



СРЕДСТВА НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ШИРОТ

А. В. Овсянкин

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье освещается динамика роста мирового рынка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), прогнозируемая среднегодовая скорость которого составляет 7,7% вплоть до 2030 года. Автор акцентирует внимание на сложностях использования БПЛА в условиях высоких широт, таких как атмосферные и геофизические аномалии. Рассматриваются навигационные системы на основе различных физических полей, среди которых выделяются магнитные и оптические системы. Классификация и детальный анализ принципов действия навигационных систем подчеркивают значительный потенциал гибридных систем, сочетающих несколько технологий для повышения эффективности в арктической экосистеме. Особое внимание уделяется технологиям искусственного интеллекта, в частности машинному обучению и компьютерному зрению, и их влиянию на усовершенствование позиционирования и автономии БПЛА, делая их использование в Арктической среде более надежным и точным.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, БПЛА, высокие широты, навигационная система, датчики, искусственный интеллект, машинное обучение, компьютерное зрение.

Для цитирования:

Овсянкин, А. В. Средства навигационного обеспечения гражданской беспилотной авиации в условиях высоких широт / А. В. Овсянкин // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 2(40). – с. 105 – 113. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-2-105-113.

NAVIGATION AIDS FOR CIVIL UNMANNED AIRCRAFT AT HIGH LATITUDES

A. V. Ovsiankin

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article highlights the growth dynamics of the global unmanned aerial vehicle (UAV) market, which is projected to grow at a CAGR of 7.7% through 2030. The author focuses on the difficulties of using UAVs in high latitude conditions, such as atmospheric and geophysical anomalies. Navigation systems based on various physical fields are considered, among which magnetic and optical systems stand out. The classification and detailed analysis of the operating principles of navigation systems highlight the significant potential of hybrid systems that combine multiple technologies to improve efficiency in the Arctic ecosystem. Particular attention is paid to artificial intelligence technologies, in particular machine learning and computer vision, and their impact on improving the positioning and autonomy of UAVs, making their use in the Arctic environment more reliable and accurate.

Keywords: unmanned aerial vehicle, UAV, high latitudes, navigation system, sensors, artificial intelligence, machine learning, computer vision.

For citation:

Ovsiankin, A. V. Analysis of passenger flow models in transportation joints / A. V. Ovsiankin // System analysis and logistics. – 2024. – № 2(40). – p. 105 – 113. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-2-105-113.

Введение

По прогнозам фирмы Drone Industry Insights UG (Гамбург, Германия), к 2030 году объем мирового рынка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) достигнет 54,6 млрд долларов США, а среднегодовой темп роста коммерческого рынка составит 7,7% [1]. Доля рынка, связанная с производством аппаратного обеспечения, будет расти быстрее всего.

Прогресс в развитии беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) открыл новые перспективы для исследования, наблюдения и операционной деятельности в арктических регионах. Эти широты, отличающиеся суровыми погодными условиями, труднодоступностью и ограниченной инфраструктурой, всегда представляли значительные трудности в исследовании и освоении, как для науки, так и для индустрии. БПЛА предоставляют уникальную возможность преодолеть эти барьеры, предлагая эффективные и экономически выгодные решения для самых разнообразных задач.



Актуальность использования БПЛА в арктических широтах обусловлена растущим международным интересом к этому региону. Арктика богата природными ресурсами, и изменение климата приводит к таянию ледников, что открывает новые морские пути и делает доступным их использование на протяжении более длительного времени года.

Актуальны также и вопросы безопасности и сохранения здоровья людей, работающих в экстремальных условиях Арктики. Обеспечение безопасности судоходства, мониторинг ледовых условий, скорая помощь в случае аварий и другие меры безопасности становятся легко реализуемыми с помощью БПЛА, которые могут оперативно доставлять важные данные и быть задействованы в опасных и труднодоступных местах.

Однако, использование БПЛА в Арктике сопровождается специфическим набором технических и операционных вызовов, связанных с экстремальными климатическими условиями, высокими широтами и магнитными аномалиями. Это заставляет ученых и инженеров адаптировать существующие технологии и разрабатывать новые подходы к навигационному обеспечению [2].

