

УДК 004:629.733

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДЛЯ БПЛА: РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**

**Тимофеев Григорий Александрович**

Студент магистратуры

1 курс, факультет «Информационные технологии»

Кафедра «Математическая кибернетика и информационные технологии»

Московский технический университет связи и информатики

e-mail: grigorij.timofeev.2000@gmail.com

**Мальшев Иван Александрович**

Студент бакалавриата

4 курс, факультет «Сети и системы связи»

Кафедра «Сети связи и системы коммутации»

Московский технический университет связи и информатики

e-mail: lokkyspawn33@gmail.com

**Ратушняя Екатерина Сергеевна**

Студент бакалавриата

4 курс, факультет «Кибернетика и информационная безопасность»

Кафедра «Информационная безопасность»

Московский технический университет связи и информатики

e-mail: ratushnyayakaterina@mail.ru

### **Аннотация**

В данной статье мы рассмотрим вопрос о выборе наилучшего пути для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Анализ имеющихся методов показывает, что они часто не стабильны в условиях переменной окружающей среды. Для решения этой задачи предлагается новая стратегия, которая включает в себя адаптивное управление, использование реактивных алгоритмов и применение нейронных сетей. Этот подход гарантирует стабильность, адаптацию к разнообразным условиям полета, быстрое откликание на изменения в окружающей среде и возможность для самостоятельности. В дальнейшем, необходимы дополнительные исследования и эксперименты для проверки эффективности и сравнения этого подхода с уже существующими методами.

**Ключевые слова:** БПЛА, выбор траектории, адаптивное управление, реактивные алгоритмы, искусственные нейронные сети, устойчивость.

## **ANALYSIS OF METHODS FOR CHOOSING THE OPTIMAL TRAJECTORY FOR UAVS: SOLVING THE PROBLEM OF INSTABILITY IN A CHANGING ENVIRONMENT**

**Grigoriy A. Timofeev**

Master's degree student

1st year, Faculty of Information Technology

Department of Mathematical Cybernetics and Information Technology

Moscow Technical University of Communications and Informatics

**Ivan A. Malyshev**

Bachelor student

4th year, Faculty of "Networks and Communication Systems"

Department of "Communication Networks and Switching Systems"

Moscow Technical University of Communications and Informatics

**Ekaterina S. Ratushnyaya**

Bachelor student

4th year, Faculty of "Cybernetics and Information Security"

Department of "Information Security"

Moscow Technical University of Communications and Informatics

---

**ABSTRACT**

---

In this article, we will consider the question of choosing the best path for unmanned aerial vehicles (UAVs). Analysis of the available methods shows that they are often unstable in a variable environment. To solve this problem, a new strategy is proposed, which includes adaptive control, the use of reactive algorithms and the use of neural networks. This approach guarantees stability, adaptation to a variety of flight conditions, rapid response to changes in the environment and the opportunity for independence. In the future, additional research and experiments are needed to test the effectiveness and compare this approach with existing methods.

---

**Keywords:** UAV, trajectory selection, adaptive control, reactive algorithms, artificial neural networks, stability.

---

**Введение**

С технологическим прогрессом в области беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) становится все более важной задачей создание высокоэффективных методик для выбора наилучших траекторий их движения. БПЛА находят свое применение в множестве сфер, включая геодезию, картографию, гражданскую авиацию, сельское хозяйство и т.д. Оптимальная траектория полета БПЛА может значительно улучшить его производительность, безопасность и продолжительность эксплуатации, что делает выбор наиболее подходящего маршрута насущной задачей [1, 2].

Цель этой статьи – проанализировать существующие способы выбора наилучшей траектории для БПЛА и предложить решение одной из проблем, связанных с этим процессом. Мы сосредоточим внимание на проблеме нестабильности текущих методов в условиях меняющейся внешней среды.

Обсуждение достоинств и недостатков текущих подходов

В этой части мы обсудим существующие способы выбора наилучшей траектории для беспилотных летательных аппаратов, а также их плюсы и минусы.

Традиционные методы выбора оптимальной траектории включают использование кривых Безье, квинтических сплайнов и методов оптимального управления. Эти подходы базируются на математических моделях и алгоритмах, которые определяют наилучший путь полета БПЛА, основываясь на заданных критериях, таких как время полета, энергоэффективность, избегание столкновений и прочее.

Преимущества этих классических методов включают высокую точность и способность учитывать различные ограничения, например, ограничения на маневренность, препятствия и так далее. Они также имеют твердое математическое обоснование и долгое время использовались в авиации. Плюс, они могут быть адаптированы к разным типам БПЛА и условиям полета.

