

А. А. ШЕЙНИКОВ, В. А. МАЛКИН

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНЕРЦИАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО АВТОНОМНОГО НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

В статье рассматривается возможность реализации автономного режима в навигационном комплексе малоразмерного тактического беспилотного летательного аппарата, включающего бесплатформенную инерциальную навигационную систему и бортовую систему технического зрения. В связи с тем, что точность подобных навигационных комплексов существенно зависит от изменений фоноцелевой обстановки и сбоев в работе оборудования, предложено организовать автоматическую адаптацию системы к изменению внешних условий и внутренних факторов за счет управления режимами работы и параметрами программного обеспечения, реализующего алгоритмы оптимального оценивания. С этой целью разработана модель бортового инерциально-оптического автономного навигационного комплекса в классе дискретных динамических систем со случайным изменением структуры.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат; бесплатформенная инерциальная навигационная система; система технического зрения, фильтр Калмана; комплексирование измерительных систем; дискретная динамическая система со случайным изменением структуры.

Введение

В настоящее время основным способом достижения высокой точности позиционирования малоразмерных тактических беспилотных летательных аппаратов (МТ БЛА) [1] является комплексирование общедоступных недорогих датчиков пилотажно-навигационной информации (ПНИ) [2]: приемника сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС), магнитометра (МГМ), системы воздушных сигналов (СВС) (барометрического высотомера (БВ)) и бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) на микроэлектромеханических датчиках. Такие навигационные комплексы (НК) способны длительно и эффективно обеспечивать воздушную навигацию (ВН) БЛА при наличии устойчивого поля сигналов СРНС [3]. Однако, в связи с существенными успехами в области разработки средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) [4], встает задача организации автономного режима НК МТ БЛА, при котором будет обеспечена приемлемая точность позиционирования без использования внешних радиосигналов управления и сигналов СРНС. Основными путями решения рассмотренной задачи является комплексное применение относительно недорогих цифровых автономных измерительных систем (ИС), а также алгоритмических методов повышения точности НК, базирующихся в основном на дискретном фильтре Калмана (ФК) [5] и его модификациях. Что касается первого направления обеспечения автономности ВН БЛА, то современным датчиком ПНИ, удовлетворяющим рассмотренным требованиям к характеристикам бортовых ИС, является система технического зрения (СТЗ), приспособленная для решения задач ВН. При наличии специального алгоритмического обеспечения, СТЗ, включающая вычислитель и систему бортовых цифровых камер (БЦК), может реализовывать те же функции, что и БИНС: счисление углов ориентации, курса, скоростных параметров, координат БЛА [6], а также высоты полета [7] и др. В современных научных публикациях прогнозируется, что применение методов обработки видовой информации (методов трекинга, визуальной одометрии и распознавания цифровых изображений) при разработке алгоритмов СТЗ обеспечит возможность определения текущих координат БЛА с ошибкой не

более 30 м независимо от времени полета [8]. Что касается второго направления обеспечения автономности ВН БЛА, то практическая реализация алгоритмических методов повышения точности НК обычно сопряжена с рядом проблем (таблица 1). Из таблицы 1 видно, что при организации оптимального оценивания вектора состояния требуется найти баланс между сложностью алгоритмического обеспечения автономного НК (определяющей точность итогового навигационного решения (НР)) и его быстродействием. Здесь представляются эффективными следующие решения:

применение современных датчиков ПНИ, обладающих точностью, достаточной для решения (по отдельности и/или в комплексе с другими датчиками) задач ВН требуемого уровня [9];

подбор (для целей комплексирования) разнородных датчиков ПНИ с кратными частотами обновления данных (ЧОД) [10];

комплексирование минимального, но достаточного для решения навигационной задачи, количества разнородных датчиков ПНИ (обеспечение минимальной аппаратной избыточности) [11];

организация адаптивного управления ФК без физического отключения отдельных датчиков от НК путем плавного регулирования весовых коэффициентов [12];

использование линейных оптимальных адаптивных алгоритмов оценивания, способных функционировать в условиях отсутствия достоверной статистической информации о входных шумах [13] (более приемлемы вариант с точки зрения требуемых вычислительных ресурсов, но предполагающий управление параметрами ФК) или использование численных методов для решения задач нелинейной фильтрации [14].

