаний.
* формирование и выдачу аварийных сообщений.
* реализацию управления по ПИД- законам.
* вывод сигналов и настроечных параметров на панель оператора.
* регистрацию данных в память контроллера и передачу сигналов в систему диспетчеризации.
* системная диагностика состояния контроллера и сети.

В нашем случае контролер монтироваться непосредственно в блоке управления БЛА. Подключение проводов осуществляется к контактной части, которая устанавливается отдельно, но в этом же блоке. Это дает возможность установить электронную часть после окончания монтажных работ

Контроллеры ТАС Xenta построены по модульному принципу, функциональность которых можно наращивать, добавляя блоки расширения к базовым устройствам.

К каждому контролеру подключается панель оператора Kenta ОР. С помощью панели оператор может осуществлять настройку системы управления, изменять режимы работы исполнительных механизмов.

Помимо контроллера в состав системы автоматического управления БЛА входят датчики скорости.

Таблица 4.1 - Конфигурация входов/выходов в контроллерах ТАС Xenta

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Блок 1/О  ТАС | DI | DI  статус | DO | DO руч, упр | UI | Tl | АО | АО  руч, упр |
| Xenta 301 | 4 | - | 6 | - | 4 | 4 | 2 |  |

DI, DO: Цифровой вход, выход

UI, TI: Универсальный вход

AO: Аналоговый выход

**Цифровые входы (DI).** Используются для получения аварийных сообщений, индикации состояний, подсчета импульсов (напри-  
мер, для замера величины протока) и т. д. Отслеживание сигналов   
аварии также является одной из важных функций DI. Существует   
возможность запрограммировать счетчик импульсов при поступлении сигнала аварии и передачу данных для рабочей статистики. Цифровые входы не требуют внешнего источника питания.

**Универсальные входы (UI).** Универсальные входы могут быть определены как аналоговые или цифровые. Для каждого UI задается   
верхний и нижний предел. При использовании в качестве цифровых   
универсальные входы могут определять положения переключателей.   
Конкретный тип использования UI выбирается при помощи программы приложения.

**Цифровые выходы (DO).** Цифровые выходы предназначены для   
управления вентиляторами, насосами и другими подобными устройствами. Сигнал на выходе может иметь широтно-импульсную модуляцию (для трехпозиционного управления).

**Аналоговые выходы (АО).** Предназначены для управления приводами или для соединения с другими контроллерами.

Внешний вид контроллера показан на рис. 4.7. Контроллер состоит из двух частей: контактной и электронной (рис. 4.8).

К ТАС Xenta 302 подключаются датчики, преобразователи и прочие управляющие устройства. Все провода соединяются с контактной   
частью контроллера, поэтому электронную часть можно извлекать   
для технического обслуживания без нарушения физических контактов. Потеря питания не оказывает влияния на энергонезависимую па-  
мять контроллера. Все значения, имеющиеся в памяти, восстанавливаются при повторном запуске.

Порт RS232 контроллера ТАС Xenta 302 предназначен для подключения к компьютеру графического инструмента программирова-  
ния *ТАС Merita, загрузки* и наладки программ. Данный порт также   
может использоваться для соединения ТАС Vista с отдельными конт-  
роллерами ТАС Xenta.

**Программирование контроллера ТАС Xenta**

Контроллеры ТАС Xenta являются свободно   
программируемыми устройствами. То есть программы их работы составляются исходя из требований технического задания для конкретной установки, затем заносятся в контроллер. Для этого используется графический инструмент программирования TAC Merita, который   
загружается в персональный компьютер. Далее пользователь составляет алгоритм работы системы, используя графические модули ТАС   
Merita. Процедура описана в руководстве *Engineering   
Application in TAC Merita.* Устройство конфигурируется в следующих   
вариантах:

- работа в индивидуальном режиме;

- работа в сети.

При конфигурировании работы в сети каждое устройство сети   
должно получить свой сетевой адрес.

Для облегчения программирования разработана библиотека элемен-  
тов автоматики ТАС в формате AutoCad 2000. После открытия файла   
«Библиотека TAC.dwg"/Dising Center/Blocks на экране появится список всех блоков, находящихся в библиотеке (рисунок 4.9 ). Нужный   
блок путем перетаскивания мышью вставляется в формируемый   
пользователем блок управления объектом.



Рисунок 4.9 – - Инструмент программирования. Принцип работы.

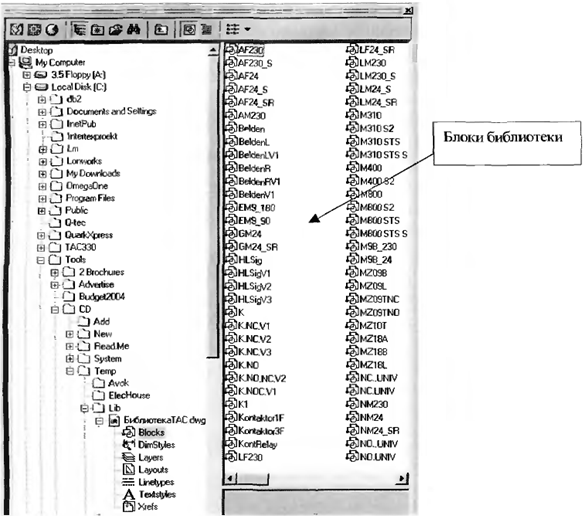


Рисунок 4.10 – Список блоков. «Библеотека TAC.dwg»

В библиотеке имеется ряд блоков, основными из которых являют-  
ся следующие:

**-** мастер (командный блок управления системой);

-   
фильтр;

**-** термисторный вход;

- регулятор давления.

