

Мамедов Ильхам Юсиф оглы, старший преподаватель
Сумгаитский государственный университет

Хаджиев Тапдиг Бенига оглы, старший преподаватель
Сумгаитский государственный университет

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ В ВОЕННОЙ СФЕРЕ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются современные направления развития и применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в военной сфере. Основное внимание уделено эволюции беспилотных систем от дистанционно пилотируемых платформ к интегрированным киберфизическим системам, способным выполнять продолжительное наблюдение, сбор и обработку данных, навигацию и передачу информации в составе единого информационного пространства. Проанализированы ключевые технологические компоненты БПЛА: бортовые сенсоры, системы связи, навигации, вычислительные средства, искусственный интеллект, системы управления и энергетические установки. Отдельно рассмотрены вопросы кибербезопасности, устойчивости каналов управления, надежности, интероперабельности и человеческого контроля. Показано, что военное значение БПЛА определяется не только летно-техническими характеристиками отдельного аппарата, но и способностью всей системы обеспечивать своевременное получение, верификацию и передачу информации. Рассматриваются перспективы развития автономности, группового применения, мультисенсорной обработки и интеграции БПЛА с другими средствами разведки и управления. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода, объединяющего технологические, организационные, правовые и этические требования.

Ключевые слова: Беспилотный летательный аппарат, БПЛА, беспилотная авиационная система, военная авиация, разведка и наблюдение, искусственный интеллект, автономность, сенсорные системы, кибербезопасность, связь.

1. Введение

Беспилотные летательные аппараты стали одним из наиболее заметных направлений развития современной авиационной и информационной техники. Их распространение связано с возможностью выполнять продолжительные полеты без размещения человека-пилота непосредственно на борту, использовать различные сенсорные комплексы и передавать получаемую информацию на наземные пункты управления. В военной сфере это привело к расширению возможностей разведки, наблюдения, контроля обстановки, ретрансляции информации и поддержки принятия решений. Современный БПЛА следует рассматривать не как изолированный летательный аппарат, а как часть беспилотной авиационной системы, включающей воздушную платформу, полезную нагрузку, каналы связи, наземные средства, программное обеспечение и операторов.

Актуальность исследования определяется быстрым развитием цифровых технологий. Современные исследования показывают, что архитектура БПЛА все в большей степени включает сенсорное слияние, интеллектуальную обработку информации, автоматическое планирование маршрутов, обнаружение препятствий и средства защиты от радиоэлектронных и киберугроз [1–4]. Одновременно расширяется область практического применения высокоавтономных платформ. Например, НАТО использует пять RQ-4D Phoenix в составе своей системы разведки, наблюдения и рекогносцировки, причем платформа оснащена радиолокационными и другими сенсорными средствами для продолжительного наблюдения [5,6].

Цель статьи состоит в систематизации основных технологических тенденций развития БПЛА военного назначения и определении факторов, которые влияют на эффективность таких систем. Для достижения поставленной цели рассматриваются классификация и архитектура



беспилотных систем; основные направления военного применения; роль искусственного интеллекта; автономность и групповые системы; устойчивость связи и кибербезопасность; надежность и энергетические ограничения; правовые и этические вопросы; перспективные направления исследований.

2. Методология исследования

Исследование выполнено в формате аналитического обзора научной и институциональной литературы. В качестве источников использованы современные обзорные публикации по архитектуре БПЛА, автономной навигации, кибербезопасности и надежности, а также материалы международных организаций и официальные сведения о действующих беспилотных системах. Особое внимание уделено публикациям 2024–2026 годов, позволяющим учитывать актуальные тенденции развития технологий. Методологически работа основана на сравнительном анализе технологических компонентов и системном подходе, при котором БПЛА рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов.

В статье не ставится задача анализа конкретных способов применения вооружения или разработки средств поражения. Предмет исследования ограничен технологическими и организационными аспектами беспилотных авиационных систем: сбором данных, навигацией, связью, обработкой информации, автономностью, безопасностью и интеграцией в информационные контуры. Такой подход позволяет сосредоточиться на научно-технических вопросах, имеющих значение для дальнейших исследований и подготовки специалистов.