Кроме того, при обеспечении точности НК, включающих датчики ПНИ на базе СТЗ, требуется осуществление адаптации к изменениям фоноцелевой обстановки (ФЦО) (изменениям освещенности сцены, изменениям типа пролетаемой подстилающей поверхности, приводящим к изменению текстурных свойств ее цифрового изображения), которая (как и в обычных СТЗ) реализуется за счет изменения режимов работы.

Таблица 1. Проблемы практической реализации ФК в НК БЛА

Проблемы	Пути решения	Особенности реализации ФК
Невысокая точность математических моделей процесса изменения вектора состояния БЛА и процесса его измерения, что приводит к методическим ошибкам фильтрации	Применение адаптивных алгоритмов оценивания (управление параметрами ФК в процессе его работы)	Сложность реализации ФК в связи с необходимостью идентификация параметров и структуры модели в процессе функционирования системы
	Использование формирующих фильтров для приведения модели к «белым» шумам, комплексирование разнородных датчиков ПНИ (расширение вектора состояния)	Увеличение вычислительных затрат в связи с ростом объема обрабатываемых данных
Потеря адекватности линейных моделей динамического процесса, ошибок и шумов при маневрировании БЛА	Использование нелинейных моделей в ФК	Сложность реализации ФК ввиду того, что апостериорная плотность вектора состояния не является гауссовской, экспоненциальный рост количества расчетных операций при увеличении порядка фильтр
Необходимость комплексирования данных с разными частотами следования отсчетов	Экстраполяция показаний «медленных» датчиков ПНИ на каждый такт их отсутствия	Увеличение объема вычислительных операций, сложность реализации ФК в случае некратности частот следования отсчетов
Скачки в оценках вектора состояния вследствие, переключений, переходных процессов в ФК, обусловленных сбоями, резкими изменениями внешних условий и информационной обстановки	Применение сглаживающих и адаптивных фильтров, масштабирование переменных вектора состояния, контроль входных данных по простейшим и перекрестным критериям	Увеличение вычислительных затрат в связи с ростом расчетных операций
Необходимость повышения избыточности ПНИ для обеспечения приемлемой точности автономных НК	Расширение комплекса разнородных бортовых ИС	Увеличение вычислительных затрат в связи с необходимостью приведения разнородной ПНИ к унифицированному виду
Необходимость увеличения объема вычислений связанная с перечисленными выше проблемами	Сокращение объема вычислений за счет применения квазиоптимальных алгоритмов оценивания	Снижение точности оценки ПНИ

Еще одной проблемой является увеличение ошибки оптимального оценивания в случае предварительного формирования НР СТЗ до процедуры общего комплексирования по слабосвязанной схеме. Устранить этот недостаток позволяет применение сильно связанной схемы. В этом случае «сырые» данные от БИНС и СТЗ обрабатываются совместно, а итоговое НР формируется даже при временном отсутствии данных от СТЗ. Практика показывает, что одновременно учесть все рассмотренные выше факторы можно при синтезе НК (включающего только БИНС и СТЗ с кратными ЧОД, показания которых объединены на основе линейного адаптивного ФК) в классе дискретных динамических систем со случайным изменением структуры (ДДССИС) [15]. С точки зрения ДДССИС основной задачей обработки ПНИ является оценивание мгновенного состояния БЛА, которое включает в себя вектор фазовых координат (ВФК) X_k и вектор состояния структуры (ВСС) S_k [16].

Наиболее полной вероятностной характеристикой мгновенного состояния является закон распределения вектора $[x_k^T, s_k^T]^T$, полученный на основании наблюдения, которое осуществляется с помощью измерителей фазовых координат (вектор измерений (ВИ) Z_k) и идентификатора режимов работы НК (вектор $J_k^{(s)}$). Знание закона распределения позволяет определить и другие вероятностные характеристики вектора $[x_k^T, s_k^T]^T$, из которых наиболее важными являются оценка ВФК $\hat{X}_k^{(s)}$ (s – номер режима работы НК на k -м

шаге) и вероятности состояний структуры (режимов работы) $\hat{P}_k^{(s)}$ [17].