В Стратегии развития Арктической зоны РФ до 2035 года, принятой в 2020 году, предусмотрено развитие высоких технологий в области авиации [3], а именно: робототехники, суперкомпьютерного моделирования, беспилотных транспортных систем, технологий дистанционного зондирования Земли, а также интегрированных средств навигации и связи.

1. Особенности высоких широт (атмосферные, магнитные аномалии, солнечная активность и т.д.)

Для успешной эксплуатации БПЛА в условиях высоких широт, необходимо учитывать ряд особенностей, включая атмосферные условия, магнитные аномалии, солнечную активность и многие другие [4-6].

Экстремальные погодные условия: Атмосферные условия в высоких широтах могут быть экстремально суровыми. Они существенно ограничивают видимость и усложняют авиационные операции. БПЛА, работающие в таких условиях, должны быть оснащены системами обогрева для предотвращения обледенения оборудования, а также иметь возможность автоматической адаптации к изменяющимся метеорологическим условиям. Очень важно, чтобы БПЛА могли на лету корректировать свои навигационные параметры и стратегии в зависимости от окружающей атмосферной обстановки.

Магнитные аномалии: Арктический регион характеризуется сложными магнитными полями, что может повлиять на точность навигации. Это требует использования бортовых магнитных компасов или альтернативных систем определения направления и специализированных алгоритмов коррекции для обеспечения точности положения и ориентации БПЛА.

Солнечная активность: В условиях высоких широт солнечная активность может привести к появлению сильных солнечных бурь и геомагнитных возмущений, влияющих на бортовые системы навигации и связи.

Магнитные аномалии и высокая солнечная активность могут привести к искажению сигналов спутниковой системы навигации GNSS (Global Navigation Satellite System). В высоких широтах видно меньше спутников GNSS, что может ухудшить точность определения местоположения и осложнить процесс позиционирования БПЛА. В арктических широтах спутники GPS/ГЛОНАСС находятся ближе к горизонту, что может снизить точность и стабильность сигналов или вызвать сбой в работе навигационного оборудования БПЛА из-за низкого угла видимости спутников. Кроме того, на высоких широтах возникают ионосферные дополнительные погрешности в сигналах спутниковых систем, поэтому навигационные системы БПЛА оснащают многочастотными GNSS приемниками, позволяющими корректировать ионосферные помехи.

Отсутствие развитой наземной инфраструктуры для поддержки навигационных систем БПЛА требует разработки автономных систем навигации со встроенными системами связи



для поддержания телеметрии и управления на больших расстояниях.

Длительные периоды полярных дней и ночей требуют разработки тепловизионных и инфракрасных систем для работы в условиях недостаточной видимости, использования солнечных батарей в период полярного дня и альтернативных источников энергии для полярной ночи.

Эффективное взаимодействие между всеми составляющими навигационного комплекса и постоянное усовершенствование технологий – ключевые аспекты для обеспечения безопасности и успешного выполнения задач БПЛА в экстремальной арктической среде.

2. Виды навигационного обеспечения БПЛА и их эксплуатационные характеристики.

Эффективность работы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в значительной степени определяется характеристиками и надежностью бортового оборудования, особенно информационно-измерительных систем и навигационных комплексов, применяемых в управлении [7]. Эти системы обрабатывают информацию о параметрах движения, таких как местоположение, ориентация и скорость. В таблице 1 приведены особенности навигационных систем в зависимости от вида используемого физического поля на основе данных, приведенных в [8].

Таблица 1 – Особенности навигационных систем БПЛА на основе различных физических полей

Вид Поля	Основа Работы	Преимущества	Недостатки
Магнитное	Использует магнитное поле Земли для ориентации и навигации БПЛА с помощью магнитометров	Автономность. Независимость от внешних сигналов, полезно в условиях отсутствия сигналов GNSS или помех.	Возможные искажения из-за магнитных аномалий. Менее точно в сравнении с GNSS.
Электромагнитное (радиоволны)	Работает на основе радиосигналов, включая GNSS и другие радионавигационные системы, радиомаяки.	Глобальное покрытие. Высокая точность GNSS.	Ухудшение сигнала от GNSS при наличии препятствий. Ограниченный радиус действия наземных радиомаяков. Уязвимость для блокировки сигнала.
Электромагнитное (оптический диапазон)	Использует световые сигналы (LiDAR, инфракрасные датчики, камеры). Анализ фото и видео изображений	Высокая локальная точность. Эффективно для картографии, обнаружения препятствий.	Зависит от условий освещенности и видимости. Ограниченная дальность видимости. Требуется сложной обработки данных.

