

МОБИЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОЙ ВОЗДУШНОЙ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Н.Ф. НИКИФОРОВ

Национальная библиотека Беларуси
Минск, Беларусь

Введение. Разработка систем автономной воздушной навигации (АВН) беспилотных летательных аппаратов (БЛА) является актуальной задачей [1]. Появление и совершенствование автономных робототехнических комплексов (к каковым относятся БЛА и системы их АВН) может стать одним из оснований для исключения возможности возникновения ряда локальных конфликтов [2].

В статье [3] предложен вариант построения информационно-измерительной системы (ИИС) для определения параметров БЛА при решении задачи автоматической их посадки на оборудованную площадку с использованием трех статичных наземных навигационных ориентиров (ННО). Данный вариант ИИС с точки зрения построения системы АВН (САВН) общего характера обладает тем недостатком, что позволяет определять параметры ориентации и навигации БЛА лишь при пролете над ним с одного направления (в небольших пределах его изменения). Второй недостаток - избыточная точность определения параметров полета БЛА для использования в САВН. Третий недостаток ИИС - относительно большие габариты трех ННО.

Решение задачи. САВН предлагается создать как распределенную ИИС, наземная часть которой является сетью ННО с известными геодезическими координатами. Для функционирования САВН будет использована геодезическая система координат, которая позволит тривиально определять текущие геодезические координаты БЛА путем решения прямой задачи геодезии [4], а затем, путем решения обратной задачи геодезии, организовать аналитическую процедуру поиска ННО сети.

На рисунке 1 представлена наземная часть ИИС, предлагаемой для построения САВН, и являющейся ННО в составе: блоки световых приборов (СП) прожекторного типа, жестко закрепленных на кронштейне (с возможностью его поворота на $3\div 6$ угловых градусов в угломестной плоскости), установленном на опорно-поворотном устройстве (ОПУ); наземная часть системы информационного обмена (СИО, НСИО);

защитный купол, отражающий внешние световые потоки на угол не менее $6 \div 10$ угловых градусов от осевой линии прожекторных лучей для улучшения контраста изображений световых отверстий прожекторов на фотоприемной матрице бортовой в/к.

ОПУ может неограниченно вращаться в азимутальной плоскости. ННО устанавливается на подготовленную площадку с известными геодезическими координатами.

В состав бортовой части ИИС входят цифровая в/к; ОПУ для в/к; специализированная система технического зрения (ССТЗ) в составе: устройство предварительной обработки изображения (УПОИ), управляющая программа ССТЗ (УП ССТЗ), математическое обеспечение для обнаружения и распознавания ННО по изображениям СП на рабочих сценах, для выделения характерных точек на изображениях СП и определения их пиксельных координат на видеокадрах; выходные данные бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС); блок вычисления параметров навигации и ориентации БЛА; ПНК; бортовая часть системы информационного обмена (БСИО) для запроса в НСИО (типа 'свой-чужой') на выдачу в БСИО стандартной по составу информации о текущем состоянии ННО.

БСИО имеет связь с УП ССТЗ, общую временную привязку с УПОИ и может быть использована для регулировки мощности СП [5].

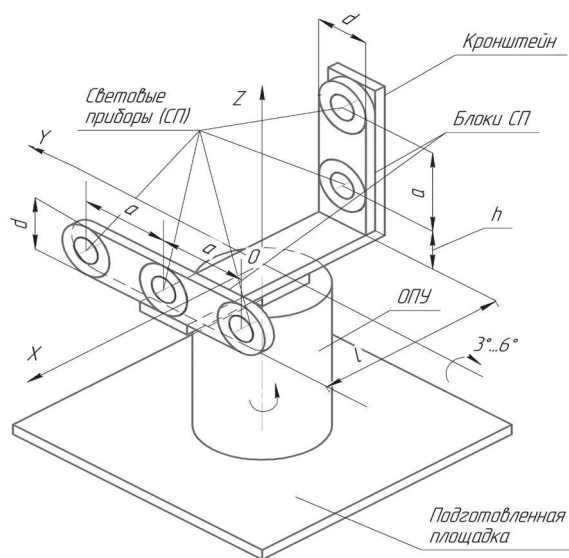


Рис.1. – ННО для построения САВН БЛА

Альтернативными источниками излучения СП в видимом диапазоне являются источники излучения в ближнем ИК-диапазоне.