Постановка задачи

Разработать математическую модель (ММ) инерциально-оптического автономного (ИОА) НК МТ БЛА в классе ДДССИС, предполагающую возможность управления режимами работы и параметрами НК для обеспечения точности итогового НР без физического отключения СТЗ от измерительного комплекса. В НК должно быть реализовано комплексирование показаний ИС (с применением сильно связанной схемы) на базе линейного оптимального адаптивного ФК, должна быть обеспечена синхронизация данных, выдаваемых отдельными ИС, а ЧОД ИОА НК должна быть сопоставима с ЧОД неавтономных НК с коррекцией от СРНС.

Решение задачи

На рисунках 1, 2 представлена разработанная модель ИОА НК МТ БЛА в классе ДДССИС.

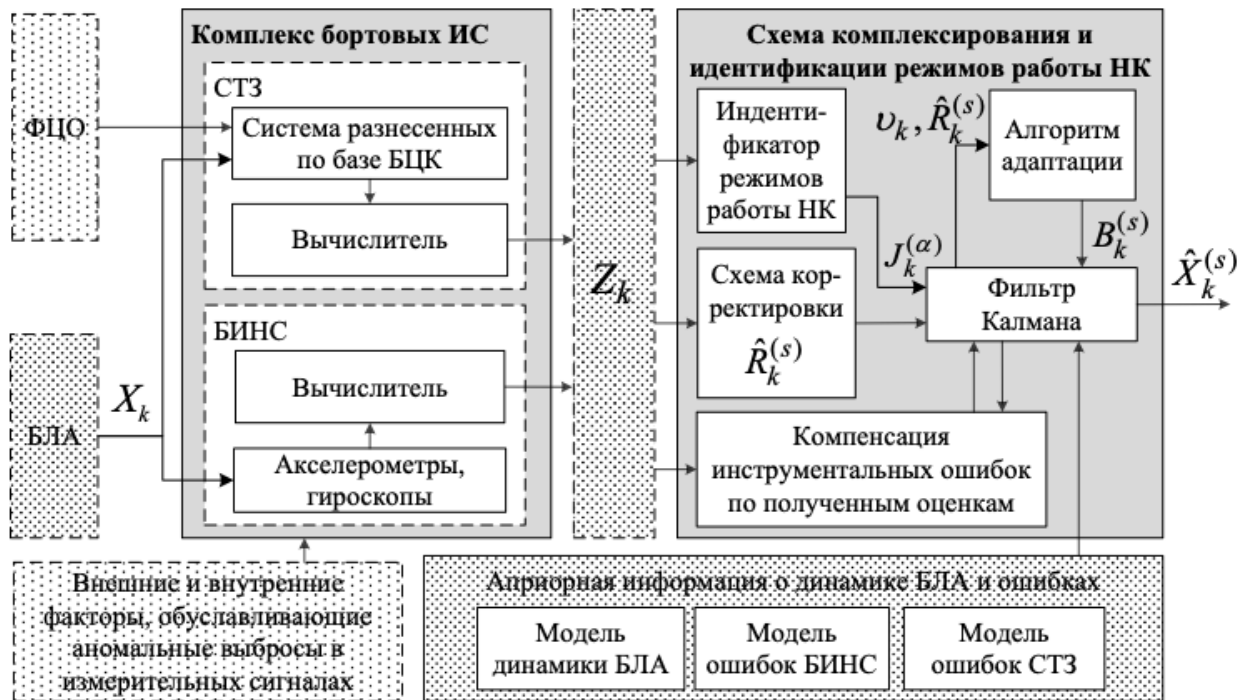


Рисунок 1. - Схема комплексирования ПНИ в ИОА НК МТ БЛА

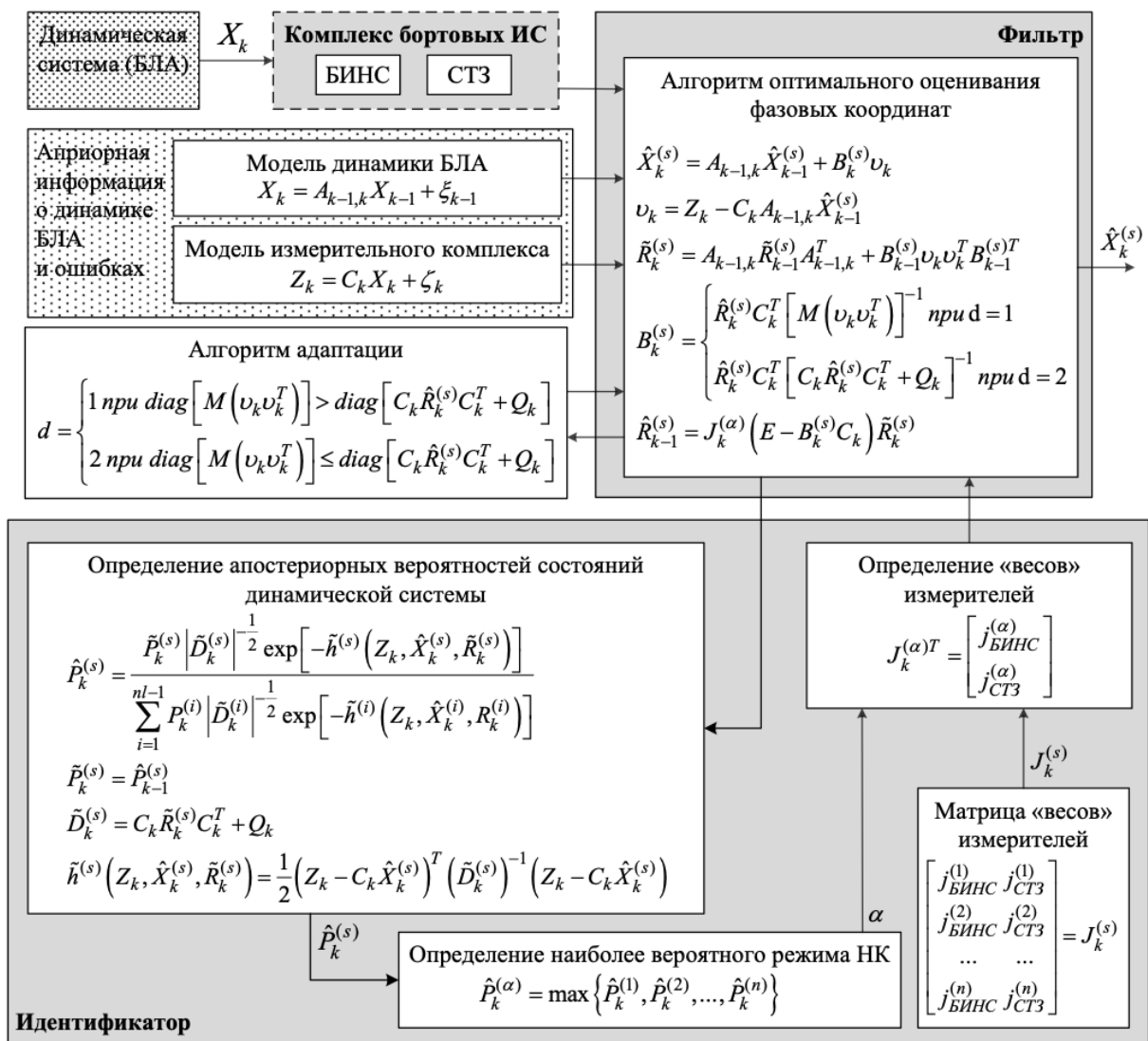


Рисунок 2. - Схема изменения режимов работы и параметров ИОА НК при оценке ВФК

На рисунках 1, 2: X_k – ВФК системы на k -м шаге, ВФК описывает совокупность пилотажно-навигационных параметров (ПНП) БЛА (значения ускорения, скорости, пройденного пути, высоты полета, крена, тангажа, курса и т.д.) в конкретные моменты времени; X_{k-1} – ВФК системы на $(k-1)$ -м шаге (подстрочные индексы « k » и « $k-1$ » указывают номер дискретного момента времени t_k и t_{k-1} , шаг дискретизации $\Delta t = t_k - t_{k-1}$); Z_k – вектор измерений, ВИ описывает совокупность ПНП, регистрируемых комплексом бортовых ИС в