

На правах рукописи



Рябцев Максим Вадимович

**Методы и средства повышения
техничко-эксплуатационных характеристик
оптико-электронной системы ориентации
беспилотного воздушного судна**

Специальность 05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы (в промышленности)»

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Тула – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тульский государственный университет»

Научный руководитель: Кандидат технических наук, доцент
Алалуев Роман Владимирович.

Официальные оппоненты: Подмастерьев Константин Валентинович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», директор института;

Кожеуров Максим Александрович,
кандидат технических наук, ООО «Ясногорский насосный завод», заместитель коммерческого директора.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

Защита состоится «24» сентября 2019 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 212.271.07, созданного на базе ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (300012, г. Тула, пр. Ленина, д. 92, 9-101).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (http://tsu.tula.ru/files/67/Ryabtsev_dissertation.pdf)

Автореферат разослан «03» июля 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Иванов
Юрий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Согласно исследованию, проведенному компанией J'son & Partners Consulting, рынок беспилотных воздушных судов (БВС) имеет устойчивую тенденцию к росту. По мнению экспертов, большие перспективы использования БВС открываются в сфере общественной безопасности, транспорта и точного земледелия. В этих областях использование БВС может быть весьма эффективно, при этом предпочтение отдается комплексам, работающим за пределами видимости, так как они обеспечивают охват большой территории, а также безопасность внешнего экипажа. Для полетов за пределами видимости на обширных территориях предпочтение отдается БВС с неподвижным крылом. За счет аэродинамического принципа полета и меньшего количества двигателей, по сравнению с БВС с несущими винтами, такие аппараты могут дольше находиться в воздухе и развивать большую скорость. При этом они могут нести большую полезную нагрузку на большие расстояния при меньшем расходе энергии. В таких условиях для определения угловой ориентации (УО) БВС успешно применяются оптико-электронные информационно-измерительные системы и датчиками инфракрасного излучения (ИК-датчиками). Определение УО осуществляется путем измерения окружающего инфракрасного фона и основано на наличии температурного градиента между подстилающей поверхностью и атмосферой. В свою очередь на величину градиента оказывают влияние метеорологические факторы, которые могут изменяться в ходе длительных полетов. Такие изменения отрицательно сказываются на работе оптико-электронной системы определения УО по причине того, что ее калибровка производится непосредственно перед полетом. Калибровка осуществляется оператором, что сопряжено с возможностью возникновения ошибок в следствие неправильных действий. Помимо этого, принцип работы информационно-измерительной системы предполагает строго определенное взаимное расположение ИК-датчиков, что затрудняет ее применение на БВС различной конструкции ввиду возможного частичного или полного экранирования поля зрения датчиков элементами фюзеляжа, а также попадания в поле зрения источников побочного инфракрасного излучения, таких как двигатели.

В контексте рассмотренных проблем, задача повышения технических и эксплуатационных характеристик оптико-электронной информационно-измерительной системы определения УО БВС является

актуальной задачей. Решение задачи требует комплексного подхода, включающего оптимизацию конструкции, алгоритмов работы и калибровки системы и опирающегося на современные методы получения, обработки и анализа информации.

Объектом исследования является оптико-электронная информационно-измерительная система определения угловой ориентации (СОУО) БВС с неподвижным крылом.

Предметом исследования являются методы и средства, направленные на повышение технико-эксплуатационных характеристик СОУО БВС.

Степень разработанности. Решению задач определения ориентации БВС по окружающему инфракрасному фону посвящены работы Laughter J.S., Gwozdecki J.A., Binder D.B. В патенте US Patent No. 6,181,989 от 30.01.2001 г. автором предложен способ определения углов тангажа и крена БВС, базирующийся на информации от четырех ИК-датчиков, расположенных вдоль продольной и поперечной оси фюзеляжа. Углы ориентации вычисляются на основе разностного сигнала двух противоположно направленных датчиков.

Задачи оптимизации оптико-электронной СОУО БВС с использованием ИК-датчиков решены в работах Распопова В.Я., Товкача С.Е. Авторы предлагают алгоритм комплексирования информации, полученной от ИК-датчиков с данными датчиков угловой скорости (ДУС), что позволяет сохранять работоспособность системы при возникновении ошибок ИК-датчиков. Также предложен вариант комплексирования информации ИК-датчиков и данных магниторезистивных датчиков, что позволяет определять угол рысканья в дополнение к углам тангажа и крена.