В библиотеку также включены общие электрические обозначения   
и элементы.

Для примера приведем описание некоторых блоков.

**Блок «Мастер»**

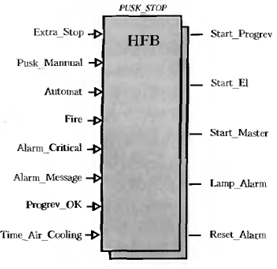
****

Рисунок 4.11 – Схема подключения блока «Мастер»

Является командным блоком управления системой, в котором   
предусмотрено:

**-** задержка на перезапуск системы;

- экстренная остановка системы от внешнего сигнала;

**-** остановка системы по критической аварии и пожаре;

**-** указание на аварию (мигание аварийной лампы);

**-** сброс аварий системы.

В зависимости от положения переключателя «Автомат/Отк-  
люч/Ручное - можно выбрать один из режимов работы:

- автоматический — включение системы либо от таймера (Enable Timer =1) либо включение вручную с панели операто-  
ра или VISTA;

- ручной — прямое включение от переключателя.

**Аварии.**

В этом разделе находятя все аварийные сообщения, возникшие в системе. Представляя порядковый номер/общее число аварий, текст аварийного сообщения, дата и время аварийного сообщения, статус аварии. Аббревиатура «On» указывает на возникновение аварийной ситуации, «Off» - ее снятие. «АСК» — указывает на то, что авария подтверждена оператором, но условия ее возникновения еще не сняты. Подтверждение аварийного сообщения происходит при нажатии клавиши «ВВОД». Снятая и подтвержденная ава-  
рия удаляется из списка аварийных сообщений. Переход к следующему по списку аварийному сообщению осуществляется клавишами   
«вверх»и «вниз».

**Старт.**

Пуск установки возможен только после устранения и сброса всех аварий. Сброс аварий осуществляется автоматически после повторного запуска, однако можно сбросить аварии в этом разделе и без запуска установки. После установки 1 в этой строке аварии сбросятся, через некоторое время (3-4 с), значение опять вернется в 0. Естественно, для того, чтобы это произошло, должны быть устранены условия, вызвавшие аварию.

# **5. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ**

**5.1 Безопасное применение системы**

Вопросы безопасности применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) во всем фазовом пространстве ожидаемых условий эксплуатации (ОУЭ) представляют серьезную научно-техническую проблему. Один из аспектов данной проблемы – обеспечение безаварийного применения БЛА, исключающего неконтролируемое падение БЛА на землю и связанное с этим непреднамеренное нанесение ущерба жизни, здоровью людей и их имуществу на земле.

Решение данной проблемы рассмотрим на примере летной эксплуатации БЛА, на режимах полета, которые близки к предельно допустимым условиям безопасности полета.

Важнейшими особенностями летной эксплуатации БЛА на данных режимах полета являются [1, 2]:

–полная автономность полета БЛА от момента старта до посадки. Данное обстоятельство предопределяет невозможность какого-либо вмешательства в траекторное управление беспилотным летательным аппаратом в процессе полета, то есть невозможность коррекции введенной на земле в навигационно-пилотажный комплекс (НПК) БЛА заданной программы полета;

–преобладание неустановившихся режимов полета;

–значительное расширение диапазона эксплуатационных углов атаки и знакопеременных перегрузок;

–выполнение полетов на максимальную практическую дальность полета на предельно малой возможной высоте.

Для определения возможных решений проблемы обеспечения безаварийного применения БЛА необходимо, прежде всего, провести системный анализ факторов, влияющих на безопасность полета БЛА, сформировать перечень аварийно-опасных режимов полета БЛА.

Основными причинами авиационного происшествия БЛА (аварии, катастрофы) являются:

1. Отказ маршевого двигателя или его систем, вследствие чего произойдет неконтролируемое падение БЛА на землю.

2. Отказ (сбой) бортовой системы управления (вычислитель, доплеровский измеритель скорости и угла сноса, радиовысотомер малых высот) БЛА, следствием чего будет невыполнение полетного задания (отклонение от заданного путевого угла, нарушение пространственно- временного прохождения промежуточных пунктов маршрута, отклонение от заданной высоты полета и т.п.) и посадка БЛА в нерасчетном районе, что может привести к частичному (или полному) разрушению БЛА.

3. Превышение основных ограничений для БЛА, связанных, в основном, с летной эксплуатацией БЛА в условиях сильной турбулентности атмосферы, а также в режиме полета с огибанием горного сложно-пересеченного рельефа местности, несоблюдение которых недопустимо по условиям безопасности полета при исправной работе систем и оборудования.

**5.2. Ограничения по углу атаки или коэффициенту подъёмной силы.**

Ограничения по углу атаки α или коэффициенту подъёмной силы осуществляется в целях предотвращения выхода БЛА на большие углы атаки, на которых:



–нарушается плавность обтекания, и наступает срыв потока с несущих поверхностей, что сопровождается потерей устойчивости и управляемости БЛА («сваливание в штопор»);

–происходит потеря газодинамической устойчивости компрессора маршевого двигателя БЛА («помпаж»).

3.2 Ограничения по минимальному скоростному напору. Ограничение по минимальному скоростному напору осуществляется в целях спасения БЛА (ввод в действие парашютно-реактивной системы посадки) при величине динамического скоростного напора q\* меньшей нижнего эксплуатационного предела. Дальнейшее уменьшение q \* привело бы к невозможности полёта БЛА без превышения ограничения по 𝛼доп.