конкретные моменты времени (для обеспечения функции измерения высоты полета датчик ПНИ на основе СТЗ кроме вычислителя включает в себя систему из двух БЦК, разнесенных по базе [7] (предназначенных для получения стереопар)); S – номер текущего режима работы НК; $A_{k-1,k}$ – переходная матрица системы; ξ_{k-1} – вектор возмущений, вектор независимого централизованного дискретного гауссовского белого шума интенсивности G_ξ с матрицей корреляции $K_\xi(k, h) = G_\xi \delta_{kh}$; δ_{kh} – функция Кронекера; C_k – матрица коэффициентов, описывающая процесс преобразования ВФК X_k в ВИ Z_k ; ζ_k – вектор шумов измерений, вектор независимого централизованного дискретного гауссовского белого шума интенсивности G_ζ с матрицей корреляции $K_\zeta(k, h) = G_\zeta \delta_{kh}$; $\tilde{P}_{k-1}^{(s)}$, $\hat{P}_{k-1}^{(s)}$ –

априорная и апостериорная вероятности S - того режима работы НК; $\hat{X}_k^{(s)}$, $\hat{X}_{k-1}^{(s)}$ апостериорные оценки ВФК на k -м и $(k-1)$ -м шагах; $\tilde{R}_k^{(s)}$, $\tilde{R}_{k-1}^{(s)}$ априорная и апостериорная ковариационные матрицы ошибок оценивания; $B_k^{(s)}$ матрица коэффициентов усиления ФК; $D_k^{(s)}$, $h^{(s)}(Z_k, \hat{X}_k^{(s)}, \tilde{R}_k^{(s)})$ матрицы коэффициентов; ν_k – функция невязки, характеризующая разность показаний измерителя Z_k и его апостериорной математической модели $C_k \hat{X}_k^{(s)}$; E – единичная матрица; Q_k – матрица белых шумов ζ_k измерителей; n – число режимов работы НК; α – номер наиболее вероятного режима работы НК; $J_k^{(s)}$ – матрица «весов» измерителей.