3. Понятие и архитектура современных беспилотных авиационных систем

В научной литературе необходимо различать понятия UAV и UAS. UAV обычно обозначает непосредственно беспилотный летательный аппарат, тогда как UAS охватывает более широкую систему, включающую воздушный сегмент, наземную инфраструктуру, каналы передачи данных и персонал. Такое разграничение принципиально важно для оценки эффективности, поскольку характеристики летательного аппарата сами по себе не определяют возможности всей системы [1,4].

Типовая архитектура современной UAS включает пять функциональных элементов. Первый элемент – воздушная платформа, обеспечивающая полет, размещение оборудования и энергетическое обеспечение. Второй – полезная нагрузка, в которую могут входить оптико-электронные, инфракрасные, радиолокационные, навигационные и другие сенсоры. Третий – бортовой вычислительный комплекс, обеспечивающий управление, обработку данных и выполнение алгоритмов автономности. Четвертый – коммуникационный контур, соединяющий аппарат с наземной станцией и другими элементами системы. Пятый – наземный сегмент, включающий операторов, станции управления, средства анализа данных и инфраструктуру технического обеспечения.

Современная тенденция состоит в переходе от платформоцентричного к системоцентричному проектированию. Если ранее главным критерием считались продолжительность полета, дальность или масса полезной нагрузки, то сегодня все большее значение получают качество информационного продукта, устойчивость связи, способность к интеграции и скорость преобразования необработанных данных в информацию, пригодную для принятия решений. Официальные сведения НАТО о RQ-4D Phoenix показывают именно такой подход: самолет является частью комплекса, где работа пилота, оператора сенсоров и аналитиков объединена в единый процесс получения разведывательной информации [5,6].

4. Основные направления военного применения

Одним из наиболее развитых направлений является разведка, наблюдение и рекогносцировка (ISR). БПЛА позволяют организовывать длительное наблюдение за большими территориями и получать данные с различных сенсоров. В отличие от традиционной модели, при которой информация собирается эпизодически, беспилотные системы способны обеспечивать продолжительное информационное присутствие. НАТО прямо указывает, что RQ-4D используется для высокоэшелонированной и длительной разведки и наблюдения, а полученные данные обрабатываются специалистами для формирования информационных продуктов [5].



Вторым направлением является наблюдение за объектами и изменениями обстановки. Комбинация видимого, инфракрасного и радиолокационного диапазонов позволяет получать взаимодополняющие сведения. Мультисенсорный подход особенно важен при изменении освещенности, погодных условий и качества связи. При этом результативность определяется не количеством датчиков, а возможностью корректно объединить данные разных источников.

Третьим направлением является связь и информационное обеспечение. БПЛА могут использоваться как воздушные узлы ретрансляции, расширяя возможности передачи информации между разнесенными элементами. Значение такого применения возрастает в условиях сложной географии и при необходимости поддерживать устойчивый обмен данными. Однако этот потенциал непосредственно связан с надежностью радиоканалов, защитой информации и возможностью функционирования при частичной деградации навигационных и коммуникационных сервисов.

Четвертое направление связано с поддержкой управления и ситуационной осведомленности. В этом случае ценность БПЛА определяется не самим фактом полета, а способностью своевременно предоставить проверенную информацию соответствующему пользователю. Следовательно, в перспективных системах основным объектом оптимизации становится информационная цепочка «сбор данных – передача – обработка – анализ – представление».

Пятое направление включает мониторинг границ, морских районов, инфраструктуры и зон чрезвычайных ситуаций. Хотя эти задачи не являются исключительно военными, соответствующие технологии могут применяться в системах безопасности и кризисного реагирования. Таким образом, современная беспилотная платформа обладает двойным характером применения, а развитие гражданских технологий сенсоров, связи и искусственного интеллекта непосредственно влияет на военные системы.

5. Искусственный интеллект и интеллектуальная обработка данных

Одним из ключевых факторов трансформации БПЛА является внедрение методов искусственного интеллекта. Современные исследования показывают значительный рост применения глубокого обучения и компьютерного зрения в задачах автономной навигации, наблюдения, сопровождения объектов и обработки изображений [2]. При этом ИИ не следует рассматривать как замену всей системе управления. Его роль целесообразно анализировать как совокупность отдельных функций: распознавание образов, классификация объектов, обнаружение аномалий, прогнозирование состояния системы и помощь оператору.

Особое значение имеет обработка информации непосредственно на борту, то есть edge computing. Передача всего объема видеоданных на наземный пункт управления требует значительной пропускной способности канала. Бортовая обработка позволяет предварительно фильтровать данные и передавать оператору только информационно значимые результаты. Это уменьшает нагрузку на связь и потенциально сокращает время между наблюдением и анализом.