Но у традиционных методов есть и свои слабые стороны. Во-первых, они обычно требуют значительных вычислительных мощностей, особенно при решении сложных задач с большим количеством ограничений. Это может замедлить процесс выбора наилучшей траектории и сделать реакцию БПЛА на изменения в окружающей среде медленнее. Во-вторых, эти подходы не всегда способны эффективно реагировать на динамические изменения в окружающей среде, такие как движение других объектов или изменения погоды. Это может привести к выбору неоптимальной траектории и увеличению риска столкновений.

#### Выделение проблемы нестабильности в условиях изменяющейся среды

Основная проблема, которую мы можем обозначить в текущих методах выбора наилучшей траектории для БПЛА, заключается в их нестабильности в условиях переменной внешней среды. В реальной ситуации окружающая среда во время полета может меняться, и беспилотный летательный аппарат должен иметь возможность приспосабливаться к этим изменениям, подстраивая свой маршрут соответствующим образом [3].

Проблема нестабильности возникает из-за ограниченной способности существующих методов подстраиваться под новые обстоятельства или быстро отвечать на изменения окружающей среды [4]. Классические подходы, которые основываются на заранее рассчитанных моделях и алгоритмах, могут не давать ожидаемого результата, когда возникают непредвиденные ситуации, например, движение других объектов, изменение погоды или внезапное появление препятствий на пути.

В результате, нестабильность методов выбора наилучшей траектории может привести к ряду негативных последствий. Во-первых, БПЛА может выбирать неоптимальные маршруты, что ведет к увеличению времени полета, большому расходу энергии или недостаточно хорошему исполнению задания. Во-вторых, нестабильность может повышать риск столкновений с другими объектами в воздушном пространстве или на земле, что может вызвать аварии или повредить БПЛА [5].

Чтобы преодолеть эту проблему, необходимо разработать методы выбора наилучшей траектории, которые будут более адаптивны и могут быстро отреагировать на изменения в окружающей среде. Такой подход поможет обеспечить более стабильную и надежную работу БПЛА в различных обстоятельствах и условиях, минимизировать риск аварий и улучшить общую эффективность полета.

#### Анализ последствий нестабильности при определении оптимальной траектории

Нестабильность текущих методов определения оптимальной траектории для БПЛА в условиях изменяющейся среды может серьезно повлиять на их производительность и

эффективность. В этом разделе мы проанализируем эти последствия и исследуем влияние нестабильности на процесс выбора наилучшего пути [6].

Одно из ключевых последствий нестабильности – это неэффективное использование ресурсов. При нестабильности метода определения оптимальной траектории, БПЛА может выбирать маршруты, которые занимают больше времени или потребляют больше энергии, чем это необходимо. Это может привести к уменьшению продолжительности полета, ограничению дальности и неприемлемым результатам выполнения задачи.

Еще одно серьезное последствие нестабильности – увеличенный риск столкновений. Если метод определения оптимальной траектории нестабилен относительно динамических изменений в окружающей среде, таких как перемещение других объектов или смена погодных условий, БПЛА может не суметь адекватно реагировать на эти изменения. Это может привести к возникновению опасных ситуаций и увеличению вероятности столкновения с другими объектами в воздушном пространстве или на земле [7].

Таким образом, нестабильность методов определения оптимальной траектории для БПЛА может иметь отрицательное влияние на эффективность, безопасность и надежность полетов. Для решения этой проблемы необходимо создать более гибкие и стабильные методы, которые смогут эффективно учитывать изменения в окружающей среде и принимать наилучшие решения, основываясь на актуальной информации.

#### Обоснование предложенного решения

Для решения вопроса нестабильности при выборе наилучшей траектории для БПЛА мы предлагаем новую стратегию, которая строится на адаптивном контроле и применении отзывчивых алгоритмов.

В рамках этой стратегии мы рекомендуем внедрить адаптивные алгоритмы выбора траектории, которые способны откликаться на изменения в окружающей среде в реальном времени. В отличие от предварительно расчетных моделей и алгоритмов, эти адаптивные алгоритмы будут основываться на свежих данных о ситуации в окружающей среде, включая позицию других объектов, климатические условия, сведения с датчиков и другие параметры.

Важной частью новой стратегии является использование отзывчивых алгоритмов. Отзывчивые алгоритмы действуют на основе принципа быстрого реагирования на текущую ситуацию и оперативного принятия решений. Это позволяет БПЛА адаптироваться к изменениям в окружающей среде и определять наилучшую траекторию, исходя из актуальных данных.

Этот подход может быть реализован с помощью искусственных нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения. Искусственные нейронные сети способны обучаться на больших массивах данных, которые включают информацию о разнообразных сценариях полета и окружающей среде. Это позволит создать модель, способную предсказывать наилучшую траекторию, исходя из текущих данных, и обеспечивать более устойчивое и гибкое поведение БПЛА.

Предложенный подход представляет собой улучшение текущих методов выбора оптимальной траектории для БПЛА, так как он обеспечивает более высокий уровень адаптации и стабильности при изменениях в окружающей среде.