Навигационная система БПЛА должна сочетать малый размер и вес с высокой точностью и надежностью, что представляет собой сложный баланс требований. Навигационная система БПЛА может включать несколько типов подсистем, каждая из которых имеет свои эксплуатационные характеристики и области применения: спутниковые системы навигации (GNSS), инерциальные навигационные системы (ИНС) и радиотехнические системы навигации другие.

Различают автономные системы навигации, которые обеспечивают БПЛА возможность самостоятельно определить свое местоположение без необходимости внешних сигналов, что особенно важно в условиях, где доступ к этим сигналам ограничен или отсутствует, и



неавтономные системы, которые предлагают высокую точность и широкую зону действия, но их эффективность зависит от доступности и качества внешних сигналов. В условиях высоких широт, где обеспечение стабильности и непрерывности навигационной информации имеет критическое значение, часто используются гибридные системы, которые сочетают в себе преимущества автономных, и неавтономных технологий (см.рис.1).

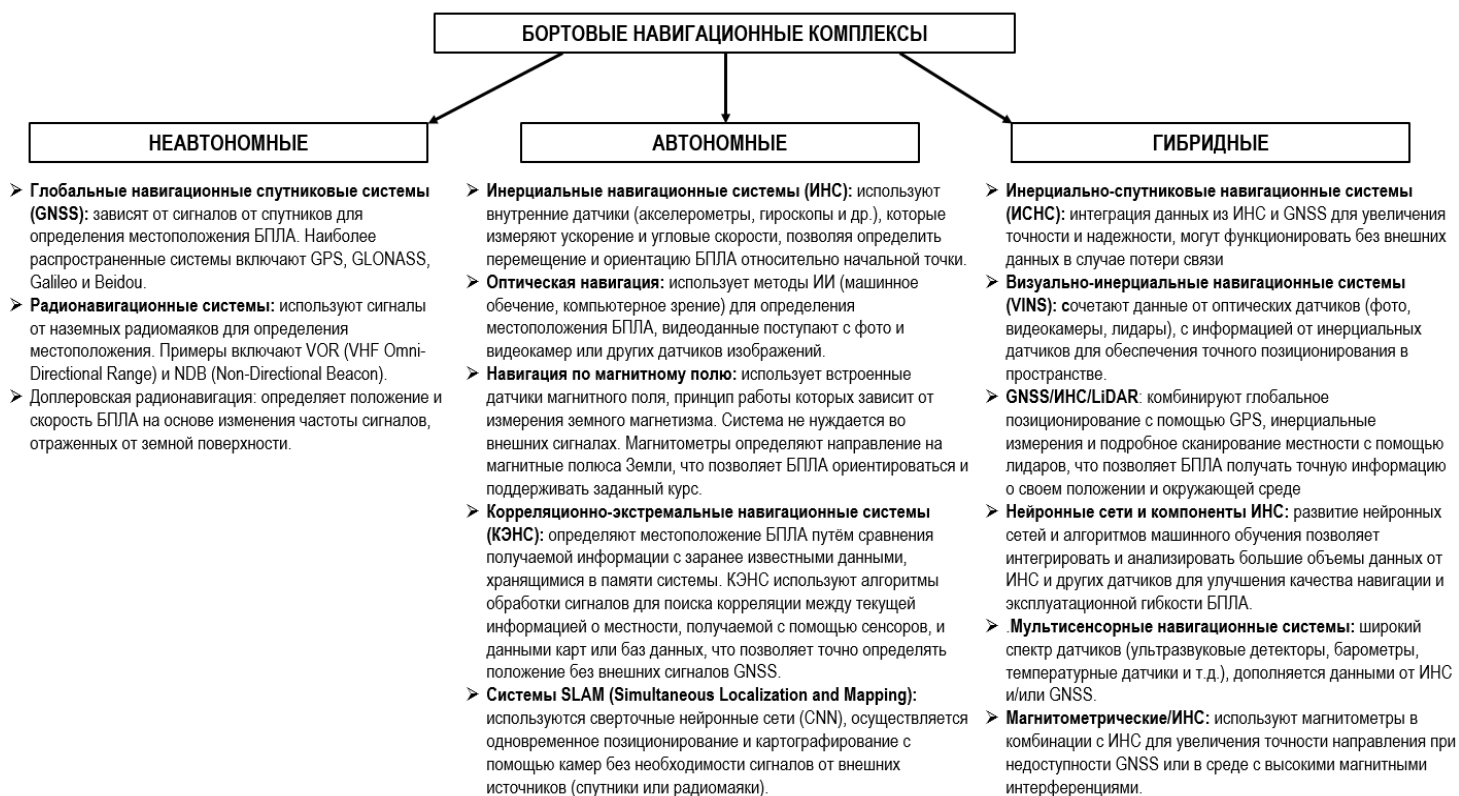


Рис. 1. Классификация бортовых навигационных комплексов БПЛА

Спутниковые навигационные системы (GNSS - Global Navigation Satellite System), такие как GPS, GLONASS, Galileo и BeiDou, являются основой для многих навигационных задач БПЛА. Используя сигналы от группы спутников, GNSS предоставляет информацию о местоположении, скорости и времени. Точность такой системы зависит от количества видимых спутников, качества приемника и методов коррекции ошибок. Точность может варьироваться от нескольких метров до сантиметров при использовании дифференциальных методов коррекции. Надежность этих систем достаточно высокая в большинстве регионов Земли, но может снижаться в высоких широтах из-за низкого угла элевации спутников и ионосферной активности [3].