3.3 Ограничения по максимальной скорости (числу М полёта, динамическому скоростному напору). При выборе ограничений по максимальной скорости (числу М полёта, динамическому скоростному напору) учитываются в основном следующие факторы: прочность или жёсткость конструкции; вибрации; устойчивость и управляемость летательного аппарата (в основном потеря эффективности элевонов, возрастание потребной мощности рулевых машин); характеристики системы управления (передаточные числа автопилота и т.д.). Следствием превышения основных ограничений, связанных с эксплуатацией БЛА может быть авиационное происшествие, заключающееся в разрушении БЛА в воздухе или неконтролируемым его падении на землю.

4. Некорректный учет комплекса случайных факторов, влияющих на практическую дальность полета [3], при проведении инженерно-штурманского расчета дальности и продолжительности полета (РДП).

К случайным факторам, вызывающим возможное отклонение (увеличение) фактических характеристик расхода топлива БЛА от принятых при РДП, относятся [4, 6]:

– отклонение аэродинамических характеристик БЛА в процессе изготовления и эксплуатации планера БЛА от характеристик, принятых, по результатам испытаний в аэродинамических трубах и уточненных на этапе летных испытаний;

– отличие значений балансировочного отклонения элевонов от значений, полученных при летных испытаниях;

– отклонение фактической величины тяги маршевого двигателя в процессе его изготовления и эксплуатации от величины, принятой порезультатам стендовых испытаний маршевого двигателя;

– отличие расходных характеристик маршевого двигателя от характеристик, полученных при летных испытаниях БЛА;

– отличие фактического распределения температуры воздуха от принятого при расчетах дальности и продолжительности полета;

– отличие фактического распределения атмосферного давления по высоте от принятого при расчетах дальности и продолжительности полета;

– отличие фактических значений скорости и направления ветра по маршруту полета от прогнозируемого;

–навигационные погрешности;

*‒* погрешность стабилизации заданного высотно-скоростного режима полета;

– характер («волнистость») микрорельефа восходящего ската рельефа горной местности. При огибании микрорельефа возрастает среднее значение силы лобового сопротивления БЛА из-за колебаний нормальной перегрузки за счет увеличения индуктивного сопротивления, величина которого пропорциональна квадрату нормальной перегрузки. Увеличение силы лобового сопротивления БЛА вызывает пропорциональное увеличение потребной тяги и, следовательно, часового расхода топлива. Поскольку система управления БЛА стабилизирует его скорость (ибо при постоянных значениях давления и температуры на высоте полета, то есть в данных конкретных условиях, стабилизация скоростного напора и числа полета означают стабилизацию воздушной скорости), увеличение часового расхода топлива будет соответствовать пропорциональному увеличению километровых расходов топлива;



–отличие величины располагаемого запаса топлива от принятого при расчетах дальности и продолжительности полета т.е. технологический разброс емкости топливных баков при их изготовлении, разброс по времени работы маршевого двигателя на земле.

Случайные факторы, влияющие на дальность полета, учитываются, при проведении инженерно-штурманского расчета дальности и продолжительности полета, величиной гарантийного технического запаса топлива.

Гарантийный технический запас топлива – масса топлива, учитывающая возможное отклонение (увеличение) фактических характеристик расхода топлива БЛА от принятых при РДП, которое обусловлено комплексом случайных факторов.

Следствием некорректного учета величины гарантийного технического запаса топлива при проведении РДП может быть авиационное происшествие, заключающееся в неконтролируемом падении БЛА на землю по израсходованию всего объема располагаемого запаса топлива.

5. Некорректный учет факторов, влияющих на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности или искусственных сооружений.

Важнейшим эксплуатационным фактором, определяющим безопасность полета БЛА в режиме полета с огибанием рельефа, является минимально-допустимая безопасная высота полета, рассчитываемая при проведении инженерно-штурманского расчета [5].

Минимально-допустимая безопасная высота полета БЛА, рассчитываемая из условия нестолкновения БЛА с землей, зависит от показателей эксплуатационной маневренности летательного аппарата, определяющих характер изменения кривизны траектории полета БЛА в плоскости симметрии летательного аппарата, в частности от предельно возможных и допустимых величин перегрузок, быстроты создания перегрузок, а также от диапазона допустимых скоростей полета:

,



Где –располагаемое значение нормальной составляющей перегрузки, определяется предельным значением подъемной силы, которую можно создать при данных мгновенных значениях высоты и скорости полета;

– максимальная эксплуатационная перегрузка (предельно допустимая по прочности летательного аппарата), определяется максимально допустимой величиной подъемной силы, которая является постоянной для данного типа летательного аппарата;

– время создания нормальной перегрузки;

 – диапазон скоростей полета.

Время создания нормальной перегрузки-(время выхода на нормальную перегрузку) вместе с располагаемыми для данного типа БЛА значениями характеризует возможности выполнения резких маневров,



требующие быстрого изменения кривизны траектории полета в плоскости симметрии БЛА, что особенно важно при облете горного сложно пересеченного рельефа местности.

Время создания нормальной перегрузки и характер зависимости зависит от: момента инерции летательного аппарата относительно его поперечной оси; демпфирующего момента; моментов статической устойчивости, эффективности «руля высоты», инерционности звеньев канала управления продольным движением БЛА.



