

УДК 623.746.4-519

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

Бавбель Е.И.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ методов управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) для наблюдения в сложных условиях. Рассмотрены ключевые аспекты, определяющие эффективность управления БПЛА, такие как точность позиционирования, надежность связи, адаптивность к изменяющимся условиям и безопасность полета. Проведен анализ автономных, полуавтономных и дистанционных методов управления, а также их применимость в условиях ограниченной видимости, наличия помех и нестабильных погодных условий. На основе проведенного исследования предложены рекомендации по выбору оптимальных методов управления для различных сценариев использования БПЛА. Актуальность работы обусловлена растущим спросом на надежные и эффективные системы беспилотного наблюдения в различных сферах деятельности.

Ключевые слова: БПЛА, Методов управления, наблюдение.

Введение. В последние годы развитие науки и техники привело к активному внедрению робототехнических комплексов и систем в повседневную жизнь. Одним из наиболее динамично развивающихся направлений являются беспилотные авиационные летательные аппараты (БПЛА), которые находят применение в таких областях, как мониторинг окружающей среды, поисково-спасательные операции, сельское хозяйство, военные задачи и многие другие. Однако успешное использование БПЛА в сложных условиях, таких как ограниченная видимость, наличие препятствий, нестабильные погодные условия и другие неблагоприятные факторы, требует разработки эффективных методов управления [1–16].

Целью работы является выявление наиболее эффективных подходов к управлению БПЛА в ситуациях, характеризующихся ограниченной видимостью, наличием помех, нестабильными погодными условиями и другими факторами, усложняющими выполнение задачи.

- определение понятия «сложные условия» для БПЛА;
- анализ существующих методов управления БПЛА;
- сравнительный анализ эффективности методов управления в сложных условиях.

Особое внимание уделяется таким критериям, как точность позиционирования, надежность связи, способность к адаптации и безопасность полета.

Основная часть. На основе анализа требуется сравнить эффективность различных методов управления БПЛА в различных «сложных» сценариях. Важно оценить такие факторы как точность позиционирования, надёжность связи, способность к адаптации к изменяющимся условиям, а также безопасность полёта.

Актуальность исследования обусловлена возрастающей потребностью в эффективных и надежных системах беспилотного наблюдения для решения задач в различных сферах деятельности. Современные БПЛА обладают широким спектром возможностей, однако их применение в сложных условиях ставит перед разработчиками и операторами новые вызовы.

Необходимость повышения точности, автономности и надежности управления БПЛА в таких условиях диктует необходимость проведения сравнительного анализа различных методов управления, с целью выявления наиболее перспективных подходов.

Управление беспилотными летательными аппаратами представляет собой сложную задачу, требующую точного и надежного контроля над полетом. В настоящее время существует множество различных методов управления БПЛА, которые можно классифицировать по степени автономности.

Автономные системы управления БПЛА характеризуются способностью выполнять задачи без прямого вмешательства оператора. Такие системы обладают высокой степенью независимости и могут принимать решения в реальном времени на основе данных, получаемых с бортовых датчиков.

Программное обеспечение является основой автономных систем управления БПЛА. Оно отвечает за обработку данных с датчиков, планирование траектории полета, стабилизацию и управление исполнительными механизмами.

Эффективная навигация является ключевым элементом автономного управления БПЛА. Для определения местоположения и ориентации в пространстве используются различные алгоритмы, основанные на данных *GPS*, инерциальных датчиков, компьютерного зрения и других источников информации. Эти алгоритмы позволяют БПЛА ориентироваться в сложных средах, избегать препятствий и точно достигать заданных координат.

Взаимодействие с оператором в полуавтономных системах реализуется через различные каналы, позволяющие передавать команды и получать обратную связь в режиме реального времени. Такой подход позволяет оператору вмешаться в управление БПЛА при возникновении нештатных ситуаций или необходимости принятия сложных решений [9].

Дистанционное управление БПЛА, в свою очередь, предполагает полный контроль со стороны оператора. Радиоуправление является традиционным методом дистанционного управления, обеспечивающим надежную связь на коротких и средних расстояниях.

Однако, развитие технологий привело к появлению новых возможностей, таких как управление через интернет. Этот метод позволяет управлять БПЛА на большие расстояния, используя существующую инфраструктуру.

