

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ О. В. Непомнящий

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Автономная посадка беспилотного летательного аппарата в условиях отсутствия  
глобальной навигационной системы связи

Руководитель	_____	доцент, канд. техн. наук	Н. Ю. Сиротина
	подпись, дата	должность, ученая степень	
Выпускник	_____		С. А. Абрамов
	подпись, дата		
Нормоконтролер	_____	доцент, канд. техн. наук	Н. Ю. Сиротина
	подпись, дата	должность, ученая степень	

Красноярск 2024

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Автономная посадка беспилотного летательного аппарата в условиях отсутствия глобальной навигационной системы связи» содержит в себе 62 страницы текстового документа, 18 использованных источников, 40 иллюстраций, 15 формул и 1 таблицу.

БПЛА, СПИК, АВТОПИЛОТ, ГНСС, ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ, СТЗ, ИК-МАЯК, ПОСАДКА, САУ.

Цель работы: разработка аппаратно-программного комплекса для решения задачи автономной посадки в условиях отсутствия ГНСС-сигнала. Система должна соответствовать трём важнейшим критериям: доступность, простота использования и самодостаточность, т.е. независимость от внешних систем навигации, таких как ГНСС.

Задачи:

- обзор предметной области;
- анализ и сравнение существующих решений;
- разработка программного обеспечения (ПО) для автономной посадки;
- интеграция полученной системы в систему автоматического управления (САУ) летательного аппарата (ЛА);
- разработка прототипа (макета) для тестирования и проверки разработанной системы.

Актуальность:

- невозможность полноценного функционирования в настоящее время беспилотных систем в условиях отсутствия ГНСС;
- чрезвычайно слабый сигнал ГНСС, а также распространение устройств для его глушения и подмены;

В результате работы создана система автономной посадки на материальной базе компании «Автономные аэрокосмические системы-ГеоСервис». Полученная система была успешно протестирована на БПЛА вертолетного типа «Лямбда».

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
1 Анализ предметной области .....	7
1.1 Постановка задачи .....	7
1.2 Требования к бортовому комплексу .....	7
1.2.1 Погодные условия .....	7
1.2.2 Оборудованность площадки .....	8
1.2.3 Стоимость .....	8
1.3 Обзор существующих решений .....	9
1.3.1 Спутниковые системы, устойчивые к помехам и подмене сигнала ..	10
1.3.2 Псевдоспутники .....	10
1.3.3 Классическая ближняя радионавигация .....	11
1.3.4 Курсо-глиссадные системы .....	12
1.3.5 Особо точная инерциальная навигация .....	12
1.3.6 Системы на основе технического зрения .....	12
1.3.7 Проект автономной инфракрасной системы посадки .....	14
1.4 Выводы .....	15
2 Описание предлагаемого решения .....	17
2.1 Уточнение задачи .....	17
2.2 Система позиционирования на основе инфракрасных меток .....	17
2.2.1 Назначение .....	18
2.2.2 Бортовое посадочное оборудование .....	20
2.2.3 Наземное посадочное оборудование .....	21
2.2.4 Определение координат летательного аппарата .....	23
2.2.5 Определение линейной и угловой скорости летательного аппарата .	26
2.2.6 Оценка потенциальных погрешностей .....	27
2.2.7 Распознавание изображений маяков .....	31
2.2.8 Выбор диапазона источников излучения .....	33
2.3 Преимущества выбранных технических решений .....	36
2.4 Способы применения .....	37
2.5 Выводы .....	43
3 Разработка программного обеспечения .....	44

3.1	Функциональное назначение программы .....	44
3.2	Выводы .....	45
4	Разработка и испытания макетного образца .....	46
4.1	Назначение .....	46
4.2	Состав .....	47
4.3	Компонентная база .....	48
4.4	Испытания .....	51
4.5	Выводы .....	55
	Заключение .....	56
	Список сокращений .....	57
	Список использованных источников .....	59
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт о внедрении 1 .....	61
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акт о внедрении 2 .....	62

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) используют глобальную навигационную спутниковую систему (ГНСС) для определения своей позиции и ориентации, скорости относительно земли, а также для привязки траектории полета к земной поверхности.

Полноценное функционирование гражданских беспилотных систем без ГНСС в настоящее время невозможно.

Ничтожная мощность сигналов ГНСС делает очень простой задачей их подавления более сильным сигналом в этой же полосе частот [1].

Кроме чрезвычайно слабого сигнала, ГНСС характерна тем, что (гражданские) навигационные приёмники имеют скромный динамический диапазон, не более 20 дВ.