Следует отметить, что одним из факторов, влияющих на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности, является турбулентность атмосферы в горных районах, для которых характерна неустойчивая метеорологическая обстановка, особенно в осенние и зимние месяцы. Вблизи скатов гор наблюдаются сильные восходящие и нисходящие потоки воздуха со скоростью   
10-20 м/с. Они вызывают сильную болтанку летательного аппарата, которая сказывается на точности выдерживания заданного режима полета [7]. Турбулентность атмосферы в горных районах вызывается деформацией воздушного потока при обтекании возвышенностей.

Восходящие воздушные потоки образуются с наветренной стороны гори вызывают непроизводные взмывание летательного аппарата. С подветренной стороны гор образуются нисходящие воздушные потоки, иногда очень большой мощности, которые вызывают опасные броски летательного аппарата вниз [7].

При облете БЛА горного рельефа в условиях сильной турбулентности наиболее значимыми факторами, вызываемыми болтанкой летательного аппарата, являются:

- потеря устойчивости БЛА из-за превышения допустимых углов

атаки, особенно при малых скоростях полета и больших высотах;

- разрушение конструкции БЛА из-за превышения допустимой

нормальной и поперечной перегрузки, особенно при больших скоростях полета и малых высотах;

- опасные отклонения БЛА вниз от заданной высоты полета.

Следует также учитывать возможное уменьшение геометрической высоты полета над рельефом местности, обусловленное большими положительными температурами, при которых, из-за недостаточной тяги маршевого двигателя набор высоты может сопровождаться уменьшением скорости и, как следствие, увеличением угла атаки. Для предотвращения выхода угла атаки за допустимое значение, система управления БЛА уменьшает значения заданного угла тангажа, что приведет к уменьшению угла наклона траектории и скороподъемности летательного аппарата. Для предотвращения столкновения БЛА с землей необходимо увеличить значения минимально-допустимой высоты полета.

Факторы, влияющие на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности, учитываются путем рационального выбора минимальной безопасной высоты полета при РДПБЛА.

Следствием некорректного учета факторов, влияющих на рациональное определение минимально-допустимой безопасной высоты полета БЛА, может быть авиационное происшествие, заключающееся в столкновении БЛА с рельефом или искусственными сооружениями.

На основании анализа основных факторов, влияющих на безопасность полета БЛА, можно сформировать перечень наиболее аварийно-опасных режимов их полета:

- полет БЛА на максимальную практическую дальность на минимально-возможной высоте полета;

- полет БЛА в режиме огибания рельефа на минимально-возможной безопасной высоте при управлении высотой полета по информации от высотомера малых высот;

- полет БЛА на максимальную практическую дальность на минимально-возможной безопасной высоте в режиме огибания рельефа при управлении высотой полета по информации от высотомера малых высот.

Способы предотвращения авиационного происшествия БЛА (или минимизация его последствий) заключаются, прежде всего:

-в резервировании контура управления БЛА, то есть комплексировании систем ориентации и навигации различных типов. Причем комплексируются не только системы, но и отдельные датчики первичной информации, измеряющие одни и те же параметры. При этом неисправность какой-то системы ориентации и навигации БЛА (или датчиков первичной информации) не приведет к аварии или катастрофе;

-в разработке рационального алгоритма функционирования НПК БЛА не допускающего превышение основных ограничений (по углу атаки или коэффициенте подъемной силы, максимальной скорости или числу М полета, динамическому скоростному напору) для БЛА, связанных с эксплуатацией БЛА в целом, при исправной работе систем и оборудования;

- во введении в действие парашютно-реактивной системы посадки при отказе маршевого двигателя или его систем, при величине динамического скоростного напора *q\** меньшей нижнего эксплуатационного предела;

- в рациональном учете комплекса случайных факторов, влияющих на практическую дальность полета, при проведении инженерно-штурманского расчета дальности и продолжительности полета (РДП);

-в рациональном учете факторов, влияющих на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности или искусственных сооружений, при определении безопасной высоты полета.

Причины, следствие авиационного происшествия и способы его предотвращения (минимизации) представлены в таблице 1.

Таблица 5.1 – Причины, следствие авиационного происшествия и способы его предотвращения (минимизации)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Причины авиационного происшествия (авария, катастрофа) | Следствие авиационного происшествия | Способы предотвращения (минимизации) авиационного происшествия |
| 1.Отказ маршевого двигателя или его системы. | Неконтролируемое падение БЛА на землю с полным его разрушением. | Ввод в действие парашютно-реактивной системы посадки при величине динамического скоростного напора q\* меньшей нижнего эксплуатационного предела т.е. ограничение по минимальному  скоростному напору |
| 2 Отказ (сбой) бортовой системы управления (вычислитель, доплеровский измеритель скорости и угла сноса, радиовысотомер малых высот) БЛА. | Невыполнение полетного задания (отклонение от заданного путевого угла, нарушение пространственно- временного прохождения промежуточных пунктов маршрута, отклонение от заданной высоты полета и т.п.) и посадка БЛА в нерасчетном районе, что может привести к частичному (или полному) разрушению БЛА. | Ввод в действие парашютно-реактивной системы посадки при отклонении БЛА от линии заданного пути на установленную величину (обычно 5-10). При отказе (сбое) функционирования радиовысотомера малых высот управление высотой полета БЛА осуществляется от барометрического корректора. |
| Причины авиационного происшествия (авария, катастрофа) | Следствие авиационного происшествия | Способы предотвращения (минимизации) авиационного происшествия |
| 3. Некорректный учет комплекса случайных факторов, влияющих на практическую дальность полета, при проведении инженерно- штурманского расчета дальности и продолжительности полета (РДП). | Неконтролируемое падение БЛА на землю по израсходованию всего объема располагаемого запаса топлива. | Случайные факторы, влияющие на дальность полета, учитываются, при проведении инженерно- штурманского расчета дальности и продолжительности полета (РДП), величиной гарантийного технического запаса топлива |
| 4.Некорректный учет факторов, влияющих на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности или искусственных сооружений. | Столкновение БЛА с рельефом или искусственными сооружениями. | Факторы, влияющие на безопасность маневров в вертикальной плоскости при огибании БЛА рельефа местности или искусственных сооружений, учитываются при инженерно-штурманском расчете путем выбора безопасной высоты полета над рельефом местности. |

