

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ БПЛА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МИССИЙ НАБЛЮДЕНИЯ

*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 рассматриваются методы и подходы к оптимизации энергопотребления беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при выполнении миссий наблюдения. Анализируются ключевые факторы, влияющие на энергозатраты, такие как тип и размер БПЛА, используемые датчики, условия окружающей среды и стратегии полета. Представлены современные технологии и алгоритмы, включая машинное обучение, адаптивные системы управления и использование энергоэффективных датчиков, которые способствуют снижению энергопотребления. Особое внимание уделено оптимизации маршрутов и высоты полета, а также применению альтернативных источников питания. Статья подчеркивает важность комплексного подхода к решению задачи энергоэффективности БПЛА для расширения их функциональных возможностей и сфер применения.

**Ключевые слова:** БПЛА, энергопотребление, наблюдение.

**Введение.** Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся неотъемлемой частью современных технологий, находя применение в военной сфере, сельском хозяйстве, экологическом мониторинге и гражданской безопасности. Одной из ключевых проблем, ограничивающих их эффективность, является ограниченная емкость источников питания, что напрямую влияет на продолжительность полета и радиус действия. Особенно остро эта проблема проявляется при выполнении длительных миссий наблюдения, где требуется постоянный мониторинг удаленных территорий [1–17].

Целью исследований являлся анализ методов и алгоритмов, направленных на минимизацию энергопотребления БПЛА при выполнении миссий наблюдения.

В данной работе будет рассмотрен комплексный подход к решению этой задачи, включающий в себя анализ факторов, влияющих на энергопотребление, а также разработку и оценку различных методов оптимизации.

**Основная часть.** Если для больших пилотируемых самолетов переход на электрическое питание двигателей – это дело туманного далекого будущего, то для активно развивающейся беспилотной авиации нет проблемы актуальнее. Но там, где электричество, там аккумулятор, а где аккумулятор – там недостаточная емкость и слишком большой вес. Выход есть, и он весьма наукоемкий.

С постоянным стремлением к усовершенствованию и оптимизации функционирования БПЛА, инженеры и разработчики активно работают над созданием передовых систем управления, способных значительно увеличить дальность полета и автономность беспилотных аппаратов. Одной из основных задач при разработке инновационных систем управления для БПЛА является оптимизация работы двигателей и других электронных компонентов. Одним из основных требований к таким системам является длительное время полета без необходимости частой замены или перезарядки аккумуляторов. Современные беспилотные летательные аппараты используют различные типы источников питания. Самым популярным и востребованным является литий-полимерные аккумуляторы, которые используются на большинстве БПЛА. Но также у беспилотных летательных аппаратов есть и популярные альтернативные источники питания, которые используются на дронах, в зависимости от их использования и срока службы. Одними из наиболее часто используемых источников информации являются

топливные элементы, солнечные батареи и даже радиочастотное питание. Каждый из этих источников имеет свои преимущества и недостатки, и выбор оптимальной системы зависит от конкретного применения и требований к дрону [11].

Энергопотребление БПЛА зависит от множества факторов, включая:

- тип и размер БПЛА – большие аппараты требуют больше энергии для подъема и маневрирования;
- тип используемого датчика – разные датчики (камеры, радары, *LiDAR*) имеют различное энергопотребление;
- условия окружающей среды. Ветер, температура и влажность могут значительно влиять на эффективность полета;
- стратегия полета. Оптимизация маршрута и высоты полета может снизить энергозатраты.

Оптимизация маршрута БПЛА – это сложная задача, требующая учета множества факторов. В число этих факторов входят географические особенности района полетов: рельеф местности, наличие препятствий (здания, деревья, линии электропередач), метеорологические условия (ветер, температура). Параметры БПЛА: тип и характеристики силовой установки, аэродинамические свойства, масса, максимальная взлетная масса. Требования миссии: тип выполняемой задачи (разведка, доставка грузов, мониторинг), требуемая точность позиционирования, необходимость повторных облетов определенных зон.

Для решения задачи оптимизации маршрута БПЛА используются различные подходы, основанные на математических моделях и алгоритмах.

Моделирование и симуляция играют важную роль в оптимизации маршрута БПЛА. С помощью специализированного программного обеспечения можно смоделировать полет БПЛА в различных условиях, оценить эффективность различных маршрутов и выявить потенциальные проблемы [8].

Необходимо отметить, что оптимизация маршрута БПЛА – это непрерывный процесс. По мере сбора данных о полетах и изменениях условий окружающей среды маршрут может быть скорректирован для достижения максимальной эффективности.