Инерциальные навигационные системы (ИНС) опираются на данные от акселерометров и гироскопов, находящихся на борту БПЛА, для определения положения, скорости и ориентации летательного аппарата относительно фиксированной начальной точки [9]. Точность таких систем снижается с течением времени, поэтому временные интервалы, на протяжении которых ИНС обеспечивает приемлемую точность, ограничены. Эти системы высоко надежны, могут функционировать в любых условиях. ИНС являются полностью автономными и могут использоваться как резервные системы при потере GNSS сигналов.

Радиотехнические системы навигации предоставляют данные о местоположении с помощью сигналов от радиомаяков или наземных станций. У таких систем точность обычно ниже, чем у GNSS и ИНС, и зависит от расстояния до радиостанций, радиомаяков и их конфигурации. Такие системы в арктических условиях трудно реализуемы из-за



недостаточного покрытия радиостанций [3]. Следует отметить, что радионавигационные сигналы могут подвергаться искажениям из-за рельефа, погодных условий и других факторов. Это снижает эффективность их использования.

Комплексные навигационные системы (КИССН) предоставляют расширенные и более надежные навигационные решения для БПЛА. Например, сочетание GNSS и ИНС позволяет использовать преимущества обеих систем: высокую начальную точность GNSS и устойчивость ИНС к потере внешних сигналов. Гибридные навигационные системы часто используют фильтры слияния данных, такие как фильтр Калмана или его вариации, для комбинации информации из разных источников и уменьшения влияния ошибок отдельных измерительных датчиков [10,11].

Корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС) используются для определения местоположения БПЛА посредством сравнения текущих данных с эталонной информацией (картами местности, паттернами сигналов и т.д.). Система ищет наилучшее совпадение между собранными данными и эталонными. Эталоны хранятся в базе данных, доступной системе. Паттерны вычленяются анализом данных с использованием алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений или других методов анализа данных для выявления уникальных характеристик, которые затем сравниваются с текущими данными [12].