В работе [6] установлено, что светодиодные маяки диапазона 0.85 мкм мощностью 10Вт, углом расходимости 30° и автономным питанием

12В, разработанные АО 'КТ - беспилотные системы', позволяют определять координаты БЛА как в ночных, так и в дневных условиях на расстоянии до 500м в непрерывном режиме излучения. В этой работе также показано, что светодиодные маяки диапазона 0.85мкм при мощности прожектора порядка 20Вт обеспечивают устойчивый захват оптическими в/к (в сочетании с узкополосным интерференционным фильтром 0.85мкм) изображений излучателей на дальности до 500м.

СП в ННО, таким образом, могут содержать источники излучения как видимого, так и ближнего ИК-диапазона (0.85 мкм), что дает возможность как раздельного, так и совместного их использования путем размещения на ОПУ разных СП в перпендикулярных направлениях их центральных осевых лучей. В данной работе для определенности принят видимый диапазон излучения в СП.

Моделирование работы ИИС для построения САВН. Для оценки точности вычисления параметров полета БЛА с помощью предлагаемого ННО были проведены серии машинных экспериментов с помощью компьютерной модели автоматической посадки (КМАП) БЛА [3], схема размещения СП в которой заметно отличается от схемы их размещения на ННО (рисунок 1) для АВН.

С помощью КМАП моделировался горизонтальный полет БЛА в турбулентной атмосфере [3] с пролетом на высотах 20 м и 30 м над статичным ННО, установленным на осевой линии взлетно-посадочной полосы (ВПП).

Характеристики модельной в/к: направление – по курсу БЛА, частота кадров 50 гц; фокусное расстояние объектива 60 мм; фотоприемная матрица (5*5) мм с размерами пикселей (5*5) мкм.

Модельная скорость полета БЛА (V), равная 30.5 м/с, оценивалась алгоритмами КМАП. С точностью не хуже 6%.

Точность вычисления параметров навигации и ориентации БЛА (для коррекции БИНС) оценивалась при подлете БЛА к ННО на двух малых интервальных расстояниях БЛА от ННО (таблица 1). Объемы выборок в сериях экспериментов различаются. Это вызвано случайным характером точечных оценок $\tilde{V}$ модельной скорости полета БЛА (V) в каждой серии, что и вызывает случайный характер числа измерений параметров навигации и ориентации БЛА (с частотой 50 гц) во время модельного пролета БЛА одинаковых расстояний со скоростями $\tilde{V}$. Оценка СКП параметра навигации и ориентации X в сериях вычислялась по формуле: $\tilde{\sigma}_x = \sqrt{\tilde{D}_x}$, где $\tilde{D}_x = (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{n_i}^2) / n_i$; ($i = 1..3$); i - количество серий; n_i - число экспериментов в i -ой серии; x_j - значение параметра X в j -ом измерении в i -ой серии. Оценки по приведенным

формулам получены на основании статистической независимости измерений x_j (рис. 2) с использованием функций МАТЛАБ autocorr() и xcorr().