Даже если приёмник имеет достаточно умное ПО, способное отфильтровать сигнал генератора помех или генератора подделанного навигационного сигнала, работоспособность приёмника может быть нарушена «грубой силой». Технически несложно выдать в эфир сигнал такого уровня, который превысит полезный сигнал спутников на величину выше динамического диапазона приёмника и, таким образом, заблокирует полностью входные цепи и оцифровку сигнала.

В настоящее время получила распространение вполне объективная озабоченность уязвимостью спутниковых систем навигации [2, 3]. Поэтому в последнее время стали активно вестись исследования и разработка альтернативных способов навигации.

Данная работа посвящена решению малой части всей задачи автономной навигации — посадки БПЛА.

**Целью работы** является разработка аппаратно-программного комплекса для решения задачи автономной посадки в условиях отсутствия ГНСС на аппаратной базе компании «Автономные аэрокосмические системы-ГеоСервис», а также его интеграция в систему управления БПЛА.

В ходе достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

1. Изучение предметной области, аналитический обзор аналогов.
2. Выбор и изучение метода решения поставленной задачи.

3. Проектирование системы, выбор аппаратного и инструментального ПО.
4. Реализация и тестирование системы.

В результате работы создана система автономной посадки на материальной базе компании «Автономные аэрокосмические системы-ГеоСервис». Полученная система была успешно протестирована на БПЛА вертолетного типа «Лямбда».

В системе реализовано:

- определение линейных и угловых скоростей;
- определение координат ЛА относительно ИК-маяков;
- распознавание изображений ИК-маяков;
- автономная посадка по ИК-маякам.

Разработка данного аппаратно-программного комплекса велась в команде внутри компании «Автономные аэрокосмические системы-ГеоСервис» в рамках гранта.

В данное время разработанный аппаратно-программный комплекс успешно используется в компании «Автономные аэрокосмические системы-ГеоСервис» и АО «НПП «Исток» им. Шокина», что подтверждается актами о внедрении (Приложения А и Б).

Планируется дальнейшее развитие и расширение системы — разработка полностью автономной системы независимой от ГНСС (взлет, полет и посадка).

## **1 Анализ предметной области**

### **1.1 Постановка задачи**

Разработка комплекса наземных и бортовых средств беспилотного воздушного судна вертикального взлета и посадки, обеспечивающую точное позиционирование беспилотного воздушного судна в пространстве при выполнении посадки на неподвижную площадку ограниченного размера в условиях тумана и/или обильных осадков в виде дождя, снега, в случае нарушения целостности поля глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) при возможности предварительного оборудования такой площадки наземными средствами локальной навигации:

- радиус действия системы от точки посадки, не менее: 2 км;
- точность позиционирования БПЛА, не хуже: 50 см в точке касания;
- приемлемая скорость ветра при посадке, не более 15 м/с;
- масса устройства на борту, не более: 0,5 кг;
- энергопотребление на борту, не более: 100 Вт.

### **1.2 Требования к бортовому комплексу**

К комплексу выдвигаются следующие требования:

- автономность функционирования посадочного оборудования от спутниковых, инерциальных, наземных радиотехнических систем навигации;
- возможность применения в любое время суток;
- возможность применения в диапазоне погодных условий, соответствующих 2 баллам по международной шкале видимости (МШВ) [4];
- возможность применения в любое время года (при соответствующем обслуживании посадочной площадки и наземного оборудования);
- возможность многократного применения наземного оборудования, обеспечивающее высокую пропускную способность посадочной площадки.

#### **1.2.1 Погодные условия**

Эксплуатация комплекса должна быть возможна в различных погодных условиях, таких как:

- дождь;

- снег;
- туман;
- ветер.

Осадки и туман затрудняют применение оптических средств, требуется наличие радиотехнических систем.

Ветровые нагрузки означают, что требуется эффективное управление позиционированием аппарата над площадкой в условиях мощных спонтанных возмущений, с достаточной частотой обновления, чтобы качество стабилизации позиции не зависело полностью от возможностей и качества инерциальных датчиков аппарата.

Температурные условия обычные для бортового оборудования.

### **1.2.2 Оборудование площадки**

Оборудованная площадка предполагает наличие на площадке электропитания и персонала, обеспечивающего безопасность площадки. Отсутствуют помехи на ВПП, поверхность расчищена и подготовлена для посадки, существует оборудование, обеспечивающее посадку, и оно исправно функционирует.