Анализ современных исследований позволил определить способы повышения технических и эксплуатационных характеристик и установить, что в литературе по теме работы не решена проблема применимости системы ИК-датчиков в составе СОУО на БВС с различной конструкцией фюзеляжа, отсутствуют исследования влияния метеорологических условий на работоспособность системы, а также не предложены способы автоматической предполетной калибровки системы. В связи с этим сформулированы цели и задачи исследования.

Цель и задачи. Целью работы является повышение технико-эксплуатационных характеристик СОУО БВС путем разработки новых конструктивных и программных решений.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

1. Получены оригинальные аналитические зависимости, позволяющие определять УО БВС при различном расположении ИК-датчиков относительно фюзеляжа.

2. Разработан оригинальный алгоритм определения УО БВС путем комплексирования данных ИК-датчиков и ДУС.

3. Проведено уникальное исследование инфракрасной светимости атмосферы и подстилающей поверхности, дающее представление о степени влияния метеорологических параметров на выходной сигнал ИК-датчиков.

4. Разработаны оригинальные математические модели, позволяющие определять выходной сигнал ИК-датчика на основе метеорологических параметров.

5. Предложен метод автоматической калибровки системы ИК-датчиков в составе СОУО БВС на основе текущей метеорологической информации.

Научная новизна. Научная новизна диссертационной работы определяется следующими результатами:

1. Разработан метод определения УО БВС, отличающийся тем, что позволяет определять углы тангажа и крена при различной ориентации пар ИК-датчиков относительно фюзеляжа.

2. Разработан алгоритм комплексирования данных ИК-датчиков и ДУС на основе кватернионного исчисления с применением дискретного цифрового фильтра нижних частот, позволяющий повысить технико-эксплуатационные характеристики СОУО БВС как во время маневрирования, так и в процессе прямолинейного полета.

3. Получены результаты эмпирического исследования зависимости выходного сигнала ИК-датчика семейства MLX90614 от метеорологических факторов при различных положениях его оптической оси относительно горизонта, позволяющие учесть эти факторы при математическом моделировании выходного сигнала датчика.

4. Получены результаты регрессионного и нейросетевого моделирования выходного сигнала ИК-датчика семейства MLX90614, позволяющие проводить калибровку системы ИК-датчиков в составе СОУО БВС в автоматическом режиме.

5. Предложен метод автоматической калибровки системы ИК-датчиков в составе СОУО БВС на основе информации о текущей ме-

теорологической обстановке, позволяющий упростить работу оператора и уменьшить время готовности системы, а также дающий возможность производить повторную калибровку во время полета.

Теоретическая и практическая значимость. Исследования, выполненные в диссертационной работе, позволили создать новые модели выходных сигналов ИК-датчиков, а также установить в какой степени влияют на них метеорологические параметры.

Практическая значимость заключается в разработке метода определения УО БВС, позволяющего располагать пары ИК-датчиков под произвольными углами относительно фюзеляжа, что расширяет возможность применения системы на БВС различной конструкции. Также предложен метод автоматической предполетной калибровки системы ИК-датчиков, уменьшающий время калибровки и снижающий вероятность возникновения ошибок вследствие неправильных действий оператора.

Методология и методы исследования. В ходе выполнения диссертационной работы для сбора информации, являющейся основой исследования, были применены эмпирические методы, такие как наблюдение, прямое и косвенное измерение. При обработке данных были использованы методы корреляционного и регрессионного анализа, а также нейросетевого моделирования. Для решения задач математического моделирования и вычислений были применены современные среды технических расчетов и пакеты прикладных программ. На этапе изготовления макетного образца были использованы технологии 3D-моделирования и методы объектно-ориентированного программирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод определения углов тангажа и крена БВС при различном расположении ИК-датчиков относительно фюзеляжа.
2. Алгоритм определения УО БВС с комплексированием данных ИК-датчиков и ДУС.
3. Результаты эмпирического исследования инфракрасной светимости атмосферы и подстилающей поверхности.
4. Результаты моделирования значений выходного сигнала ИК-датчика на основе метеорологических параметров.
5. Метод автоматической калибровки системы ИК-датчиков в составе СОУО БВС на основе текущей метеорологической информации.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Отраженные в диссертации научные положения соответствуют области исследования (п. 6 «Исследование возможностей и путей совершенствования существующих и создания новых элементов, частей, образцов информационно-измерительных и управляющих систем, улучшение их технических, эксплуатационных, экономических и эргономических характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений») специальности 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (в промышленности).