Точечные оценки дисперсий параметров навигации и ориентации БЛА в сериях равны: $\tilde{D}_1 = \tilde{\sigma}_1^2$; $\tilde{D}_2 = \tilde{\sigma}_2^2$; $\tilde{D}_3 = \tilde{\sigma}_3^2$;

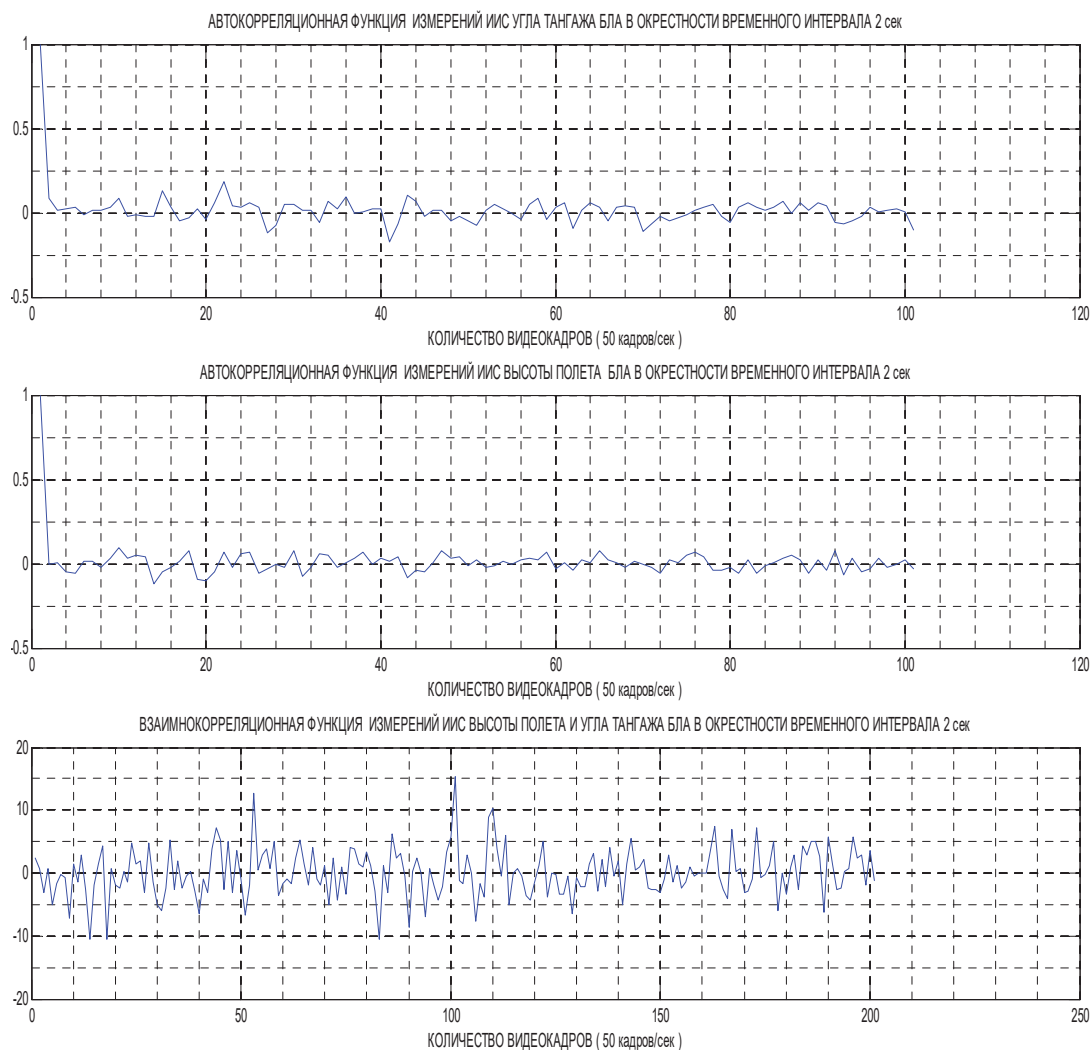


Рис. 2. – Иллюстрация отсутствия стохастической связи между погрешностями измерений ИИС

Эти оценки дисперсий были аппроксимированы моделью случайной величины, значения которой (оценки) принадлежат одной генеральной совокупности, учитывая, что как число экспериментов в сериях варьируется незначительно: $31 \div 34$, так и сами истинные ошибки измерений параметров меняются незначительно на интервале 20м. Поэтому точечная оценка математического ожидания дисперсии параметра X принята равной среднему арифметическому выборочных его значений: $\tilde{D} = (\tilde{D}_1 + \tilde{D}_2 + \tilde{D}_3) / 3$; Оценка СКП X тогда равна $\tilde{\sigma} = \sqrt{\tilde{D}}$.