Использование алгоритмов для планирования маршрута может значительно снизить энергозатраты. Например, алгоритмы, основанные на методах машинного обучения, могут предсказывать наиболее эффективные маршруты с учетом текущих условий.

Оптимальная высота полета может варьироваться в зависимости от типа миссии. Например, для наблюдения за большими территориями может быть целесообразно лететь на более высокой высоте, чтобы охватить большую площадь, в то время как для детального наблюдения за конкретными объектами может потребоваться более низкий полет.

Выбор датчиков с низким энергопотреблением, которые все же обеспечивают необходимую точность и качество данных, может существенно снизить общее энергопотребление БПЛА. Например, использование тепловизоров или мультиспектральных камер может быть более эффективным в определенных условиях.

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) сенсоры революционизировали индустрию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), предлагая компактные, легкие и экономически выгодные решения для обнаружения. Эти датчики играют важную роль в определении положения, ориентации и навигации БПЛА. МЭМС-датчики широко используются в БПЛА для различных приложений, включая акселерометры, гироскопы, датчики давления и магнитометры. В данной статье приведено подробное описание технологии производства микроэлектромеханических (МЭМС) датчиков для БПЛА, с акцентом на процессы проектирования, изготовления и упаковки [9].

Адаптивные системы управления, которые могут изменять параметры полета в реальном времени в зависимости от условий, могут помочь оптимизировать

энергопотребление. Например, изменение скорости полета в зависимости от силы ветра или изменение угла наклона для минимизации сопротивления воздуха.

В военных операциях, где БПЛА используются для наблюдения, оптимизация маршрута и высоты полета позволила значительно увеличить время полета и снизить вероятность обнаружения.

В сельском хозяйстве БПЛА используются для мониторинга посевов. Оптимизация маршрутов и использование специализированных датчиков позволили фермерам сократить затраты на топливо и увеличить эффективность сбора данных.

С развитием технологий, таких как искусственный интеллект и машинное обучение, возможности для оптимизации энергопотребления БПЛА будут только расширяться. Ожидается, что новые алгоритмы и датчики позволят значительно улучшить эффективность полетов.

**Заключение.** Оптимизация энергопотребления БПЛА при выполнении миссий наблюдения является важной задачей, которая требует комплексного подхода. Использование современных технологий и методов может значительно повысить эффективность и снизить затраты, что делает БПЛА более привлекательными для различных применений.

В современном мире, с его стремительным развитием технологий и возрастающей потребностью в сборе данных в реальном времени, БПЛА играют всё более важную роль. Их способность к автономному полету, доступность к труднодоступным районам и возможность оснащения различными сенсорами делают их незаменимым инструментом для мониторинга окружающей среды, проведения разведывательных операций, а также обеспечения безопасности.

Однако, ограниченная емкость источников питания на борту БПЛА является одним из основных факторов, ограничивающих продолжительность полета и эффективность выполнения миссий. Поэтому разработка методов оптимизации энергопотребления приобретает первостепенное значение.

Перспективы развития данной области связаны с внедрением новых технологий, таких как искусственный интеллект и машинное обучение, которые позволят еще больше повысить энергоэффективность БПЛА. Оптимизация энергопотребления не только увеличит продолжительность полета, но и расширит сферы применения беспилотных аппаратов, делая их более доступными и эффективными для решения широкого круга задач.

### 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. Бородин, 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.

10. Моисеев В. С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. В. С. Моисеев – Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования» (Серия «Современная прикладная математика и информатика»), 2013

11. Орлов Б. В., Мазинг Г. Ю., Рейдель А. Л., Степанов М. Н., Топчиев Ю. И. Основы проектирования ракетно-прямоточных двигателей для беспилотных летательных аппаратов.

12. Бавбель, Е. И. Основные задачи при исследовании методов и средств проектирования беспилотных летательных аппаратов / Е. И. Бавбель, А. А. Бородин, Е. В. Коляда // 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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

## OPTIMIZING UAV POWER CONSUMPTION DURING OBSERVATION MISSIONS

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 discusses methods and approaches to optimizing the energy consumption of unmanned aerial vehicles (UAVs) when performing surveillance missions. Key factors affecting energy costs, such as the type and size of the UAV, the sensors used, environmental conditions, and flight strategies, are analyzed. Modern technologies and algorithms, including machine learning, adaptive control systems, and the use of energy-efficient sensors that help reduce energy consumption are presented. Particular attention is paid to optimizing routes and flight altitudes, as well as the use of alternative power sources. The article emphasizes the importance of an integrated approach to solving the problem of UAV energy efficiency in order to expand their functionality and applications.

**Keywords:** UAVs, energy consumption, surveillance.