Априорная информация о статистических характеристиках входных и измерительных шумов бортовых ИС достоверно неизвестна, что может приводить к расходящемуся процессу оценивания. В связи с этим в процедуре комплексирования ПНИ применен алгоритм адаптации позволяющий производить оптимальную оценку ВФК в условиях отсутствия предварительного полученных опытных данных и наличия аномальных измерений (при возникновении аномальных выбросов в измерениях) с точностью на 5% выше по сравнению с классическим линейным фильтром Калмана [18]. Алгоритм адаптации путем корректировки матрицы коэффициентов усиления

$B_k^{(s)}$ изменяет параметры ФК с учетом режимов расчетного значения функции невязки.

Адаптацию ФК к изменениям ФЦО можно реализовать путем управления режимами работы НК (регулирования «веса» данных, выдаваемых СТЗ, в обрабатываемом потоке ПНИ) в зависимости от соотношения расчетных значений апостериорных вероятностей состояний системы $\hat{P}_k^{(s)}$ (корректирование матрицы «весов» измерителей $J_k^{(s)}$ по сигналам α , соответствующим наиболее вероятному режиму работы НК). При этом регулирование «веса» данных от СТЗ можно рассматривать как частный случай скачкообразного изменения структуры, когда связи

между элементами НК не меняются, а каждому значению параметра соответствует свое состояние структуры [17].