Табл. 1. – Оценка точности вычисления параметров полета БЛА

Параметры навигации и ориентации БЛА	КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ННО: a=0.6м ; l=1.2м ; h=0.6м; d=0.3м;							
	ВЫСОТА ПОЛЕТА БЛА НАД ННО 30 м							
	Дальность до ННО (110 ÷ 90), м							
	Выход БЛА в конечную точку со смещением относительно ВПП, м							
	0				10			
	Оценки СКП параметров БЛА в сериях экспериментов			Оценка СКП параметров БЛА,	Оценки СКП параметров БЛА в сериях экспериментов			Оценка СКП параметров БЛА,
	№1, $\tilde{\sigma}_1$	№2, $\tilde{\sigma}_2$	№3, $\tilde{\sigma}_3$		№1, $\tilde{\sigma}_1$	№2, $\tilde{\sigma}_2$	№3, $\tilde{\sigma}_3$	
Смещение БЛА относительно ВПП, м	0.12	0.20	0.11	0.15	0.28	0.27	0.15	0.24
Высота полета БЛА, м	0.29	0.52	0.33	0.39	0.37	0.31	0.23	0.31
Дальность БЛА до ННО, м	0.42	0.67	0.47	0.53	0.66	0.50	0.33	0.51
Рысканье, угл. град.	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04
Тангаж, угл. град.	0.11	0.12	0.11	0.11	0.15	0.12	0.10	0.13
Крен, угл. град.	0.23	0.42	0.21	0.30	0.27	0.52	0.20	0.36

Параметры навигации и ориентации БЛА	КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ННО: a=0.6м ; l=1.2м ; h=0.6м; d=0.3м;											
	ВЫСОТА ПОЛЕТА БЛА НАД ННО 30 м											
	Дальность до ННО (210 ÷ 190), м											
	Выход БЛА в конечную точку со смещением относительно ВПП, м											
	0				10				20			
	Оценки СКП параметров БЛА в сериях экспериментов			Оценки СКП параметров БЛА в сериях	Оценки СКП параметров БЛА в сериях экспериментов			Оценки СКП параметров БЛА в сериях	Оценки СКП параметров БЛА в сериях экспериментов			Оценки СКП параметров БЛА в сериях
	№1, $\tilde{\sigma}_1$	№1, $\tilde{\sigma}_1$	№1, $\tilde{\sigma}_1$		№1, $\tilde{\sigma}_1$	№1, $\tilde{\sigma}_1$	№1, $\tilde{\sigma}_1$		№1, $\tilde{\sigma}_1$	№2, $\tilde{\sigma}_2$	№3, $\tilde{\sigma}_3$	
Смещение БЛА относительно ВПП, м	0.28	0.30	0.30	0.30	0.30	0.28	0.28	0.28	0.46	0.58	0.61	0.55
Высота полета БЛА, м	0.60	0.66	0.66	0.66	0.66	0.60	0.60	0.60	0.86	0.56	0.56	0.68
Дальность БЛА до ННО, м	2.00	2.16	2.16	2.16	2.16	2.00	2.00	2.00	1.99	1.94	2.00	1.98
Рысканье, угл. град.	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.08	0.07	0.09	0.08
Тангаж, угл. град.	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13
Крен, угл. град.	0.47	0.49	0.49	0.49	0.49	0.47	0.47	0.47	0.77	0.48	0.54	0.61

Результаты моделирования работы ИИС. Полученные оценки параметров БЛА (таблица 1) могут быть уменьшены еще в $\sqrt{n}$ раз ($n \geq 2$) путем усреднения их по n измерениям.

Точность определения курса БЛА определяется точностью определения азимутального направления ОПУ ННО при решении задач обнаружения и распознавания ННО специализированной СТЗ по изображениям СП на рабочих сценах. Решение этих задач заметно облегчается с использованием геодезической системы координат.