**5.3. Экологичность работы**

В настоящее время вопрос о защите окружающей среды является одним из наиболее важных. Основным направлением по защите окружающей среды стала использование малоотходных технологий и технологий по переработке и утилизации отходов, поэтому большие требования предъявляются к экологичности конструкций устройств, к снижению их вредных воздействий на окружающую среду. При этом ущерб окружающей среде считается недопустимым, если он может существенно ухудшить существование людей данного или последующих поколений.

Задачи охраны окружающей среды должны решаться применительно к конкретным ситуациям и техническим средствам современного производства. Данный БЛА разработан с учетом вышеприведенного положения.

Разрабатываемая система управления выполнена на современной элементной базе, что обеспечивает надежность в работе и длительный срок службы. В конструкции нет блоков, вредно влияющих на окружающую среду. Возникающие при работе электромагнитные поля незначительны и не несут пагубного действия

При изготовлении устройств, входящих в БЛА, предполагается использовать малоотходные технологии, что не будет наносить вреда ни почве (в соответствии с ГОСТ 17.4.3.06-86), ни гидросфере. При утилизации для защиты почв, лесных угодий, поверхностных и грунтовых вод в настоящее время широко используется сбор и складирование отходов на свалках и полигонах. Переработку промышленных отходов производят на специальных полигонах, создаваемых в соответствии с требованиями СНиП 2.01.28-85 и предназначенных для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных отходов промышленных предприятий, НИИ и учреждений. Приему на полигоны, в частности, подлежат отходы, содержащие свинец, цинк, олово и их соединения, использованные органические растворители, отходы гальванического производства. Возможна также термическая переработка отходов на мусоросжигательных заводах. В настоящей ВКР предлагается утилизировать металлические отходы на специальных полигонах, т.к. это самый распространённый и дешёвый метод в нашей стране.

Защита окружающей среды – это комплексная проблема, требующая усилий специалистов многих направлений науки. Наиболее активной формой защиты является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам блоков вредно не влияющих на окружающую среду.

# **6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ**

## 6.1. Маркетинговые исследования

## 6.1.1 Исследование спроса

Разработана система управления продольным и поперечным движением БЛА. Задача разработанной системы управления заключается в обеспечении необходимого маневрирования на постоянной высоте, кроме того, разработаны алгоритмы предотвращения столкновений БЛА при их полете на постоянной высоте.

С постоянным обновлением элементной базы и появлением новых электронных средств появляется потребность совершенствования и внедрения новейших устройств управления, позволяющих обеспечить высокую точность, надежность, длительный срок службы, широкие функциональные возможности и др.

К системам управления БЛА в настоящее время предъявляются высокие требования. Они формулируются с помощью некоторых критериев качества таких как, точность, быстродействие, потребляемая энергия, надежность, стоимость разработки, изготовления и эксплуатации системы.

Сегодня основное внимание при производстве БЛА уделяется вопросам экономичности и простоте управления полетом. Бурный прогресс в области БЛА заставляет производителей модифицировать их, путем внедрения новых микросхем, обеспечивающих комфортность, экологичность, безопасность и простота управления.

Прежде, чем производить продукт необходимо знать, нужен ли он вообще, т.е. знать потребность в нем. Потребность находит свое отражение в спросе. Если нет спроса, то не следует ориентировать этот продукт на этот рынок, а исследовать другие.

Удовлетворить запросы потребителей – непростая задача. Для этого прежде всего, нужно хорошо изучить рынок, т.е. ответить на вопросы: кто покупает, какое количество, по какой цене, с какой целью, для удовлетворения каких потребностей, где покупает. Для этого проводят маркетинговые исследования. Изучать всех покупателей продукта невозможно, да и ненужно. Целесообразно найти тот сегмент потребителей, который обеспечит основной сбыт. В международной практике изготовления товаров и услуг существуют определенные нормы, требующие неукоснительного соблюдения и не совпадающие с нормами России. Поэтому отечественный и зарубежный рынки можно рассматривать отдельно.

Будем считать, что потребителями могут быть, как физические, так и юридические лица, нуждающиеся в системах управления БЛА.

### 6.1.2 Оценка конкурентоспособности

Успех в конкурентной борьбе в большей степени определяется тем, насколько удачно выбран тип конкурентного поведения организации и насколько умело он реализуется на практике.

Конкурентоспособность изделия – это его способность противостоять на рынке изделиям, выполняющим аналогичные функции. При этом конкуренцию составляют не только изделия той же технологически-конструктивной группы, но и любой товар, выполняющий аналогичные функции. Конкурентоспособность определяется многими факторами. Одни факторы определяют характеристики самого продукта, другие зависят от темпов технического развития товарной группы, к которой относится изделие, третьи – от рыночной конъюнктуры. Необходимо учесть, что организации, производящие отдельные детали для БЛА и приспособления к ним, могут быть не только потенциальными покупателями, но и потенциальными конкурентами.