С целью обеспечения устойчивой выработки НР в условиях различия ЧОД БИНС и СТЗ при разработке ИОА НК МТ БЛА предлагается подбирать соответствующие датчики ПНИ с кратными ЧОД, а показания более «медленных» датчиков (СТЗ) (таблица 2) экстраполировать на каждый такт их отсутствия с использованием прежних полученных значений путем корректировки матрицы ковариации $R_k^{(s)}$ [10]. Повышение точности определения ПНИ с помощью датчиков ПНИ на базе СТЗ (таблица 3) возможно при увеличении разрешающей способности БЦК [19].

Таблица 2. ЧОД бортовых ИС и обеспечиваемая ими точность позиционирования БЛА

Навигационная система	ЧОД	Точность определения ПНИ	
		горизонтальных координат, м	Высоты, м
СРНС	около 10 Гц	до 2	до 10
СТЗ	около 5 Гц	до 6	до 15
БИНС	около 500 Гц	Со временем снижается	

Анализ таблицы 2 позволяет сделать вывод о технической возможности обеспечения точности ИОА НК сравнимой с точностью современных неавтономных НК.

Заключение

Проведенный в процессе исследования анализ показал необходимость адаптации оптимальных алгоритмов оценивания ВФК к изменениям внешних условий и внутренних факторов, что особенно важно при создании автономных НК МТ БЛА, включающих

датчики ПНИ на базе СТЗ. С этой целью разработана ММ ИОА НК МТ БЛА в классе ДДССИС, предполагающая управление параметрами ФК с учетом изменений ФЦО и сбоев в работе оборудования. Использование предлагаемого адаптивного алгоритма оценивания позволит повысить точность НК в автономном режиме. Для обеспечения возможности моделирования работы предложенного алгоритма дополнительно требуется математическое описание БИНС и СТЗ как дискретных нелинейных стохастических систем, а также приведение ММ этих датчиков ПНИ к единому «формату».

ЛИТЕРАТУРА

1. Евтодьева, М. Г. Беспилотные летательные аппараты военного назначения: тенденции в сфере разработок и производства / М. Г. Евтодьева, С. В. Целицкий // Пути к миру и безопасности - 2019. – №2(57). – С. 104–111.
2. Мишин, А. Ю. Малогабаритная комплексная навигационная система на микромеханических датчиках / А. Ю. Мишин, Е. Ю. Кирюшин, А. И. Обухов, Д. В. Гурлов // Труды МАИ - 2013. – №70. – С. 1–21.
3. Биард, Р. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика / Р. Биард, Т. Маклэйн. – М.: Техносфера, 2015. – 312 с.
4. Теодорович, Н. Н. Способы обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами / Н. Н. Теодорович, С. М. Строганова, П. С. Абрамов // Интернет-журнал «Науковедение». – Т. 9, №1 – 2017.
5. Матвеев, В. В. Основы построения беспилотных навигационных систем / В. В. Матвеев, В. Я. Распопов. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО Концерн ЦНИИ «Электрон», 2009. – 280 с.
6. Шейников, А. А. Оценка пилотажно-навигационных параметров полета БЛА с учетом результатов обработки последовательности изображений / А. А. Шейников, А. М. Коваленко // ГУ НИИ ВС РФ «Наука и военная безопасность». - 2021. – №2(68). – С. 98–107.
7. Козин, Е. В. Фотограмметрия / Е. В. Козин, А. Г. Карманов, Н. А. Карманова. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 142 с.
8. Lerner, R. Direct Method for Video Based Navigation Using a Digital Terrain Map / R. Lerner, E. Rivlin // IEEE Trans Pattern Anal Mach Intelligence - 2011. – №2(33). – С. 406–411.
9. Шейников, А. А. Коррекция ошибок инерциальной навигационной системы беспилотного летательного аппарата по данным бортовой цифровой камеры / А. А. Шейников, А. М. Коваленко // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. - 2019. – №1(62). – С. 66–73.
10. Понятский, В. М. Комплексирование измерителей при некротности частот следования показаний / В. М. Понятский, Б. В. Зенов // Когнитивные информационные технологии в системах управления - 2020. – №3. – С. 575–581.
11. Грошев, А. В. Методы и алгоритмы контроля достоверности информации в комплексных навигационных системах: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / А. В. Грошев. – Нижний Новгород, 2020. – 137 л.
12. Шанин, Ю. И. Применение адаптивной фильтрации для улучшения работоспособности адаптивных оптических систем. Аналитический обзор / Ю. И. Шанин // Машиностроение и компьютерные технологии - 2019. – №2. – С. 34–60.
13. Неусыпин, К. А. Современные системы и методы наведения, навигации и управления летательными аппаратами