При этом существует два варианта в котором существует площадка:

1. Площадка в непосредственной близости от населённого пункта. Электричество без ограничений и круглые сутки. Может быть организована охрана оборудования. Частота прилета борта примерно 1 раз в сутки.

2. Площадка находится на удалении от населённого пункта, доступ только периодический, на транспорте. Электричество от привозного генератора или аккумуляторов. Невозможно организовать охрану оборудования. Оборудование должно быть мобильным и разворачиваться за короткое время. Обладать подходящими габаритами, прочностью и вандалоустойчивостью для частой перевозки и полевого использования. Частота приёма борта 1 раз в неделю.

### **1.2.3 Стоимость**

По данным, предоставленным потенциальным пилотным эксплуатантом, частота рейсов, которые планируются совершать на подготовленные площадки, варьируется от 1 раза в день до 1 раза в неделю.

Ничтожный грузопоток не позволит окупить оборудование такого же класса, которое используется для аэродромов пилотируемой авиации.

Условия эксплуатации иные, чем посадочное оборудование в пилотируемой авиации:

- периодичность и незначительное время активной работы;
  - отсутствие регулярного компетентного техобслуживания и калибровки;
  - возможность случайного или намеренного повреждения;
  - эксплуатация в регионах с крайне низкой плотностью населения и материальных объектов;
  - ограниченный ущерб при отказе, по сравнению с пилотируемой авиацией
- Всё это приводит к необходимости и возможности радикального упрощения и снижения стоимости оборудования.

### 1.3 Обзор существующих решений

Применение известных в пилотируемой авиации метровых радиотехнических систем инструментальной посадки (ILS, МСП) для автоматической посадки БПЛА не представляется возможным по причине низкой точности (погрешности более 3 м), сложностях определения высоты и дальности [5].

Разработка оборудования для выполнения автоматической посадки самолета впервые выполнялась в нашей стране в 1980-е годы в интересах проекта орбитального самолета «Буран», что привело к созданию микроволновой системы посадки Плацдарм-1Н (вертикальная погрешность — 0,7...0,85 м). В США аналогичная система (MLS) была разработана и принята на вооружение, но в силу низкой помехоустойчивости и влияния множества факторов на точностные характеристики почти не используется [6].

С 2010 года системы MLS вытесняются спутниковыми системами обеспечения посадки типа GLS (GPS) и ССП-1 (ГЛОНАСС) [7] (горизонтальная и вертикальная погрешности — более 10 м), в том числе с использованием наземных станций дифференциальной коррекции (горизонтальная погрешность — 2 м, вертикальная погрешность — 0,2...0,3 м). Несмотря на ориентацию использования систем типа GLS необходимо отметить их принципиальные недостатки, связанные с низкой надежностью (по этой причине они до сих пор не сертифицированы ИКАО) и малой помехоустойчивостью.

Лазерные системы посадки на основе инструментальных средств определения координат типа OPATS (RUAG Aviation, Швейцария) [8], ЛСОК (АО Группа «Кронштадт», Россия) [9], позволяют определять только линейные координаты БПЛА. Причем для организации автоматического управления необходима командно-телеметрическая линия связи, что усложняет систему, увеличивает ее вес, стоимость, снижает надежность. По сути, система не является автономной.

В последние годы активно ведутся исследования по внедрению визуальных систем посадки (VBLS) [10, 11] с использованием систем технического зрения (СТЗ) и широким применением алгоритмов распознавания изображений. Достоинством таких систем является возможность автономной (не привязанной к внешним системным компонентам и средствам) посадки. Недостатками предлагаемых систем видимого диапазона являются сложность алгоритмов, большие вычислительные затраты, не позволяющие реализовать системы на малых БПЛА, зависимость от времени суток, погодных условий (дымка, снег, дождь, туман и др.), влияние приземных градиентов температуры воздуха, а также высокие требования к качеству аэродромов и посадочных площадок.

Ниже перечислены системы, применяемые для задачи наведения на посадочную площадку и обеспечения мягкой автоматической посадки в условиях ограниченной видимости.

### **1.3.1 Спутниковые системы, устойчивые к помехам и подмене сигнала**

Недостатки таких систем:

- если устойчивость существенная, это реализуется сложно и дорого, доступно только в военной технике;
- ITAR-free решения с антенной решёткой и наведением «нулей» диаграммы направленности (ДН) на источники помех преодолеваются, например, наличием 3+ бытовых генераторов помех в зоне 1-3 км, т.е., защита возможна только от случайного непреднамеренного воздействия.