#### Обоснование предложенного решения

Адаптивное управление обеспечивает возможность корректировки траектории в реальном времени, исходя из актуальной информации о состоянии окружающей среды. Применение адаптивных алгоритмов позволяет БПЛА своевременно реагировать на такие изменения как перемещение других объектов, изменение климатических условий или

появление препятствий, и делать наилучшие решения, учитывая текущую ситуацию. Это обеспечивает высокую устойчивость и надежность при выборе наилучшей траектории.

В рамках этого подхода отзывчивые алгоритмы играют ключевую роль. Отзывчивые алгоритмы работают на основе принципа быстрого реагирования на текущую ситуацию и оперативного принятия решений. Они позволяют БПЛА приспосабливаться к изменениям в окружающей среде и определять наилучшую траекторию, исходя из актуальных данных, без необходимости предварительного расчета сложных моделей и алгоритмов. Такой подход обеспечивает высокую отзывчивость и гибкость при выборе наилучшей траектории.

Теоретическое обоснование предложенного подхода также включает использование искусственных нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения. Искусственные нейронные сети могут обучаться на больших объемах данных, содержащих информацию о различных сценариях полета и окружающей среде. Это позволяет создать модель, способную предсказывать наилучшую траекторию, исходя из актуальных данных, и обеспечивать более устойчивое и адаптивное поведение БПЛА.

Так, обоснование предложенного подхода базируется на принципах адаптивного управления, применении отзывчивых алгоритмов и использовании искусственных нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения. Адаптивное управление позволяет БПЛА приспосабливаться к меняющейся окружающей среде и определять наилучшую траекторию на основе актуальных данных. Отзывчивые алгоритмы обеспечивают быструю реакцию на изменения и принятие решений на основе текущей ситуации. Использование искусственных нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения позволяет создать модель, способную адаптироваться к различным условиям и предсказывать наилучшую траекторию БПЛА на основе актуальных данных. Такой подход обеспечивает повышенную адаптивность и отзывчивость БПЛА, позволяя оптимизировать его полет в сложной и динамичной окружающей среде.

### **Заключение**

В итоге, представленная концепция, включающая адаптивное управление, применение реактивных алгоритмов и использование искусственных нейронных сетей, выглядит обещающим подходом для определения наилучшей траектории для беспилотных летательных аппаратов. Это обеспечивает стабильность, способность адаптации к многообразию условий полета, мгновенную реакцию на изменения в окружающей среде и возможность для автоматизации и автономности. Следующим шагом должны стать дополнительные исследования и испытания, чтобы подтвердить эффективность предложенного подхода, провести сравнительный анализ с текущими методами и усовершенствовать это решение, учитывая разные критерии и ограничения.

### **Список литературы:**

1. Jesse, Russell Беспилотный летательный аппарат / Jesse Russell. - М.: VSD, 2012. - 277 с.
2. Sonja, Poulton Летательные аппараты / Sonja Poulton. - М.: Балтийская книжная компания, 2014. - 419 с.
3. Technology of Airplane and Helicopter Manufacturing: Fundamentals of Aircraft Manufacturing / Технология производства самолетов и вертолетов. Основы технологии производства летательных аппаратов / В. Сикульский и др. - М.: Харьковский авиационный институт, 2014. - 208 с.
4. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 2014. - 240 с.

5. Автоматический контроль и диагностика систем управления силовыми установками летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 2016. - 240 с.
6. Бауэрс Летательные аппараты нетрадиционных схем / Бауэрс, П. - М.: Мир, 2016. - 320 с.
7. Бортовые интеллектуальные системы. Часть 3. Системы корабельной посадки летательных аппаратов. - М.: Радиотехника, 2010. - 1

**References:**

1. Jesse, Russell Unmanned aerial vehicle / Jesse Russell. - М.: VSD, 2012. - 277 p.
2. Sonja, Poulton Aircraft / Sonja Poulton. - М.: Baltic Book Company, 2014. - 419 p.
3. Technology of Airplane and Helicopter Manufacturing: Fundamentals of Aircraft Manufacturing / Technology for the production of aircraft and helicopters. Fundamentals of technology for the production of aircraft / V. Sikulsky et al. - М.: Kharkov Aviation Institute, 2014. - 208 p.
4. Automated training systems for professional training of aircraft operators. - М.: Mashinostroenie, 2014. - 240 p.
5. Automatic control and diagnostics of aircraft power plant control systems. - М.: Mashinostroenie, 2016. - 240 p.
6. Bowers Non-traditional aircraft / Bowers, P. - М.: Mir, 2016. - 320 p.
7. Onboard intelligent systems. Part 3. Aircraft landing systems. - М.: Radio engineering, 2010. - 1