### 6.1.3 Подход к ценообразованию

Цена остается важным показателем, несмотря на повышение роли неценовых факторов в процессе современного маркетинга. Цена, если она правильно определена, окажет решающее воздействие на процесс покупки товара.

Разработанная система не представляет собой продукцию массового потребления. Исходя из этого, и определяется стратегия ценообразования – ценообразование по нацеленной прибыли (фирма ставит цель по прибыли, которую она собирается достичь, и цены устанавливает с учетом достижения этой цели), а так же из технических показателей.

## 6.2. Выбор аналога

В качестве аналога может быть выбрано любое устройство, работающее аналогично разработанному. В настоящее время известно довольно много систем управления продольным и поперечным движением БЛА, уже имеющих свои системы управления. Основным недостатком имеющихся систем является их цена. В данной ВКР это аналогичное устройство управления, предназначенное для управления БЛА, реализованное на операционных усилителях.

Проведём сравнение разработанной системы управления и системы, являющей базой сравнения по следующим параметрам: среднее количество отказов; количество компонентов системы; точность; количество регулируемых параметров; потребляемая мощность.

## 6.3. Расчет интегрального технического показателя качества

Составляется таблица параметров разрабатываемого изделия и его аналога и определяется интегральный показатель качества. В качестве аналога выбирается центральная система кондиционирования Mitsubishi Heavy Industries 8088, оборудованная современной системой управления, которая может поддерживать несколько режимов работы.

Ниже в таблице приведены сравнения показателей качества аналога и разработанного устройства.

Таблица 6.1 – Сравнительная оценка разработки и аналога

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметры** | Единицы измерения | Весовой коэффи­циент важности, Аi | Разработка | | Аналог | |
| численное значение | Баллы Bi разр | численное значение | Баллы Bi ан |
| Среднее количество отказов | Ед. | 0.2 | 2 | 0,4 | 2 | 0,4 |
| Количество компонентов системы | Шт. | 0.1 | 9 | 0,9 | 6 | 0,6 |
| Точность | % | 0.2 | 98 | 19,6 | 94 | 18,8 |
| Количество регулируемых пара­метров | Шт. | 0.1 | 2 | 0,2 | 2 | 0,2 |
| Мощность | Вт | 0.05 | 1000 | 50 | 870 | 43,5 |

Таким образом, исходя из приведенной таблицы, можно рассчитать интегральный показатель качества по формуле:

.

(36)



Подставляя данные из таблицы 6.1 в формулу (36) рассчитаем интегральный технический показатель качества:

(37)

.



По полученному интегральному показателю качества можно сделать вывод, что новая разработка лучше выбранной базы сравнения.



**6.4. Расчет полной себестоимости и отпускной цены изделия**

**6.4.1 Расчет расходов на оплату труда**

Расчет основной заработной платы сотрудников лаборатории на единицу изделия представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Расчет основной заработной платы при разработке .

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вид работ** | Разряд (ЕТС) | Трудоемкость, дн. | дневная тарифная ставка, руб/дн. | Заработная плата, руб. |
| Монтажные | 6 | 15 | 700 | 10500 |
| Программирование | 7 | 7 | 900 | 6300 |
| Тестирование | 6 | 5 | 700 | 3500 |
| **Итого** | | | | **20300** |
| Дополнительная заработная плата (20% от основной заработной платы) | | | | 4060 |
| Отчисления на социальные нужды (30,2% от суммы основной и дополнительной заработных плат) | | | | 7308 |
| **Общий итог** | | | | **31668** |

**6.4.2 Расчёт стоимости изделия**

Затраты на материалы и покупку деталей для системы автоматического регулирования продольным и поперечным движением БЛА в лаборатории приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Затраты на покупные изделия

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Наименование** | **Кол-во, шт.** | **Цена, руб/шт.** | **Сумма, руб** |
| 1.Датчик скоростиADXL372 | 1 | 2300 | 2300 |
| 2. Контроллер TAC Xenta 302 | 1 | 42731 | 42741 |
| монтажные работы (15 % от общей суммы стоимости элементов системы) | | | 6756 |
| **Итого:** | | | **45041** |

**6.4.3 Расчет основной заработной платы**

При расчете основной заработной платы сотрудников лаборатории используются усредненные расценки стоимости работ в целом по отрасли «Машиностроение». Трудоемкость и перечень видов работ устанавливаются экспертным путем исходя из конструктивных и технологических особенностей разработки (таблица 6.4).

Таблица 6.6 *– Расчет основной заработной платы сотрудников лаборатории*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Вид работ** | **Трудоемкость, чел/час** | **Средняя часовая тарифная ставка, руб.** | **Сумма,**  **руб.** |
| Пайка | 4,0 | 200 | 800 |
| Монтажные работы | 4,0 | 300 | 1200 |
| Сборочные работы | 6,0 | 300 | 1800 |
| Контрольные операции | 3,0 | 200 | 600 |
| Итого основная зарплата: | | | 4400 |

**6.4.4 Калькуляция полной себестоимости устройства**

При выполнении калькуляции полной себестоимости разрабатываемого устройства можно сгруппировать дополнительно затраты по способу их отнесения на себестоимость единицы продукции: прямые материальные затраты, прямые трудовые затраты, накладные расходы и внепроизводственные расходы (таблица 6.5).