### **1.3.2 Псевдоспутники**

Возможны следующие варианты:

1. Совмещение в одном диапазоне и системе с орбитальными спутниками применяется в гражданской и военной авиации, для БПЛА малореально из-за высокого организационного барьера (требуется сквозная сертификация всего процесса разработки и производства системы, лицензия на работу в защищённом радиодиапазоне и т.п.).

2. Псевдоспутники альтернативной системы в ISM-диапазоне:

- использование нестандартных сигналов в ISM-диапазоне = возможно, незаконно;

- проблема близко-далеко, требуется принципиально иная организация системы, чем для орбитальной ГНСС, из-за невозможности одновременного приёма и обработки слишком разных по мощности сигналов (т.к. дистанция до спутников ГНСС вариативна на 30%, а до наземных псевдоспутников — в десять и более раз);

- необходима прецизионная координация несущей фазы и фазы сигнала маяков (что в орбитальной системе достигается применением атомных часов) либо координирующий «ведущий» маяк, либо вынос скоординированных сигналов на удалённые антенны по протяжённым кабелям - в любом случае, сложно, затратно, уязвимо к отказам и аномалиям;

- требуется применение передовых технологий.

- для обработки ГНСС-подобных сигналов требуется особо мощный бортовой вычислитель, на самых передовых из существующих ЦПУ промышленного назначения, что означает санкционные проблемы;

- открытый радиоинтерфейс на 2.4 ГГц, компактный и недорогой — очень редкий тип оборудования, из-за проблем с производством чипов с 2021 труднодоступен;

- ПОР в текущей обстановке (2023-2024) практически приравнен к специальному оборудованию для ведения электронной разведки = таможенные проблемы, как минимум.

### **1.3.3 Классическая ближняя радионавигация**

Возможны следующие варианты:

1. Радиотехнические системы ближней навигации (РСБН):

- ограниченная точность;

- громоздкие и дорогостоящие механические узлы.

## 2. Всенаправленный азимутальный радиомаяк (VOR):

- выводится из эксплуатации из-за морального устаревания, недостаточное покрытие в интересующих отдалённых регионах;

- очень громоздкая и дорогостоящая инфраструктура маяка.

## 3. Всенаправленный дальномерный радиомаяк (DME):

- выводится из эксплуатации из-за морального устаревания, недостаточное покрытие в интересующих отдалённых регионах;

- защищённый лицензируемый диапазон, необходимость очень затратной сертификации заказчика.

### 1.3.4 Курсо-глиссадные системы

В зависимости от длины волны КГС делятся на системы метрового (ILS) и сантиметрового диапазонов (MLS, МСП).

Недостатки таких систем:

- громоздкие;
- дорогостоящие, т.к. аэропортовое оборудование;
- используют высокостабильные и точные радиотракты, антенны;
- требуют регулярной калибровки;
- требуют квалифицированного персонала.

### 1.3.5 Особо точная инерциальная навигация

Недостатки таких систем:

- высокая стоимость по сравнению с гражданскими БПЛА;
- недостаточная точность.

### 1.3.6 Системы на основе технического зрения

Возможны следующие варианты:

1. Система безмаркерного визуального контроля микроквадрокоптера с помощью бортовой стереообработки [12]. Представлен БПЛА мультироторного типа (квадрокоптер), способный летать автономно в неизвестной среде, используя только оптический сенсор. Данный БПЛА использует изображения с двух камер в стереоконфигурации, а также данные от инерциальной точки отсчета. В данной ра-

боте применяется быстрый алгоритм оптического стереосогласования в сочетании с визуальным методом одометрии, на его основе производится оценка текущей позиции БПЛА, которая требуется для автономного управления. Вся обработка выполняется на одной плате компьютера, на борту БПЛА. Насколько известно, это один из первых БПЛА, использующий стереозрение для навигации, не полагающийся на визуальные маркеры. В экспериментальном полете БПЛА был способен парить автономно, так же был в состоянии оценить свое текущее положение со скоростью 29 Гц и со средней ошибкой только 2,8 см. Недостаток: большие вычислительные затраты. Работа только в условиях видимости.