14. **Куликова, М. В.** Численные методы нелинейной фильтрации для обработки сигналов и измерений / М. В. Куликова, Г. Ю. Куликов // Вычислительные технологии - 2016. - Т. 21. №4. - С. 64–87.
15. **Жук, С. Я.** Методы оптимизации дискретных динамических систем со случайной структурой: монография. - К.: НТУУ «КПИ», 2008. - 232 с.
16. **Казаков, И. Е.** Анализ систем случайной структуры / И. Е. Казаков, В. М. Артемьев, В. А. Бухалев. - М.: Наука, 1993. - 355.
17. **Бухалев, В. А.** Распознавание, оценивание и управление в системах со случайной скачкообразной структурой / В. А. Бухалев. - М.: Наука. Физматлит, 1996. - 288.
18. **Нгуен Динь Тхай** Разработка алгоритмов коррекции навигационных систем летательных аппаратов в условиях аномальных измерений: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Нгуен Динь Тхай. - М., 2017. - 148 л.
19. **Лунев, Е. М.** Программно-алгоритмическое обеспечение приборного комплекса беспилотного летательного аппарата для определения навигационных параметров на базе фотоизображения: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Е. М. Лунев. - М., 2011. - 143 л.

REFERENCES

1. **Evtodieva, M. G.** Unmanned aerial vehicles for military purposes: trends in development and production / M.G. Evtodieva, S.V. Tselitsky // Ways to peace and security – 2019. – No. 2 (57). – P. 104–111.
2. **Mishin, A. Yu.** Small-sized integrated navigation system based on micromechanical sensors / A.Yu. Mishin, E.Yu. Kiryushin, A.I. Obukhov, D.V. Gurlov // Proceedings of the MAI – 2013. – No. 70. – P. 1–21.
3. **Biard, R.** Small unmanned aerial vehicles: theory and practice / R. Biard, T. McLane. – M.: Technosfera, 2015. – 312 p.
4. **Teodorovich, N. N.** Methods for detecting and combating small-sized unmanned aerial vehicles / N.N. Teodorovich, S.M. Stroganova, P.S. Abramov // Internet journal «Science Studies». – V. 9, No. 1 – 2017.
5. **Matveev, V. V.** Fundamentals of strapdown inertial navigation systems construction / V.V. Matveev, V.Ya. Raspopov. – St. Pb: State Scientific Center of the Russian Federation JSC Concern CRI «Elektropribor», 2009. – 280 p.
6. **Sheinikov, A. A.** Evaluation of flight and navigation parameters of the UAV flight, taking into account the results of image sequence processing / A. A. Sheinikov, A.M. Kovalenko // State Research Institute of the Armed Forces of the Republic of Belarus «Science and military security» . – 2021. – No. 2 (68). – P. 98–107.
7. **Kozin, E. V.** Photogrammetry / E.V. Kozin, A.G. Karmanov, N.A. Karmanova. – St. Pb: ITMO University, 2019. – 142 p.
8. **Lerner, R.** Direct Method for Video Based Navigation Using a Digital Terrain Map / R. Lerner, E. Rivlin // IEEE Trans Pattern Anal Mach Intelligence - 2011. – №2(33). – С. 406–411.
9. **Sheinikov, A. A.** Correction of errors in the inertial navigation system of an unmanned aerial vehicle according to the data of an onboard digital camera / A.A. Sheinikov, A.M. Kovalenko // Bulletin of the Military acad. Rep. Belarus. - 2019. - No. 1 (62). – P. 66–73.
10. **Poniatsky, V. M.** Integration of meters with non-multiplicity of reading repetition rates / V.M. Poniatsky, B.V. Zenov // Cognitive Information Technologies in Control Systems – 2020. – №3. – P. 575–581.
11. **Groshev, A. V.** Methods and algorithms for monitoring the reliability of information in complex navigation systems: dis. ... cand. tech. sciences: 05.13.01 / A.V. Groshev. - Nizhny Novgorod, 2020. – 137 p.
12. **Shanin, Yu. I.** Application of adaptive filtering to improve the performance of adaptive optical systems. Analytical review / Yu.I. Shanin // Mechanical engineering and computer technologies - 2019. - No. 2. – P. 34–60.