Величина дополнительной заработной платы составляет 8%, а отчисления на социальные нужды, в соответствии с действующим законодательством, – 30% к основной заработной плате сотрудников лаборатории. Накладные расходы определены в процентном отношении к основной заработной плате сотрудников лаборатории исходя из конструктивных и технологических особенностей разработки следующим образом:

* расходы на содержание и эксплуатацию оборудования – 140%,
* цеховые расходы – 50%,
* общезаводские расходы – 100%.

Внепроизводственные расходы принимаются в размере 5% к производственной себестоимости (табл. 6.7).

Таблица 6.7 – Калькуляция полной себестоимости устройства

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование статьи калькуляции** | **Сумма,  руб.** |
| *На этапе разработки* | |
| Основная заработная плата разработчиков ПТК | 20300 |
| Дополнительная заработная плата разработчиков | 4060 |
| Социальные отчисления | 7308 |
| Накладные расходы (80%) | 25334 |
| **Итого затрат на этапе разработки системы:** | **57002** |
| *На этапе производства* | |
| Покупные комплектующие изделия | 45041 |
| **Итого, прямые материальные затраты:** | **45041** |
| Основная заработная плата | 4400 |
| Дополнительная заработная плата (8%) | 352 |
| Социальные отчисления (30,2%) | 1320 |
| **Итого прямые трудовые затраты:** | **6072** |
| Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (140 %) | 8500 |
| Цеховые расходы (50 %) | 3036 |
| Общезаводские расходы (100 %) | 6072 |
| **Итого, накладные расходы:** | **17608** |
| **Производственная себестоимость** | **68721** |
| Внепроизводственные расходы (5 %) | 3436 |
| **Полная себестоимость** | **129159** |

**6.4.5 Определение возможной рыночной цены**

Исходя из назначения и области применения разработки, необходимо определить величину закладываемой прибыли в размере 20 % к полной себестоимости. Размер налога на добавленную стоимость (НДС) определяется как 18 % от продажной цены разработки за вычетом уже уплаченного НДС по приобретенным материалам и комплектующим (табл. 6.8).

Таблица 6.6 – Определение возможной рыночной цены

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование статьи калькуляции** | **Сумма,**  **руб.** |
| Полная себестоимость | 129159 |
| Закладываемая прибыль (20 %) | 25832 |
| **Итого, продажная цена без НДС** | 154991 |
| НДС, за вычетом уплаченного НДС по приобретенным материалам и комплектующим табл. 6.3 (18%) | 27898 |
| **Итого, продажная цена с НДС** | **182889** |

**6.5 Расчет капиталовложений (расходы на разработку и внедрение в производство изделия)**

Под производственными затратами понимаются затраты (инвестиции) на научно исследовательские работы (НИР), опытно-конструкторские работы (ОКР) и освоение новых изделий (результатов НИОКР). Инвестиции в основные фонды называются капитальными вложениями. Прогнозная величина этих затрат при проведении расчетов приведена в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Этапы вложения капитала

|  |  |
| --- | --- |
| **Этапы вложения капитала** | Стоимость, руб. |
| 1. Научно-исследовательские работы | 50 000 |
| 2. Опытно-конструкторские работы, закупка необходимого оборудования | 650 000 |
| 3. Патент на изделие | 200 000 |
| 4. Внедрение изделия в производство | 100 000 |
| **Итого** | **1 000 000** |

**6.6 Расчет плановых финансовых результатов (выручки, прибыли)**

В таблице 6.8 приведён производственный план на три года. Видно, что во втором и третьем годах объём производства был увеличен до 75 выпускаемых изделий в год, что позволило увеличить прибыль.

Прибыль от реализации продукции рассчитывается по формуле

 (38)

где В - выручка от реализации устройства;

З - затраты по изготовлению разработанного изделия;

А - количество изделий, планируемых к выпуску в течение года;

Ц - цена единицы продукции.

Таблица 6.8 *–* Производственный план на три года

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Полная себестоимость, руб. | Цена, без НДС, руб. | Кол-во товара за год, шт. | Затраты, руб. | Выручка, руб. | Прибыль за год, руб. |
| 1-й год | 129159 | 154991 | 50 | 6457950 | 7749550 | 1291600 |
| 2-й год | 129159 | 154991 | 75 | 9686925 | 11624325 | 1937400 |
| 3-й год | 129159 | 154991 | 75 | 9686925 | 11624325 | 1937400 |
| **итого** | **-** | **-** | **200** | **25831800** | **30998200** | **5166400** |

В соответствии с этим в первом году прибыль составила:

(40)

(39)



Во втором и третьем годах:



В итоге за три года производства систем управления продольным и поперечным движением БЛА прибыль составила 5166400рублей, что значительно превышает сумму основных фондов.

**Чистый дисконтированный доход (**ЧДД**)** рассчитывается по формуле:

(41)



где - доход от разработанной системы в году,



- ставка дисконта,



- годы жизни разработки.



(42)



Чистая дисконтированная прибыль за три года производства составила 2 197 514 рублей, что превышает сумму вложенных в разработку системы денежных средств.

**6.7 Расчет показателей экономической эффективности инвестиционной разработки**

(43)

Далее определяется экономический эффект от производства системы управления продольным и поперечным движением БЛА. Экономический эффект получается из предполагаемой прибыли умноженной на количество произведенной продукции за год, отнесенной к капитальным вложениям.