Степень достоверности и апробация результатов. Научные результаты диссертационной работы прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях различного уровня: Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов (г. Тула, 2013 г., 2014 г.), Информационные технологии в науке, образовании и производстве (г. Орел, 2014 г.), Современные тенденции развития науки и технологий (г. Белгород, 2015 г., 2017 г.), Наука и образование третьего тысячелетия (г. Москва, 2016 г.), Системы управления движением и навигация. Современное состояние и перспективы (г. Тула, 2016 г.), Юбилейная XXV Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам (г. Санкт-Петербург, 2018 г.). Достоверность теоретических положений и результатов исследования подтверждена моделированием и использованием пакетов STATISTICA и Wolfram Mathematica.

Личный вклад автора. Представленные в диссертации результаты исследования получены автором лично. Результаты работы отмечены дипломами Фестиваля науки «РГУ.science» (г. Рязань, 2014 г.), Центральной выставки Фестиваля науки «Наука 0+» (г. Москва, 2015 г.), выставки «Изобретатель и рационализатор - 2015» (г. Тула, 2015 г.), секции «Вузовская наука и авиационно-техническое творчество молодежи» МАКС-2017 (г. Жуковский, 2017 г.), а также стипендией Президента РФ (2014 г.), Правительства РФ (2013 г., 2018 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 15 печатных работ, из них 5 статей в изданиях, входящих в Перечень ВАК, 1 статья в издании, входящем в международную базу цитирования Scopus. Получен патент РФ (№2634092, приоритет 20.06.2016 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, приложения и изложена на 158 страницах машинописного текста, включая 39 рисунков, 33 табли-

цы, 111 наименований используемых источников. Отдельные выводы даны в конце каждого раздела, основные теоретические и практические результаты – в заключении диссертации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность разработки новых конструктивных и программных решений для повышения технико-эксплуатационных характеристик СОУО БВС, сформулирована цель и поставлены задачи исследовательской работы, охарактеризована из научная новизна и практическая значимость.

В первом разделе представлены результаты анализа способов повышения технических и эксплуатационных характеристик оптико-электронной информационно-измерительной СОУО БВС. Установлено, что наиболее распространенными типами являются БВС с несущими винтами и БВС с жестким крылом. Учитывая большое количество вариантов конструкций БВС, необходима возможность различной установки ИК-датчиков относительно фюзеляжа, чтобы элементы корпуса БВС не перекрывали их поле зрения, сохраняя при этом работоспособность системы. Так как большинство задач выполняются БВС за пределами видимости, успех выполнения миссии зависит от систем управления и ориентации. Основными недостатками существующих систем являются температурный дрейф нулевого сигнала ДУС, а также зависимость показаний акселерометров от динамических параметров БВС в процессе полета. При определении УО БВС ИК-датчики обладают преимуществом перед ДУС, ввиду отсутствия температурного дрейфа нулевого сигнала, отсутствия зависимости от динамических параметров БВС в процессе полета, а также возможности поддерживать стабильный прямолинейный полет на протяжении длительного времени. ИК-датчики обладают меньшей точностью при определении УО по сравнению с ДУС, что связано с сильной зависимостью от текущей метеорологической обстановки. В этой связи необходимо исследовать степень влияния метеорологических параметров на выходной сигнал ИК-датчиков с целью нахождения путей устранения возможных ошибок. Помимо этого, для повышения эффективности работы системы ИК-датчиков в составе СОУО БВС необходимо комплексирование с другими информационно-измерительными системами. Также необходимо учитывать, что точность определения УО БВС с использованием системы ИК-датчиков зависит от её предполетной калибровки, заключающейся в определении рабочего диапазона выходного сигнала датчи-

ков. Проведение калибровки вручную сопряжено с возможностью возникновения ошибок из-за попадания в поле зрения ИК-датчиков посторонних объектов, поэтому необходим поиск путей усовершенствования этого процесса.