Несмотря на очевидные преимущества дистанционного управления, важно отметить, что такой подход требует высокой квалификации оператора и постоянного мониторинга состояния связи.

Сложные климатические условия представляют собой серьезный вызов для наблюдения с помощью БПЛА. Осадки, такие как дождь или снег, могут ограничить видимость и повлиять на работу сенсоров, установленных на аппарате. Сильный ветер может сделать управление БПЛА нестабильным, а в некоторых случаях даже привести к его повреждению.

Проблемы, связанные с визуальной идентификацией объектов, также играют важную роль. Размытость изображения из-за удаленности, плохой освещенности или наличия маскирующих элементов может затруднить распознавание и анализ данных.

Наконец, географические условия могут существенно ограничить возможности наблюдения с использованием БПЛА. Горные районы с пересеченной местностью, густые леса, а также плотная застройка городов создают препятствия для полета и ограничивают зону видимости [10].

Таким образом, успешное применение БПЛА для наблюдения требует тщательного анализа и учета всех перечисленных факторов. Разработка и внедрение новых технологий, таких как системы автономной навигации, улучшенные сенсоры и алгоритмы обработки изображений, позволят преодолеть существующие ограничения и расширить возможности использования БПЛА в различных сферах деятельности.

Ключевыми факторами, определяющими эффективность управления БПЛА в сложных условиях, являются надежность и скорость реакции системы. Высокая надежность системы управления БПЛА гарантирует стабильную передачу данных и точное выполнение заданных задач, минимизируя риск аварийных ситуаций.

Скорость реакции системы управления напрямую связана с ее способностью оперативно адаптироваться к изменениям окружающей среды и принимать быстрые решения в непредвиденных ситуациях. В сложных условиях, где условия могут меняться стремительно, быстрая реакция системы играет решающую роль в обеспечении безопасности полета и эффективности выполнения задачи [8].

Сравнительный анализ различных методов управления БПЛА должен учитывать эти критерии.

Например, автономные системы управления, основанные на искусственном интеллекте, могут демонстрировать высокую эффективность в сложных условиях благодаря своей способности к самообучению и адаптации. Однако, такие системы требуют значительных вычислительных ресурсов и могут быть уязвимы к непредсказуемым ошибкам в алгоритмах.

С другой стороны, телеуправляемые системы, хотя и обеспечивают полный контроль со стороны оператора, могут быть менее эффективны в условиях ограниченной видимости или задержки сигнала.

Стоимость реализации метода управления напрямую связана со сложностью системы, используемыми технологиями и требуемой инфраструктурой. Более сложные алгоритмы, основанные на искусственном интеллекте и машинном обучении, могут обеспечить более точное управление в сложных условиях, но также требуют значительных вычислительных ресурсов и, следовательно, более дорогостоящего оборудования.

Потребление энергии является критическим фактором для автономных БПЛА с ограниченным временем полета. Методы управления, оптимизирующие траекторию полета и расход энергии, играют ключевую роль в увеличении продолжительности миссии.

Наконец, устойчивость к помехам – важнейший аспект для обеспечения надежной работы БПЛА в сложных условиях. Сигналы *GPS*, магнитные аномалии, атмосферные явления и электромагнитные помехи могут негативно повлиять на точность управления.

Выбор оптимального метода управления БПЛА для наблюдения в сложных условиях является многофакторной задачей, требующей взвешенного подхода. Необходимо учитывать не только точность и эффективность, но также и экономическую целесообразность, энергоэффективность и устойчивость к помехам. Только комплексный анализ всех этих аспектов позволит выбрать наиболее подходящий метод для конкретной задачи наблюдения.

Бортовой комплекс БПЛА является полнофункциональным средством навигации и управления беспилотного летательного аппарата. Комплекс обеспечивает: определение навигационных параметров, углов ориентации и параметров движения аппарата (угловых скоростей и ускорений); навигацию и управление при полете по заданной траектории; стабилизацию углов ориентации аппарата в полете; выдачу в канал передачи телеметрической информации о навигационных параметрах, углах ориентации БПЛА.

Несмотря на привлекательность, кажущиеся, доступность и простоту тематики БПЛА, она в реальности является не только весьма сложной технической задачей, но и серьезнейшей идеологической проблемой, поскольку затрагивает вопросы идеологии организации экономической политики государства. Нормативно-правовая база вопросов применения БПЛА в общем воздушном пространстве в настоящее время нуждается в доработке.