Визуальные системы навигации для БПЛА используют обработку изображений и компьютерное зрение для определения местоположения, и управления полетом в условиях, когда использование GPS невозможно или ограничено [13]. Эти системы включают видео и фото камеры с использованием компьютерного зрения: собранные изображения анализируются на предмет распознавания ориентиров, определения изменений в окружающей среде и вычисления собственного движения БПЛА. Алгоритмы SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) используются для одновременного картографирования окружающей среды и определения местоположения летательного аппарата в этой среде. Для обработки изображений в реальном времени требуются мощные вычислительные системы, а быстро меняющиеся условия (северное сияние, туман, пурга) могут затруднять точное позиционирование БПЛА и влиять на производительность таких систем.

Оптические системы навигации могут использовать различные оптические технологии, включая лазерное сканирование для определения расстояния и формирования 3D-карты окружающей среды, инфракрасное позиционирование для определения местоположения на основе тепловых изображений и фотограмметрию (создание карт и моделей с использованием фотографий, снятых с разных точек). Они имеют большую точность, но часто требуют более сложного оборудования.

Навигационные системы, использующие магнитное поле Земли, основаны на обнаружении и интерпретации магнитного поля планеты для определения направления, положения или угла относительно их полюсов [14]. Эти системы используют магнитные компасы или магнетометры для измерения напряженности и/или направления магнитного поля Земли. Они особенно полезны в местах, где отсутствует видимость небесных тел (например, полярные ночи) или где недоступны GPS/ГЛОНАСС.

Таким образом, выбор навигационных систем и их конструктивные решения должны учитывать специфические условия использования БПЛА, что обеспечивает выполнение заданных функций с необходимой точностью и надежностью.

3. Методы увеличения точности и надежности существующих систем. Развитие алгоритмов машинного обучения для обработки навигационной информации

Для эффективной работы современных БПЛА требуется точная и надежная навигационная информация. Методы повышения точности и надежности существующих систем навигации являются ключевыми для обеспечения успешной эксплуатации БПЛА. Эти методы включают как модернизацию аппаратных средств, так и развитие алгоритмов



обработки данных, в частности алгоритмов машинного обучения [15]. Применение методов машинного обучения (МО) к анализу и обработке навигационных данных открывает новые возможности для повышения их точности и надежности. Машинное обучение может помочь в решении ряда задач, связанных с навигацией БПЛА, включая фильтрацию шумов, распознавание аномалий, предсказание траекторий и адаптивное корректирование ошибок. Рассмотрим некоторые из этих методов ниже.

1. **Фильтрация шумов:** Системы навигации часто сталкиваются с непредсказуемым шумом, который вносит ошибки в данные. МО может помочь в разработке адаптивных алгоритмов фильтрации, способных более эффективно очищать навигационные данные от шумов, по сравнению со стандартными фильтрами [16].
2. **Распознавание аномалий:** Модели машинного обучения могут быть обучены распознавать аномальные отклонения в данных навигационных систем, которые могут указывать на ошибки в оборудовании или потере сигналов. Эта способность быстро обнаруживать и реагировать на потенциальные проблемы значительно повышает надежность навигационного обеспечения БПЛА [17,18].
3. **Предсказание траекторий:** Используя методы МО для анализа исторических данных, можно создавать модели для эффективного предсказания будущих траекторий полета. Такие модели важны для прогнозирования потенциальных ошибок в перемещении БПЛА и их коррекции в реальном времени [19,20].
4. **Адаптивное корректирование ошибок:** Алгоритмы машинного обучения могут адаптироваться к изменяющимся условиям и использовать данные из разнообразных источников для оценки и компенсации систематических ошибок в навигационных данных, что улучшает их точность [21].
5. **Интеграция данных с нескольких систем:** МО позволяет эффективно комбинировать данные из различных навигационных источников, включая GNSS, ИНС и оптические системы. Высокая вычислительная мощность современных систем МО делает возможным обработку больших объемов данных, что способствует их глубокой интеграции и увеличению точности навигации БПЛА в сложных условиях [22].

Разработка и внедрение алгоритмов машинного обучения, специализированных для обработки навигационной информации, является областью постоянных исследований. Особенно перспективным оказывается использование глубокого обучения, которое может выявлять сложные закономерности в данных, недоступные классическим методам. Однако эффективное использование МО все еще требует больших объемов высококачественных данных, а также глубокого понимания специфики задачи, для которой данные алгоритмы разрабатываются.