Во втором разделе разработан метод определения УО БВС на основе концепции направляющих векторов (рис. 1). Метод является универсальным, поскольку может быть реализован на базе различных датчиков. В случае использования ИК-датчиков, применение данного метода позволяет создавать наиболее оптимальные с точки зрения расположения ИК-датчиков варианты реализации конструкции СОУО для различных типов БВС.

В результате получены аналитические зависимости (1, 2), позволяющие определять угол тангажа и крена БВС при различной ориентации ИК-датчиков относительно фюзеляжа:

$$\vartheta = \frac{\pi}{2} - \arccos \left[\sin h_{d1} \cos \varepsilon_{d1} + \frac{\sin \varepsilon_{d1} (\sin h_{d2} - \sin h_{d1} \cos (\varepsilon_{d1} - \varepsilon_{d2}))}{\sin (\varepsilon_{d1} - \varepsilon_{d2})} \right], \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \arccos \left[\frac{\sin h_{d1} - \sin \vartheta \cos \varepsilon_{d1}}{\cos \vartheta \sin \varepsilon_{d1}} \right], \quad (2)$$

где h_{d1} и h_{d2} - углы возвышения направляющих векторов $\overline{d1}$ и $\overline{d2}$ соответственно, ε_{d1} и ε_{d2} - углы между продольной осью БВС и направляющими векторами $\overline{d1}$ и $\overline{d2}$ соответственно.

Разработан алгоритм определения УО БВС на основе комплексирования данных ДУС и системы ИК-датчиков (рис. 2). При этом высокая чувствительность ДУС компенсирует погрешность определения УО системой ИК-датчиков при больших углах в процессе маневрирования, а высокая стабильность системы ИК-датчиков в условиях прямолинейного полета компенсирует температурный дрейф нулевого сигнала ДУС. Выполнение алгоритма можно разделить на три этапа: вычисление кватернионов, комплексирование, вычисление УО. Повышение быстродействия достигается за счет того, что в качестве обратной связи на вход алгоритма поступают не значения углов, а компоненты результирующего кватерниона. Это исключает необходимость применения ресурсоемких тригонометрических операторов для перехода от углов к кватерниону. Применение кватернионного исчисления при комплексировании позволяет снизить вычислительные затраты алго-

ритма на 34,7% по сравнению с предшествующим вариантом реализации алгоритма.

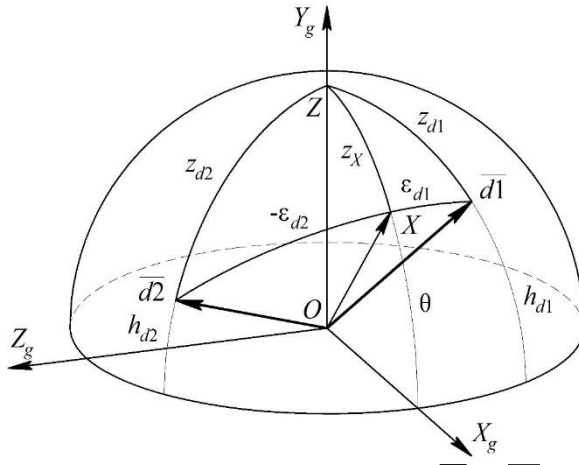


Рисунок 1 - Ориентация направляющих векторов $\overline{d1}$ и $\overline{d2}$ в нормальной системе координат.

В третьем разделе представлены результаты исследования, направленного на установление тесноты взаимосвязи выходных сигналов ИК-датчиков с метеорологическими условиями. В качестве независимых параметров исследования выступают 12 факторов, характеризующих текущую метеорологическую обстановку. Среди них температура и относительная влажность воздуха, атмосферное давление и видимость, балл общей облачности, скорость и направление ветра, тип облаков, осадков и подстилающей поверхности, дата и время наблюдения. В качестве зависимых переменных выступают значения выходного сигнала ИК-датчика MLX90614ESF-BAA при различных углах возвышения его оптической оси относительно горизонта. Измерения проведены с использованием установки, осуществляющей поворот измерительного модуля на 180° - от зенита до надира. Время проведения измерений приближено ко времени формирования метеорологической сводки. Продолжительность исследования составляет 7 месяцев (с января по июль) с целью максимально полного охвата диапазона варьирования исследуемых параметров. По результатам исследования зафиксировано 343 наблюдения, которые лежат в основе корреляционного анализа.