2. Система автономной посадки беспилотного летательного аппарата с наземной (подвижной) инфракрасной системой стереозрения [13]. В данном исследовании сосредоточились на том, как посадить БПЛА в неизвестных GPS средах на основе инфракрасной системы стереозрения. Система видения фиксируется на земле и используется для отслеживания положения БПЛА во время процесса посадки. Для того, чтобы увеличить поле поиска зрения, используется поворотно-наклонная платформа. Инфракрасная камера выбрана в качестве датчика по двум основным причинам: во-первых, он может быть использован круглосуточно при любых погодных условиях; во-вторых, ИК-мишень может быть отслежена на основе инфракрасных особенностей спектра, при более низкой стоимости вычислений по сравнению с отслеживанием особенностей текстуры. Разработчики данной системы утверждают, что система имеет возможность отслеживать БПЛА без искусственных маркеров, что, по их мнению, достаточно, чтобы дополнить или заменить локализацию GPS. Недостаток: сложность калибровки, неавтономность от систем связи с наземным пунктом управления.

3. Автоматическая система посадки БПЛА на основе компьютерного зрения [14]. В данной работе представлена реализация, системы компьютерного зрения на основе алгоритма посадки для автономного вертолета. Задача вертолета перемещаться из исходного положения в конечное положение в частично известной среде, основанной на GPS, система компьютерного зрения должна определить местонахождение цели посадки (вертолетная площадка известной формы в виде буквы «Н»). Вертолет обновляет свои параметры, основанные на результатах, полученных системой компьютерного зрения и использует контроллер для следования к месту посадки. Авторы данного проекта утверждают, что результаты летных ис-

пытаний демонстрируют, что алгоритмы обнаружения, распознавания и контроля являются точными. Недостаток: работа только в светлое время и в хорошую погоду.

4. Метод автоматической посадки квадрокоптера по маркерным изображениям с использованием системы компьютерного зрения [15]. Суть данного метода заключается в контроле над БПЛА с целью его пространственной стабилизации и автономной посадки. Подход управления стремится к полной автономной работе, используя только датчики. Метод, выбранный для посадки с использованием камеры. С помощью системы компьютерного зрения оценивается относительная позиция БПЛА, затем производится контроль и автономная посадка. Метод был разработан для оценки относительного положения и ориентации БПЛА с использованием плоских маркеров и алгоритмов компьютерного зрения. Недостаток: работа только в светлое время и в хорошую погоду.

### **1.3.7 Проект автономной инфракрасной системы посадки**

В состав системы входит:

- инфракрасный комплекс из трех наземных инфракрасных маяков;
- бортовая цифровая видеокамера;
- узкополосный фильтр;
- трехступенной гиростабилизированный управляемый подвес;
- цифровой вычислитель;
- алгоритмическое обеспечение.

Система способна обеспечить измерение шести навигационных параметров, а также шести компонент линейной и угловых скоростей, обеспечивающих автоматическое управление полетом на посадке до  $H = 0$  без использования дополнительных датчиков.

Субпиксельная обработка изображений обеспечивает сантиметровые погрешности измерений линейных координат местоположения ЛА относительно ВПП в момент посадки [16, 17].

Далее по тексту будет упоминаться как ПАИСП.

## 1.4 Выводы

Анализ подходящих методов позиционирования БПЛА относительно взлетно-посадочной полосы (ВПП) показывает, что эти методы либо имеют низкую точность, неудовлетворяющую требованиям к системам автоматической посадки, либо для реализации этих методов требуется технически сложное оборудование, обладающее значительными массой, габаритами и стоимостью.

Сравнительная характеристика систем посадки беспилотного летательного аппарата представлена в таблице 1.

Таблица 1 — Сравнительная характеристика систем посадки БПЛА

Тип системы	Погрешности, гориз./вертик.	Возможность автоматизации посадки до $H=0$	Помехоустойчивость	Всепогодность	Автономность	Недостатки
<b>ILS</b> радиотехническая метровая	2,3...2,6 м 0,7...0,85 м	-	-	+	-	низкая точность, громоздкость, привязка к аэродрому
<b>MLS</b> радиотехническая сантиметровая	0,6...0,8 м 0,4...0,6 м	+	-	+	-	большие погрешности, влияние внешних факторов, трудности в реализации, привязка к аэродрому
<b>РСП</b> радиолокационная	0,9...1 м 0,9...1 м	-	-	+	-	низкая точность, громоздкость, привязка к аэродрому, трудности автоматизации
<b>GLS, DGLS, RTKGLS</b> спутниковые	0,1...15 м 0,1...13 м	+	-	+	-	возможность подавления, искажения
<b>LLS</b> лазерная	1...1,5 м 0,5...1 м	+	+	+	-	привязка к своему аэродрому и НПУ
<b>VBLS</b> на основе СТЗ	0,2...0,8 м 0,1...0,5 м	+	+	-	+	сложность алгоритмов, высокие потребные вычислительные мощности, повышенные требования к посадочной площадке
<b>ПАИСП</b> лазерная на основе СТЗ	0,5...1 м 0,5...1 м	+	+	+	+	опытная разработка