Заключение. Проведенный сравнительный анализ методов управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) для наблюдения в сложных условиях позволил выявить ключевые преимущества и недостатки различных подходов. Автономные системы управления, основанные на искусственном интеллекте и машинном обучении, демонстрируют высокую адаптивность и способность к самообучению, что делает их эффективными в условиях динамически изменяющейся среды. Однако такие системы

требуют значительных вычислительных ресурсов и могут быть уязвимы к ошибкам в алгоритмах, что ограничивает их применение в критически важных задачах.

Полуавтономные системы, сочетающие в себе элементы автономного управления и взаимодействие с оператором, обеспечивают баланс между гибкостью и контролем. Они позволяют оператору вмешиваться в процесс управления в случае возникновения нештатных ситуаций, что повышает надежность выполнения задач. Однако эффективность таких систем во многом зависит от качества связи и скорости реакции оператора.

Дистанционные методы управления, хотя и обеспечивают полный контроль со стороны оператора, сталкиваются с проблемами задержки сигнала и ограниченной видимости, что снижает их эффективность в сложных условиях. Тем не менее, они остаются востребованными в задачах, где требуется высокая точность управления и возможность оперативного вмешательства.

Важным аспектом при выборе метода управления является учет таких факторов, как стоимость реализации, энергопотребление и устойчивость к помехам. Современные технологии, такие как улучшенные сенсоры, алгоритмы компьютерного зрения и оптимизация траекторий полета, позволяют повысить точность и надежность управления БПЛА, но их внедрение требует значительных инвестиций.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что выбор оптимального метода управления БПЛА для наблюдения в сложных условиях должен основываться на конкретных требованиях задачи, включая условия эксплуатации, доступные ресурсы и допустимый уровень риска. Для задач, требующих высокой автономности и адаптивности, предпочтение следует отдавать системам на основе искусственного интеллекта. В случаях, где критически важен контроль со стороны оператора, более подходящими могут оказаться полуавтономные или дистанционные методы.

В заключение следует отметить, что дальнейшее развитие технологий управления БПЛА будет направлено на повышение автономности, точности и надежности систем, а также на снижение их стоимости и энергопотребления. Это откроет новые возможности для использования БПЛА в еще более сложных и ответственных задачах, таких как мониторинг чрезвычайных ситуаций, доставка грузов в труднодоступные районы и исследование опасных зон. Однако для успешного внедрения этих технологий необходимо также развитие нормативно-правовой базы и инфраструктуры, обеспечивающей безопасное и эффективное использование БПЛА в общем воздушном пространстве.

Список литературы

1. Алексеев, В. Ф. Автономная посадка БПЛА с использованием визуального сервоуправления = *Autonomous UAV landing using visual servo control* / В. Ф. Алексеев, Е. И. Бавбель // *BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics* : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 472–479.
2. Алексеев, В. Ф. Оценка облаков точек БПЛА с помощью искусственного интеллекта = *Assessment of UAV point clouds using artificial intelligence* / В. Ф. Алексеев, Е. И. Бавбель // *BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics* : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 12–18.
3. Бавбель, Е. И. Использование беспилотных летательных аппаратов для эпидемиологического надзора за инфекционными заболеваниями = *Use of unmanned aerial vehicles for epidemiological surveillance of infectious diseases* / Е. И. Бавбель, В. Ф. Алексеев // *Медэлектроника–2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии* : сборник научных статей XIV Международной научно-технической конференции, Минск, 5–6 декабря 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.]. – Минск, 2024. – С. 140–143.
4. Бавбель, Е. И. Возможности компьютерного зрения для беспилотных летательных аппаратов / Е. И. Бавбель, В. Ф. Алексеев // *Цифровая среда: технологии и перспективы* : сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Брест, 31 октября – 1 ноября 2024 г. / Брестский государственный технический университет ; редкол.: Н. Н. Шалобыта (гл. ред.) [и др.]. – Брест, 2024. – С. 46–51.
5. Бавбель, Е. И. Обзор аэродинамических характеристик профиля NASA = *NACA profile aerodynamic overview* / Е. И. Бавбель // *Электронные системы и технологии* : сборник материалов 60-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лихачевский [и др.]. – Минск, 2024. – С. 126–129.
6. Бавбель, Е. И. Подходы к проектированию БПЛА с повышенной выносливостью и грузоподъемностью / Е. И. Бавбель, А. А. Бородич, Е. В. Коляда // *Новые информационные технологии в научных исследованиях «НИТ-2023»* : материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 22–24 ноября, 2023 г. : в 2 т. Т 2 / Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина. – Рязань, 2023. – С. 60–62.
7. Бабаскин В. В., Королькова М. А., Олянюк П. В., Чепига В. Е. *Воздушный транспорт в современном мире* / под ред. П. В. Олянюка. С-Пб.: Государственный университет ГА, 2010. – 33 с.