Заключение

1. Объемы мирового рынка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) растут быстрыми темпами. По прогнозам среднегодового темпа роста коммерческого рынка составляет 7,7% до 2030 года.
2. Для успешной эксплуатации БПЛА в условиях высоких широт, необходимо учитывать ряд особенностей, включая атмосферные условия, магнитные аномалии, солнечную активность и многие другие.
3. Автором рассмотрены особенности навигационных систем БПЛА, принцип действия которых может быть реализован на основе различных физических полей. Наиболее перспективными являются системы на основе магнитного поля Земли и оптические системы.



4. В работе предложена классификация видов навигационных систем, рассмотрены их принципы действия. Показано, что гибридные навигационные системы, объединяющие две или более технологии для улучшения точности, надежности и доступности навигационных данных для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), наиболее перспективны. Использование гибридных систем особенно важно в условиях Арктики, где каждый тип навигационной системы по отдельности может испытывать трудности, например, за счет геофизических аномалий или ограниченного доступа к спутниковым сигналам.
5. Использование технологий искусственного интеллекта, таких как машинное обучение и компьютерное зрение, значительно улучшает надежность и точность позиционирования навигационных систем БПЛА. Эти технологии позволяют системам адаптироваться к изменяющимся условиям, более эффективно обрабатывать и интерпретировать данные, а также обеспечивать более высокий уровень автономности и точности в сложной Арктической среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Drone industry insight 2023-2030: Global Drone Market Report [Электронный ресурс]. – URL: <https://droneii.com/product/drone-market-report>, (дата обращения 25.01.2024).
2. Спиридонов, А. А. Стратегические приоритеты применения беспилотных технологий при реализации энергетических проектов в Арктике / А. А. Спиридонов, А. М. Фадеев // Стратегирование: теория и практика. – 2023. – №3. – С. 322-335.
3. ГАРАНТ.РУ: О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года (с изменениями и дополнениями), Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. N 645. [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/74810556/> (дата обращения 25.01.2024).
4. Митько А.В. БПЛА в условиях арктического региона [Электронный ресурс] // Нефтегаз.Ру. 09.07.2019. – URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/tsifrovizatsiya/473748-bpla-v-usloviyakh-arkticheskogo-regiona/>, (дата обращения 24.01.2024).
5. Федотовских, А. В. Альтернативные средства навигации для гражданской беспилотной авиации арктического и северного базирования [Электронный ресурс] // Россия: тенденции и перспективы развития. 2022. №17-2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/alternativnye-sredstva-navigatsii-dlya-grazhdanskoy-bespilotnoy-aviatsii-arkticheskogo-i-severnogo-bazirovaniya> (дата обращения: 25.01.2024).
6. Чугаев В. Н. Влияние арктических условий на беспилотные летательные аппараты [Электронный ресурс] // Academy. 2017. №4 (19). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-arkticheskikh-usloviy-na-bespilotnye-letatelnye-apparaty> (дата обращения: 25.01.2024).
7. Шаталов Н. В. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БПЛА [Электронный ресурс] // Перспективы развития информационных технологий. 2016. №29. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-avtomaticheskogo-upravleniya-bpla> (дата обращения: 26.01.2024).
8. Голев И. М., Сергеев А. В. Локальная система навигации с использованием низкочастотного магнитного поля [Электронный ресурс] // Вестник ВГТУ. 2019. №5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lokalnaya-sistema-navigatsii-s-ispolzovaniem-nizkochastotnogo-magnitnogo-polya> (дата обращения: 27.01.2024).
9. Семенова Л. Л. Современные методы навигации беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] // Наука и образование сегодня. 2018. №4 (27). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-navigatsii-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov> (дата обращения: 26.01.2024).