13. **Neusypin, K. A.** Modern systems and methods of guidance, navigation and control of aircraft. – M.: Publishing house of MSRU, 2009. – 500 p.
14. **Kulikova, M.V.** Numerical methods of nonlinear filtering for signal processing and measurements / M.V. Kulikova, G.Yu. Kulikov // Computational technologies – 2016. – V. 21. No. 4. – P. 64–87.
15. **Zhuk, S.Ya.** Optimization methods for discrete dynamic systems with random structure: monograph. – K. : NTUU «KPI», 2008. – 232 p.
16. **Kazakov, I.E.** Analysis of random structure systems / I.E. Kazakov, V.M. Artemiev, V.A. Bukhalev. – M.: Science, 1993. – 355.
17. **Bukhalev, V. A.** Recognition, evaluation and control in systems with a random jump structure / V.A. Bukhalev. – M.: Science. Fizmatlit, 1996. – 288.
18. **Nguyen Dinh Thai** Development of algorithms for correcting aircraft navigation systems under conditions of anomalous measurements: dis. ... cand. tech. sciences: 05.13.01 / Nguyen Dinh Thai. - M., 2017. - 148 sheets.
19. **Lunev, E. M.** Software and algorithmic support of the instrument complex of an unmanned aerial vehicle for determining navigation parameters based on a photographic image: dis. ... cand. tech. sciences: 05.13.01 / E.M. Lunev. - M., 2011. - 143 p.

A. A. SHEINIKOV, V. A. MALKIN

MATHEMATICAL MODEL OF INERTIAL-OPTICAL AUTONOMOUS NAVIGATION COMPLEX OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

Military academy of the Republic of Belarus

In the article considers the possibility of implementing an autonomous mode in the navigation complex of a small-sized tactical unmanned aerial vehicle, including a strapdown inertial navigation system and an onboard vision system. Due to the fact that the accuracy of such navigation systems significantly depends on changes in the background-target environment and equipment failures, it is proposed to organize automatic adaptation of the system to changes in external conditions and internal factors by controlling the operating modes and parameters of the software that implements optimal estimation algorithms. For this purpose, a model of an onboard inertial-optical autonomous navigation system has been developed in the class of discrete dynamic systems with a random change in structure.

Keywords: *unmanned aerial vehicle; strapdown inertial navigation system; vision system; Kalman filter; measurement systems integration; discrete dynamic system with random structure change.*



Шейников Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент, докторант учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь».

Область научных интересов: методы анализа и синтеза навигационных комплексов беспилотных летательных аппаратов.

Sheinikau A. A., candidate of technical sciences, associate professor, doctoral student of the educational institution “Military academy of the Republic of Belarus”.

Area of scientific interests: methods of analysis and synthesis of unmanned aerial vehicles navigation systems.

Email: af.varb.ao@gmail.com



Малкин Виталий Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры авиационных радиоэлектронных систем авиационного факультета учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь».

Область научных интересов: методы анализа и синтеза систем автоматического управления летательных аппаратов.

Malkin V. A., doctor of technical sciences, professor, professor of the department of aviation radio-electronic systems of the aviation faculty of the educational institution “Military academy of the Republic of Belarus”.

Area of scientific interests: methods of analysis and synthesis of aircraft automatic control systems.