Таким образом, основным недостатком применяемых систем посадки является существенная неавтономность и слабая помехозащищенность, которые обеспечивают гарантированное использование только в идеальных условиях. Применяемые на практике средства и способы посадки не позволяют реализовать потенциальные преимущества БПЛА, повышают аварийность, приводят к срывам полетных заданий и нередко к потерям БПЛА. Предлагаемые способы решения проблем автоматической посадки БПЛА обладают существенными недостатками, несовместимыми с современными требованиями. Имеются перспективные опытные разработки, но на данный момент нет ни одной такой системы, которая была бы готова для серийного производства и массового рынка. Поэтому предлагается разработать аналогичную систему системе ПАИСП, которая отвечает поставленным требованиям.

Изъято со страницы 17 по страницу 55 включительно из-за коммерческой тайны.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы над данным проектом в команде разработчиков компании «Автономные аэрокосмические системы-ГеоСервис» была создана система автономной посадки. Полученная система была успешно протестирована на БПЛА вертолетного типа «Лямбда».

В системе реализовано:

- определение линейных и угловых скоростей;
- определение координат ЛА относительно ИК-маяков;
- распознавание изображений ИК-маяков;
- автономная посадка по ИК-маякам.

Разработанный аппаратно-программный комплекс успешно используется в компании «Автономные аэрокосмические системы-ГеоСервис» и АО «НПП «Исток» им. Шокина».

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АРМ — Автоматизированное рабочее место;
- БАС — Беспилотные авиационные системы;
- БВС — Беспилотное воздушное судно;
- БПЛА — Беспилотный летательный аппарата;
- ВПП — Взлетно-посадочная полоса;
- ГНСС — Глобальная навигационная спутниковая система;
- ГСП — Гиростабилизированная платформа;
- ДН — Диаграмма направленности;
- ИК — Инфракрасный;
- КГС — Курсо-глиссадные системы;
- КУ — Курсовой угол;
- ЛА — Летательный аппарат;
- ЛВ — Линия визирования;
- ЛКЗ — Линия курса захода;
- МСП — Микроволновая система посадки;
- МШВ — Международная шкала видимости;
- НПС — Нижняя полусфера;
- ОСП — Область снижения и посадки;
- ОЭС — Оптико-электронная система;
- ПО — Программное обеспечение;
- ПОР — Программно определяемая радиосистема;
- ППС — Передняя полусфера;
- РСБН — Радиотехническая система ближней навигации;
- РТ — Расчетная точка;
- РТП — Расчетная точка посадки;
- РТС — Расчетная точка снижения;
- САУ — Система автоматического управления;
- СПИК — Система позиционирования на основе инфракрасных меток;
- СТЗ — Система технического зрения;
- УН — Угол наклона;
- ЦПУ — Центральное обрабатывающее устройство;