,



где ППлан – планируемая прибыль;

(44)

(45)



Теперь необходимо рассчитать срок окупаемости производства нашей системы управления:



Отсюда видно, что производство системы управления продольным и поперечным движением БЛА окупится в течение 10 месяцев.

**Вывод**.Разработка данной автоматической системы управления продольным и поперечным движением БЛА в лаборатории является целесообразной, т.к. при себестоимости 129159 руб. прибыль при 20% наценке составит 25832 руб. При внедрении его в лаборатории разработанная система окупится за 10 месяцев, при объемах производства 50 шт. в год. Причем срок окупаемости данной системы можно сократить при помощи увеличения объёмов производства.Таким образом, при внедрении разработанной системы повышается эффективность в обеспечении необходимого маневрирования БЛА на постоянной высоте в производственной лаборатории. Система управления выигрывает как с экономической точки зрения, так и с технической точки зрения, так как разработанная система обладает высокими техническими характеристиками по сравнению с её аналогами.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На современном этапе развития микроэлектроники, микроконтроллеров и композитных материалов, осуществляется разработка БЛА, используемых для решения различных народно-хозяйственных задач. В данной выпускной квалификационной работе проведен синтез и исследование системы группового управления БЛА. Методом аналитического синтеза систем с управлением по выходу и воздействиям (АСС и УВВ) определена структура и параметры устройств управления, которые необходимы для придания замкнутым системам устойчивости и требуемых показателей качества. Разработаны алгоритмы работы микропроцессоров, осуществляющих техническую реализацию найденных устройств управления и алгоритм предотвращения столкновений. Для исследования полученных алгоритмов проведено моделирование групповых полетов БЛА с применением пакета MATLAB.

Полученные результаты свидетельствуют, что синтезированные системы управления обеспечивают решение задачи группового управления БЛА с требуемыми показателями качества. Реализованные устройства управления допускают оперативное изменение динамических свойств систем, путем изменения одного или двух параметров.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние[электронный ресурс].URL: <http://www.rulit.me/books/bespilotnaya-aviaciya-terminologiya-klassifikaciya-sovremennoe-sostoyanie-read-404915-1.html> (дата обращения 11.03.2016)

2. БЛА: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования [электронный ресурс].URL:<http://www.racurs.ru/?page=681> (дата обращения 11.03.2016)

3. Области применения БЛА [электронный ресурс].URL: <http://arsenal-info.ru/b/book/3398882726/17>(дата обращения 12.03.2016)

4. Группы назначения использования гражданских БЛА [электронный ресурс].URL:<http://www.blaskor.ru/ru/primenenie.html>(дата обращения 20.05.2016)

5. Фетисов В.С., Неугодникова Л.М., Адамовский В.В. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние //Научное издание. 2014. С. 7-15.

6. Лоскутников А. А., Сенюшкин Н. С., Парамонов В. В. Системы автоматического управления БПЛА // Молодой ученый. — 2011. — №9. — С. 56-58.

7. Оснащение подразделений БЛА в особенностях применения. Решение коллегии МЧС РФ [электронный ресурс].URL: [http://www.mchs.gov.ru/upload/site1/ docu-ment\_ file/X1KJQaZJQP.pdf](http://www.mchs.gov.ru/upload/site1/%20docu-ment_%20file/X1KJQaZJQP.pdf) (дата обращения 02.04.2016)

### 8.Оснащение комплексов БЛА ближнего действия и малой дальности. Решение коллегии МЧС РФ о временных единых технических требований к БЛА. 2015. С. 7-9.

### 9. Требования к составу комплекса с БЛА. [электронный ресурс]. URL: <http://www.aviales.ru/files/documents/2011/08/bla_nezak_2010.pdf> (дата обращения 14.04.2016)

### 10. Гайдук А.Р., Шаповалов И.О. Учебное пособие «Анализ и синтез систем управления в среде MATLAB». Таганрог: Изд-во ИТА ЮФУ, 2014. С. 41- 53.

### 11. Гайдук А. Р., Капустян С.Г. Концептуальные аспекты группового применения беспилотных летательных аппаратов. Информационно-измерительные и управляющие системы. М.: Радиотехника, 2012. № 7. С. 8-15.

### 12. Гайдук А.Р. Управление группой БЛА с ограничением на управление и переменные состояния Грант № 10-07-00235-а.

### 13. Гайдук А.Р. Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления. М.: Физматлит, 2012.

### 14. Гайдук А.Р., Плаксиенко Т.А. Синтез автономных и связных многомерных систем управления // Мехатроника, автоматизация, управление, № 1, 2012. С. 13-20.

### 15. Харьков В.П., Меркулов В.И. Синтез алгоритма иерархического управления группой БЛА // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. № 8. С. 61-67.

### 16. Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Концептуальные аспекты группового применения беспилотных летательных аппаратов. Информационно-измерительные и управляющие системы. М.: Радиотехника, 2012. № 7. С. 8-15

### 17. Гайдук А.Р. Управление группой БЛА с ограничением на управление и переменные состояния // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 7. С. 52-57.

### 18. Амелин К.С. и др. Адаптивное управление автономной группой беспилотных летательных аппаратов // Стохастическая оптимизация в информатике. 2009. Т. 5. № 1-1. С. 157–166.

### 19. Ефанов В.Н., Мизин С.В., Неретина В.В. Управление полетом БПЛА в строю на основе координации взаимодействия группы летательных аппаратов // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18. № 1. С. 114–121.

### 20. Иванов Д.Я. Формирование строя группой беспилотных летательных аппаратов при решении задач мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. Т. 4. С. 219–224.