8. Кулик А. С., Гордин А. Г., Нарожный В. В., Бычкова И. В., Таран А. Н. Проблематика разработки перспективных малогабаритных летающих роботов. Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина, 2005.
9. Лисейцев Н. К., Максимович В. З. и др.; Под ред. д-ра техн. наук, проф. Н. К. Лисейцева. Беспилотные самолеты вертикального взлета и посадки: Выбор схемы и определение проектных параметров. Из-во МАИ-ПРИНТ, 2009. - 140 с.
10. Красильщиков М. Н., Себряков Г. Г. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М. Н. Красильщикова, Г. Г. Себрякова. М.: Физматлит, 2003.
11. Бавбель, Е. И. Особенности применения беспилотных летательных аппаратов в обеспечении безопасности дорожного движения = Features of use of unmanned aerial vehicles in ensuring road safety / Е. И. Бавбель // Новые информационные технологии в научных исследованиях «НИИТ-2023»: материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 22–24 ноября, 2023 г.: в 2 т. Т 2 / Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина. – Рязань, 2023. – С. 57–59.
12. Бавбель, Е. И. Особенности применения беспилотных летательных аппаратов в обеспечении безопасности дорожного движения = Features of use of unmanned aerial vehicles in ensuring road safety / Е. И. Бавбель // Электронные системы и технологии: сборник материалов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 17–21 апреля 2023 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2023. – С. 61–63.
13. Бавбель, Е. И. Автономный полёт БПЛА как способ увеличения продолжительности полёта = Autonomous UAV flight as a way to increase flight duration / Е. И. Бавбель // Электронные системы и технологии: сборник материалов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 17–21 апреля 2023 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2023. – С. 57–60.
14. Бавбель, Е. И. О необходимости применения систем высокоточного позиционирования при построении БПЛА = On the necessity of application of high-precision positioning systems when building a UAV / Е. И. Бавбель, А. С. Анискевич // Электронные системы и технологии: сборник материалов 57-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 19-23 апреля 2021 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2021. – С. 670–672.
15. Анискевич, А. С. Проблемы проведения аэрофотосъемки с применением БПЛА = Problems of conducting aerial photography using UAV / А. С. Анискевич, Е. И. Бавбель // Электронные системы и технологии: сборник материалов 57-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 19-23 апреля 2021 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2021. – С. 664–666.
16. Бавбель, Е. И. Анализ методов защиты связи беспилотных летательных аппаратов от атак с использованием радиоэлектронных средств = Analysis of methods for protecting unmanned aircraft communication against attacks using radio electronic equipment / Е. И. Бавбель, А. С. Анискевич // Электронные системы и технологии: сборник материалов 57-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 19-23 апреля 2021 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2021. – С. 667–669.

UDC 623.746.4-519

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF CONTROL OF UAVS FOR OBSERVATION IN COMPLEX CONDITIONS

Bavbel E.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexeev V.F. – Cand. of Sci., assistant professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. The article presents a comparative analysis of control methods for unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveillance in difficult conditions. The key aspects that determine the effectiveness of UAV control, such as positioning accuracy, communication reliability, adaptability to changing conditions and flight safety, are considered. An analysis of autonomous, semi-autonomous and remote control methods, as well as their applicability in conditions of limited visibility, interference and unstable weather conditions, is carried out. Based on the conducted research, recommendations are proposed for choosing the optimal control methods for various scenarios of UAV use. The relevance of the work is due to the growing demand for reliable and effective unmanned surveillance systems in various fields of activity.

Keywords: UAVs, Control methods, surveillance.