DME — Всенаправленный дальномерный радиомаяк;  
ILS — Instrument landing system;  
ITAR — Правила международной торговли оружием;  
LLS — Laser landing system;  
MLS — Microwave landing system;  
VBLS — Visual based landing system;  
VOR — Всенаправленный азимутальный радиомаяк.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. In-Car Jammers are Killing GNSS Integrity. // GPSPATRON : site. — 2022. — URL: <https://gpspatron.com/in-car-jammers-are-killing-gnss-integrity/> (дата обращения: 23.09.2023).
2. Murrian, M. J. First results from three years of GNSS interference monitoring from low Earth orbit / M. J. Murrian, L. Narula, P. A. Iannucci, S. Budzien [et al.] // NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation. — 2021. — Vol. 68, Iss. 4. — P. 673–685.
3. Yang, Z. Global View of Ionospheric Disturbance Impacts on Kinematic GPS Positioning Solutions During the 2015 St. Patrick’s Day Storm / Z. Yang, Y. T. Jade Morton, I. Zakharenkova, I. Cherniak [et al.] // Journal of Geophysical Research: Space Physics. — 2020. — Vol. 125, Iss. 7. — P. 1–18.
4. Мореходные таблицы, МТ-2000 / Э. С. Бородин, В. Н. Костин, К. А. Емец, Н. М. Груздев. — Санкт-Петербург : ГУНиО, 2002. — 575 с.
5. ГОСТ Р 51747-2001. Система инструментального захода летательных аппаратов на посадку сантиметрового диапазона волн радиомаячная. Основные параметры и методы измерений. : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 15 мая 2001 г. № 206-ст : введен впервые : дата введения 2002-01-01 / разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом радиопаратуры ООО. — Москва : ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 2002. — 57 с.
6. Жихарев, В. П. Проблемы развития перспективных средств инструментального захода на посадку воздушных судов / В. П. Жихарев, Л. К. Зазерский, Г. А. Ершов, Ю. Т. Криворучко [и др.] // Радиопромышленность. — 2015. — № 4. — С. 107–118.
7. Современные и перспективные информационные ГНСС-технологии в задачах высокоточной навигации / В. А. Бартенев, А. К. Гречкосеев, Л. А. Козорез, М. Н. Красильщиков [и др.] ; под ред. В. А. Бартенева, М. Н. Красильщикова. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2014. — 192 с.
8. OPATS. The Laser-based Automatic Landing Systems for UAVS. // RUAG : pdf. — 2021. — URL: [https://www.ruag.ch/sites/default/files/2021-03/210226\\_Factsheet\\_OPATS.pdf](https://www.ruag.ch/sites/default/files/2021-03/210226_Factsheet_OPATS.pdf) (дата обращения: 23.09.2023).

9. В РФ разработана собственная лазерная система автоматической посадки беспилотников ЛСОК. // Военное обозрение : электронный журнал. — 2017. — URL: <https://topwar.ru/121261-v-rf-razrabotana-sobstvennaya-lazernaya-sistema-avtomaticheskoy-posadki-bespilotnikov-lsok.html> (дата обращения: 23.09.2023).
10. Логвин, А. И. Алгоритмы автоматического распознавания взлетно-посадочной полосы на видеоизображениях / А. И. Лонгвин, А. В. Волков // Научный вестник МГТУ ГА. — 2015. — № 213. — С. 115–117.
11. Mohanraj, V. R. Vision based landing for unmanned aerial vehicle / V. R. Mohanraj // IEEE Aerospace Conference Proceedings. — 2011. — P. 1–8.
12. Schauwecker, K. Markerless Visual Control of a Quad-Rotor Micro Aerial Vehicle by Means of On-Board Stereo Processing / K. Schauwecker, N. R. Ke, S. A. Scherer, A. Zell // Autonomous Mobile Systems Conference. — 2012. — P. 11–20.
13. Mohanraj, V. R. Airborne Vision-Based Navigation Method for UAV Accuracy Landing Using Infrared Lamps / V. R Mohanraj // Journal of Intelligent & Robotic Systems. — 2013. — P. 197–218.
14. Saripalli, S. Visually-Guided Landing of an Unmanned Aerial Vehicle / S. Saripalli, J. F. Montgomery, G. S. Sukhatme // IEEE Transactions on Robotics and Automation. — 2003. — Vol. 19. — P. 371–381.
15. Zhao, Y. An Improved Vision-based Algorithm for Unmanned Aerial Vehicles Autonomous Landing Autonomous Landing / Y. Zhao, H. Pei // Physics Procedia. — 2012. — Vol. 33. — P. 935–941.
16. Бондарев, В. Г. Автоматическая посадка летательного аппарата / В. Г. Бондарев, Д. В. Лопаткин, Д. А. Смирнов // Научный вестник ВГУ, серия системный анализ и информационные технологии. — 2018. — № 2. — С. 44–51.
17. Локальная навигация беспилотного летательного аппарата при движении по взлетно-посадочной полосе к месту стоянки / В. Г. Бондарев, Д. А. Смирнов, Н. И. Майгурова, О. Л. Ерин // Вестник Академии военных наук. — 2019. — № 3. — С. 89–94.
18. Методика увеличения дальности получения устойчивого изображения лазерных наземных маяков на фотоматрице бортовой камеры беспилотного летательного аппарата / Д. А. Смирнов, А. С. Молчанов, В. Г. Бондарев, Н. И. Майгурова // Журнал I-METHODS. — 2020. — Т. 12 — № 2. — С. 1–13.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## АКТ О ВНЕДРЕНИИ 1



# АВАКС

Автономные  
аэрокосмические  
системы

ООО НПП «Автономные аэрокосмические  
системы-GeoСервис»  
(ООО НПП «АВАКС-GeoСервис»)  
660079, г. Красноярск, ул. Электриков, 156/1  
ОГРН: 1122468015999  
ИНН: 2461217337  
КПП: 246401001  
ОКПО: 38592641  
тел.: +7 (391) 286-61-09  
e-mail: info@uav-siberia.com  
www.uav-siberia.com

Исх. № б/н от 13.06.2024 г.