10. Мишин А. Ю., Фролова О. А., Исаев Ю. К., Кляпнев Д. А. Комплексная навигационная система летательного аппарата [Электронный ресурс] // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. 2010. №3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-navigatsionnaya-sistema-letatel'nogo-apparata> (дата обращения: 26.01.2024).
11. Коваленко А. М., Шейников А. А. Модель инерциально-оптической навигационной системы беспилотного летательного аппарата [Электронный ресурс] // Системный анализ и прикладная информатика. 2020. №2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-inertsialno-opticheskoy-navigatsionnoy-sistemy-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata> (дата обращения: 26.01.2024).
12. Алчинов А. И., Гороховский И. Н. Концепция создания прикладной географической информационной системы моделирования поисковых корреляционно-экстремальных систем автономной навигации / Алчинов А. И. // Пробл. управл. – 2022. – № 1. – С. 54–66. – Control Sciences. – 2022. – № 1. – p. 43–54.
13. Vision-Based Navigation Techniques for Unmanned Aerial Vehicles: Review and Challenges / Muhammad Yeasir Arafat, Muhammad Morshed Alam, Sangman Moh //, Drones 7, – №. 2: 89. <https://doi.org/10.3390/drones7020089>
14. Ююкин И. В. Перспективная магнитная навигация с использованием метода сплайн-функций для оптимального формирования эталона картографирования / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2022. – Т. 14. – № 4. – С. 519–534. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-4-519-534.
15. AI Is Transforming Military Drones [Электронный ресурс] // [inkstickmedia.com](https://inkstickmedia.com/ai-is-transforming-military-drones/#:~:text=The%20introduction%20of%20AI%20automation,decision%2Dmaking%20for%20offensive%20operations): интернет-изд. 2023. – URL: <https://inkstickmedia.com/ai-is-transforming-military-drones/#:~:text=The%20introduction%20of%20AI%20automation,decision%2Dmaking%20for%20offensive%20operations> (дата обращения 27.01.2024).
16. Ху, Ю. Метод повышения точности навигационной системы летательного аппарата с помощью фильтра Калмана / Ю. Ху, Д. Ма // Политехнический молодежный журнал. – 2019. – № 9(38). – С. 5. – DOI 10.18698/2541-8009-2019-9-529. – EDN OPTCTW.
17. Басан Е.С., Абрамов Е.С., Басюк А.Г., Сушкин Н.А. Метод обнаружения атак на систему навигации БПЛА / Е. С. Басан // Информатика и автоматизация. – 2021. – выпуск 20. – том 6. – с. 1368–1394.
18. Ученые ЮФУ придумали, как защитить беспилотники от удаленного взлома [Электронный ресурс] // [sfedu.ru](https://sfedu.ru/press-center/news/67086): Центр общественных коммуникаций Южного Федерального университета 2021. – URL: <https://sfedu.ru/press-center/news/67086>, (дата обращения: 26.01.2024).
19. Яковлев, К. С. Метод автоматического планирования траектории беспилотного летательного аппарата в условиях ограничений на динамику полета / К. С. Яковлев, Д. А. Макаров, Е. С. Баскин // Искусственный интеллект и принятие решений – 2014. – №4. – с. 3-17.
20. Ардентов, А. А. Алгоритмы вычисления положения и ориентации БПЛА / А. А. Ардентов, Бесчастный И. Ю., Маштаков А. П., Попов А. Ю., Сачков Ю. Л., Сачкова Е. Ф. // Программные системы: теория и приложения. – 2012. – том 3. – № 3. – с. 23–39.
21. Помазков Е. В. Формирование маршрута беспилотного летательного аппарата, с учетом обеспечения коррекции инерциальной навигационной системы [Электронный ресурс] // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. №5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-marshruta-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-s-uchetom-obespecheniya-korreksii-inertsialnoy-navigatsionnoy-sistemy> (дата обращения: 27.01.2024).



22. Гэн К., Чулин Н.А. Интегрированная навигационная система для беспилотных летательных аппаратов с возможностью обнаружения и изоляции неисправностей [Электронный ресурс] // Машиностроение и компьютерные технологии. 2016. №12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integrirrovannaya-navigatsionnaya-sistema-dlya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-s-vozmozhnostyu-obnaruzheniya-i-izolyatsii> (дата обращения: 26.01.2024).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Овсянкин Андрей Вячеславович

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: yellowhammer7@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ovsiankin Andrei Vyacheslavovich

Postgraduate

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: yellowhammer7@yandex.ru