ИИС с параметрами ННО (рисунок 1) на дальностях подлета к нему БЛА до 200 м обеспечивает высокоточную коррекцию БИНС по раздельной схеме комплексирования.

Заключение. ННО (рис. 1) для АВН БЛА являются компактными, обеспечивают *высокоточную* коррекцию БИНС, обладают свойством *мобильности* и могут быть использованы для *построения САВН* БЛА.

САВН БЛА является объектом двойного назначения и должна обслуживаться соответствующими структурами и организациями.

Для эффективной работы ИИС в сети САВН необходимо создать Центр для управления работой ИИС через НСИО: включение-выключение ННО сети, задание угловой скорости вращения его ОПУ, задание фиксированного азимутального направления ОПУ ННО сети, регулировка мощности СП ННО в зависимости от погоды [5], другие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейников, А.А. Оптико-электронная корреляционно-экстремальная навигационная система малого беспилотного летательного аппарата / А.А. Шейников, В.А. Малкин, Э.А. Смоленский, Л. А. Иваницкий // Системный анализ и прикладная информатика. – 2024. - №2. – С. 30 – 40.
2. Хаметов Р.С. Автономная система навигации и ориентирования беспилотных летательных аппаратов в городе: задачи и требования функционирования / Р.С. Хаметов, Я.А. Темник, П.Е. Шведов, В. К. Исламов // Молодой ученый. – 2018. - №45 (231) – С. 37 – 42.
3. Никифоров, Н.Ф. Мобильная информационно-измерительная система для определения параметров беспилотного летательного аппарата / Н. Ф. Никифоров // ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ. – 2023. – №1 – С. – 56-67.
4. Морозов, В.П. Курс сфероидической геодезии / В. П. Морозов // М. – : Недра, 1979. – 296с.
5. Бондарев, В.Г. Автоматическая посадка летательных аппаратов / В. Г. Бондарев, Д. В. Лопаткин, Д. А. Смирнов // Вестник ВГУ. – 2018. – №2 – С. – 44-51

6. Агеев, А.М. Обоснование выбора источников излучения для системы технического зрения в задаче автоматической посадки беспилотных летательных аппаратов / А. М. Агеев, В. Г. Бондарев, В. В. Проценко // Компьютерная оптика. – 2022. – том 46, – №2 – С. – 239–246.

УДК 681.51

УЧЕБНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСИСТЕМНЫХ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ

Р.И. ВОРОБЕЙ, А.С. МОРОЗ, К.В. ПАНТЕЛЕЕВ, А.К. ТЯВЛОВСКИЙ
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В работе представлена разработка учебного лабораторного стенда для исследования датчиков первичной информации в микросистемном исполнении. Рассматриваются цель, задачи и научная новизна комплекса, направленного на подготовку высококвалифицированных специалистов в области приборостроения и навигационных систем для беспилотной авиации. Приводятся сравнительный анализ существующих аналогов и основные этапы создания стенда и его преимущества.

Введение. Интенсивное развитие микросистемной техники обусловило появление на рынке широкой номенклатуры миниатюрных датчиков первичной информации, таких как микромеханические гироскопы и акселерометры, магнитометры, барометрические датчики и приемники спутниковой навигации. Это стало ключевым фактором для создания относительно недорогих, малогабаритных и энергоэффективных информационно-измерительных систем, обладающих достаточной для многих задач точностью. Особенно востребованы такие системы в быстро развивающейся области беспилотных летательных аппаратов микро- и мини-класса.

Система автоматического управления БПЛА представляет собой комплекс аппаратных и программных средств, который должен обеспечивать стабилизацию параметров движения, контроль траектории полета и анализ данных от множества источников в реальном времени [1]. Основой такой системы является подсистема ориентации и навигации, часто построенная на принципе комплексирования данных от различных сенсоров [2]. В этой связи возникает острая потребность