### АКТ

**о внедрении (использовании) результатов выпускной квалификационной работы  
Абрамова Сергея Анатольевича**

**Тема работы:** «Автономная посадка беспилотного летательного аппарата в условиях  
отсутствия глобальной навигационной системы связи»

представленную к защите по направлению подготовки  
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Настоящим актом подтверждаем, что результаты выпускной квалификационной работы «Автономная посадка беспилотного летательного аппарата в условиях отсутствия глобальной навигационной системы связи» Абрамова Сергея Анатольевича использованы в деятельности предприятия ООО НПП «АВАКС-GeoСервис» для реализации системы позиционирования на основе инфракрасных меток (обозначение СПИК, десятичный номер AVASYS.0058.-0) в рамках проекта «Разработка и изготовление средств обеспечения автоматического захода на оборудованной посадочной площадке».

Исполнительный директор  
ООО НПП «АВАКС-GeoСервис»



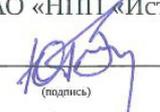
Нигруца И.В.

www.uav-siberia.com

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б АКТ О ВНЕДРЕНИИ 2

УТВЕРЖДАЮ

Начальник НИЦ Робототехники  
АО «НПП «Исток» им. Шокина»

  
(подпись) Ю.А. Белицкий (ФИО)

« 29 » 03 2024 г.

### АКТ

**передачи в опытную пилотную эксплуатацию (апробацию)  
опытного образца бортового комплекса системы автоматического захода на посадку  
беспилотного летательного аппарата (БЛА)**

(наименование системы)

Краснодарск  
(место издания акта)

« 29 » Марта 2024 г.

На основании и в соответствии с Соглашением о сотрудничестве и совместной деятельности от 04.03 2024 г. между АО «НПП «Исток» им. Шокина» и ООО НПП «АВАКС-ГеоСервис», согласно техническому заданию к договору № 816ГРНТИС5/72394 от 28.12.2021 г. с Фондом содействия инновациям (ФСИ) по проекту «Разработка и изготовление средств обеспечения автоматического захода на посадку и выполнения взлетно-посадочных операций беспилотного воздушного судна на оборудованной посадочной площадке», в период с 28.12.2021 г. по 27.01.2024 г. производилась разработка опытного образца бортового комплекса системы автоматического захода на посадку БЛА.

(наименование системы)

В соответствии с протоколом приемочных испытаний от 14.03.2024 г., 15.03.2024 г. опытный образец бортового комплекса системы автоматического захода на посадку БЛА,

(наименование системы)

в составе:

- системы позиционирования на основе инфракрасных меток (обозначение: СПИК, десятичный номер AVASYS.0058-0) и
  - системы посадки на основе трехмерного сканера местности (обозначение: СП ЛИДАР, десятичный номер AVASYS.0057-0),
- признан соответствующим требованиям технического задания и готов к передаче для проверки работоспособности и освоения пользователями в опытную пилотную эксплуатацию (апробацию).

Опытную пилотную эксплуатацию (апробацию) провести в АО «НПП «Исток» им. Шокина» с 29.03 2024 г. по 30.04 2024 г.

(наименование организации)

Все ошибки в программно-аппаратной системе автоматического захода на посадку БЛА, выявленные в период опытной пилотной эксплуатации устранить разработчику:

ООО НПП «АВАКС-ГеоСервис»

(ответственный разработчик)

**От разработчика:**

Генеральный директор  
ООО НПП «АВАКС-ГеоСервис»



Е.Д. Крылов  
(ФИО)

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 О. В. Непомнящий

« 17 » 06 2024 г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Автономная посадка беспилотного летательного аппарата в условиях отсутствия  
глобальной навигационной системы связи

Руководитель	 17.06.24 подпись, дата	доцент, канд. техн. наук должность, ученая степень	Н. Ю. Сиротинина
Выпускник	 17.06.24 подпись, дата		С. А. Абрамов
Нормоконтролер	 17.06.24 подпись, дата	доцент, канд. техн. наук должность, ученая степень	Н. Ю. Сиротинина

Красноярск 2024