Установлено, что влияние атмосферного давления, направления ветра и атмосферной видимости на выходной сигнал ИК-датчика статистически незначимо.

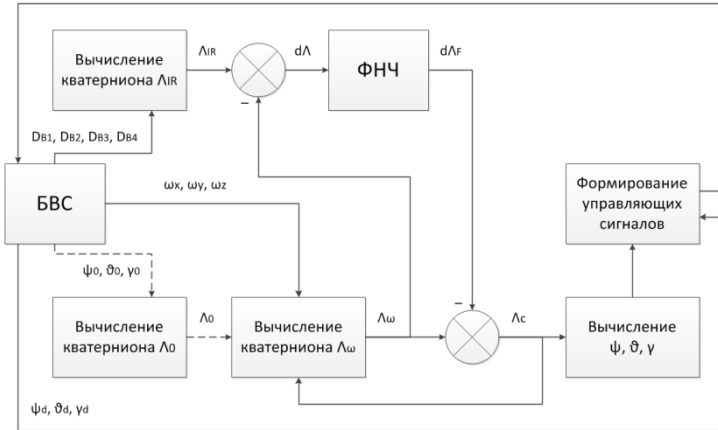


Рисунок 2 - Алгоритм определения угловой ориентации БВС с комплексированием данных МЭМС-ДУС и ИК-датчиков

Наибольшее влияние на выходной сигнал оказывает температура воздуха и балл общей облачности. Далее по степени влияния следует балл общей облачности и время суток. При этом следует отметить, что балл общей облачности является ключевым фактором, влияющим на диапазон изменения выходного сигнала. Слабая, но, тем не менее, статистически значимая взаимосвязь наблюдается с относительной влажностью воздуха, типом облаков, скоростью ветра и типом осадков.

По результатам исследования получены регрессионные модели выходного сигнала ИК-датчика, описывающие его максимальное и минимальное значения:

$$D_{\max} = 5,416 + 1,01T - 5,003Tm - 0,253Ff - 0,016U - 0,067N + k_S S, \quad (3)$$

$$D_{\min} = -27,69 + 1,1T + 1,312N + 0,084C + 0,481U + 0,21W - 1,725Tm + k_S S, \quad (4)$$

где T – температура воздуха, Tm – время суток, Ff – скорость ветра, U – относительная влажность воздуха, N – балл общей облачности, C – тип облаков, W – тип осадков, k_S – коэффициент типа подстилающей поверхности, S – тип подстилающей поверхности.

Выражения (3,4) позволяют использовать текущие метеорологические данные для калибровки системы ИК-датчиков в составе

СОУО БВС. Также на основании данных, полученных в результате исследования, обучен ряд нейронных сетей, осуществляющих расчет максимального и минимального значений выходных сигналов ИК-датчиков. Наилучшие результаты показали сети с экспоненциальной и гиперболической функциями активации. Установлено, что в обоих случаях устоявшаяся производительность составляет около 98,4%, однако при использовании гиперболической функции активации это значение достигается использованием меньшего количества нейронов, что снижает вычислительные затраты.

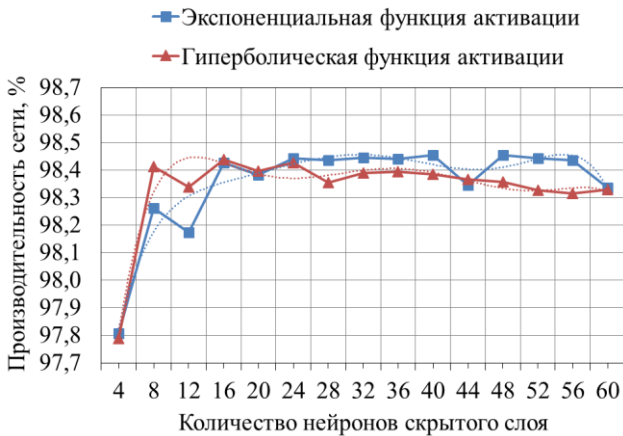


Рисунок 3 - Зависимость производительности нейронной сети от функции активации и количества нейронов скрытого слоя

При сопоставлении стандартных ошибок регрессионной и нейросетевой моделей (табл. 1) установлено, что при определении максимального и минимального значения выходного сигнала ИК-датчика с помощью нейронной сети меньше, чем в случае использования регрессионных моделей.

Таблица 1 – Стандартная ошибка выходного сигнала ИК-датчика, рассчитанного с помощью нейронной сети и регрессионных моделей

Величина	Стандартная ошибка нейронной сети, °С	Стандартная ошибка регрессионной модели, °С
D_{\max}	1,238	1,458
D_{\min}	1,977	2,607

Указанная величина стандартной ошибки нейронной сети обеспечивает расчет УО БВС посредством рассмотренного выше алгоритма с погрешностью порядка 1,5°, что соответствует погрешности типовых авиагоризонтов, а следовательно позволяет использовать нейронную сеть для автоматической калибровки системы ИК-датчиков в составе СОУО БВС.

С учетом полученных результатов предложен метод автоматической калибровки системы ИК-датчиков в составе СОУО БВС, существенно упрощающий работу оператора и уменьшить время готовности БВС к полету (табл. 2). Метод включает в себя следующие этапы: сбор данных, необходимых для обучения нейронной сети, подготовка данных (удаление выбросов, кодирование, масштабирование), обучение и загрузка нейронной сети в СОУО БВС, загрузка метеоданных и вычисление значений необходимых параметров. Благодаря тому, что метеорологическая информация находится в свободном доступе, производить загрузку данных и осуществлять калибровку можно непосредственно в процессе полета.

Таблица 2 - Сравнительная оценка рассмотренных типов калибровок

Тип калибровки	Количество действий оператора	Время, затрачиваемое на калибровку, с
Ручная	5	115
Автоматическая	1	5
Автоматическая без связи с интернетом	2	18

В результате применения автоматической калибровки вместо ручной удастся сократить количество действий оператора с 5 до 1-2, а также уменьшить время готовности БВС в 6-23 раз.

В заключении диссертационной работы изложены основные результаты, полученные в ходе исследования, а также сформулированы выводы к работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги исследования. В соответствии с поставленными целями, в диссертационной работе разработаны конструктивные и программные решения, позволяющие повысить технико-эксплуатационных характеристик оптико-электронной информационно-измерительной СОУО БВС. Основные результаты исследований, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Получены аналитические зависимости для определения УО БВС при различной ориентации ИК-датчиков относительно фюзеляжа, позволяющие применять СОУО на БВС различной конструкции.

2. Разработан алгоритм определения УО БВС на основе комплексирования данных ИК-датчиков и ДУС, обеспечивающий стабильную работу СОУО как во время маневрирования, так и во время длительного прямолинейного полета, и снижающий вычислительную нагрузку на 34,7%.

3. Получены результаты эмпирического исследования, демонстрирующие сильную корреляцию выходного сигнала ИК-датчика с метеорологическими параметрами, что дает возможность использования их для калибровки системы ИК-датчиков в составе СОУО БВС.

4. Разработаны регрессионные и нейросетевые модели, позволяющие определять значения выходного сигнала ИК-датчика с величиной стандартной ошибки, не превышающего в частности 2°C , что дает возможность проведения автоматической калибровки системы ИК-датчиков в составе СОУО БВС на основе метеорологических данных.

5. Предложен метод автоматической калибровки системы ИК-датчиков в составе СОУО БВС, позволяющий сократить количество действий оператора с 5 до 1-2, уменьшить время готовности БВС в 6-23 раз, а также производить повторную калибровку во время полета.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Применение разработанных конструктивных и программных решений не ограничивается БВС с неподвижным крылом. Сфера применения результатов научно-исследовательской работы охватывает широкий спектр вариантов конструкции БВС благодаря гибкости подходов к построению моделей и алгоритмов.

К перспективам дальнейшей разработки темы относятся такие направления, как исследование инфракрасной светимости расширенного спектра типов подстилающих поверхностей, а также сбор и обработка и анализ соответствующих статистических данных.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи в изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Рябцев М.В. Алгоритм самодиагностики и коррекции режима работы пилотажно-навигационного комплекса авиамодели // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11: в 2 ч. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – С. 250-258.

2. Рябцев М.В., Распопов В.Я., Матвеев В.В. и др. Микросистемы ориентации // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 10. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – С. 239-265.
3. Рябцев М.В., Алалуев Р.В. Влияние метеорологических факторов на инфракрасную светимость атмосферы и подстилающей поверхности // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 9: в 2 ч. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 195-201.
4. Рябцев М.В. Нейросетевое моделирование выходного сигнала датчика инфракрасного излучения // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 7. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 219-256.
5. Рябцев М.В. Регрессионное моделирование выходного сигнала датчика инфракрасного излучения // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии №2 (322) 2017, С. 121-125.
6. Рябцев М.В., Алалуев Р.В. Способ определения угловой ориентации беспилотного летательного аппарата: пат. 2634092 РФ. № 2016124444; заявл. 20.06.16; опубл. 23.10.17, Бюл. № 30 – 8 с.
7. M.V. Ryabtsev, R.V. Alaluev Application of Neuro Network Modeling for Calibration of Pyrometric System for Unmanned Aircraft Orientation // 25th Anniversary Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. Proceedings. Saint Petersburg, Russia, 2018. – P. 157-159.

Публикации в других изданиях:

8. Рябцев М.В. Математическая модель пирометрического датчика, моделирование и анализ полученных зависимостей // Сборник докладов XII Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых "Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов". Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – С. 269-275.
9. Рябцев М.В. Алгоритм выбора режима работы пилотажно-навигационного комплекса на основании вектора состояния беспилотного летательного аппарата // Сетевое научное издание "Информационные ресурсы, системы и технологии". Материалы ИТНОП-2014, 2014. – С. 1-6.
10. Рябцев М.В. Определение зависимости угла возвышения оптической оси инфракрасного приемника излучения, направленной под углом к продольной оси беспилотного летательного аппарата, от углов тангажа и крена // VIII Региональная молодежная научно-практическая конференция Тульского государственного университета "Молодёжные

инновации": сборник докладов; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ядыкина Е.А.: в 3 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. Ч. II. 244 с.: ил. – С. 19-20.

11. Рябцев М.В. Определение углов ориентации беспилотного летательного аппарата путем комплексирования показаний инфракрасных датчиков и датчиков угловой скорости // XIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых "Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов": материалы докладов. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – С. 108-111.

12. Рябцев М.В. Определение углов тангажа и крена беспилотного летательного аппарата при известных углах возвышения оптических осей двух пирометрических датчиков, расположенных под углом к продольной оси беспилотного летательного аппарата // VIII Региональная молодежная научно-практическая конференция Тульского государственного университета "Молодёжные инновации": сборник докладов; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ядыкина Е.А.: в 3 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. Ч. II. 244 с.: ил. – С. 20-22.

13. Рябцев М.В. Алгоритм определения ориентации авиамодели путем комплексирования показаний датчиков инфракрасного излучения и датчиков угловой скорости. Моделирование и анализ результатов // Современные тенденции развития науки технологий: сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической конференции 30 апреля 2015 г.: в 7 ч. / Под общ. Ред. Е.П. Ткачевой. - Белгород: ИП Ткачева Е.П., 2015. - Часть II. – С. 105-108.

14. Рябцев М.В. Анализ влияния метеорологических факторов на инфракрасную светимость атмосферы // Электронный научный журнал № 5(8)•2016. – С. 127-133.

15. Рябцев М.В. Анализ возможности применения датчика оптического потока для определения ориентации беспилотной авиационной системы с неподвижным крылом // Современные тенденции развития науки технологий 2017 №3-4, С. 115-118.

Подписано в печать 02.07.2019 г.

Формат бумаги 70x100 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,3. Тираж 100 экз. Заказ 075к.

Отпечатано в Издательстве ТулГУ.

300012, г. Тула, просп. Ленина, 95