Однако применение ИИ связано с рядом ограничений. Алгоритмы компьютерного зрения зависят от качества и репрезентативности обучающих данных, условий освещения, погоды, ракурса и наличия помех. Ошибки классификации могут иметь существенные последствия, поэтому интеллектуальная обработка должна сопровождаться механизмами оценки достоверности и контролем со стороны человека. Систематический обзор исследований по компьютерному зрению для БПЛА также отмечает быстрый рост данного направления и одновременно указывает на сохраняющиеся исследовательские проблемы [2].

Перспективным направлением является объединение ИИ с мультисенсорным анализом. Если данные оптической камеры, инфракрасного сенсора и радиолокационного средства обрабатываются совместно, система может получить более устойчивое представление о наблюдаемой среде. В научном плане это открывает возможности для разработки методов оценки неопределенности, объяснимости алгоритмов и адаптивного выбора сенсоров.



6. Автономность и групповые беспилотные системы

Автономность является одним из наиболее дискуссионных направлений развития БПЛА. Важно разграничивать автоматизацию и автономность. Автоматизированная система выполняет заранее определенную последовательность действий, тогда как автономная система обладает определенной способностью самостоятельно выбирать действия в пределах заданных ограничений. В авиационной сфере это различие связано с требованиями к надежности, верификации и человеческому контролю [7,8].

Современные алгоритмы автономной навигации включают планирование маршрута, обход препятствий, оценку состояния и адаптацию к изменениям внешней среды. Обзорные исследования отмечают, что поиск безопасного маршрута в трехмерном пространстве требует учета множества ограничений, включая динамику аппарата, препятствия и неопределенность восприятия [1]. Следовательно, повышение автономности невозможно свести к установке одного программного модуля; необходим комплекс сенсоров, вычислительных ресурсов, алгоритмов и средств контроля.

Отдельный интерес представляют групповые системы, в которых несколько аппаратов взаимодействуют для распределения задач и повышения устойчивости. В научной литературе исследуются распределение задач, координация, обмен состояниями и коллективное планирование. Теоретически группа может обеспечить большую пространственную и информационную охватность, чем отдельный аппарат. Вместе с тем увеличение числа элементов повышает требования к связи, синхронизации, защите данных и управлению.

Для международных исследований особенно важна проблема проверяемости автономных функций. Чем больше решений передается алгоритму, тем сложнее заранее проверить все возможные сочетания входных данных и действий. Именно поэтому дискуссии об автономных системах связаны не только с технической эффективностью, но и с вопросами ответственности, предсказуемости и человеческого контроля [7,8].

7. Связь, навигация и кибербезопасность

Надежность коммуникаций является критическим фактором для любой UAS. Беспилотная система зависит от передачи команд, телеметрии и полезной информации. При этом уязвимым является не только воздушный аппарат, но и наземная станция, программное обеспечение, сетевые узлы и внешние сервисы. Современный обзор по кибербезопасности UAS подчеркивает, что риски возникают на протяжении всего жизненного цикла системы и затрагивают архитектуру связи, вычислительные компоненты и наземную инфраструктуру [4].

Важным принципом становится многослойная защита. Она должна включать аутентификацию, шифрование, контроль доступа, мониторинг аномалий, безопасное обновление программного обеспечения и сегментацию информационных сетей. При этом кибербезопасность нельзя рассматривать отдельно от функциональной безопасности: компрометация данных может привести не только к утечке информации, но и к нарушению нормального функционирования системы.

Навигационная устойчивость также приобретает особое значение. Современные БПЛА используют спутниковые навигационные системы совместно с инерциальными и другими средствами определения положения. Исследования по архитектуре авионики подчеркивают необходимость объединения сенсорных данных и применения механизмов защиты от различных видов радиоэлектронных воздействий [1]. В перспективных системах целесообразно развивать многоисточниковую навигацию и алгоритмы оценки достоверности каждого источника.

Таким образом, надежность БПЛА должна оцениваться не только по вероятности отказа двигателя или электроники. Необходимо учитывать надежность всей информационной цепи: сенсор – вычислитель – канал связи – наземная станция – оператор – аналитическая система. Подобный системный подход является одним из главных условий безопасной эксплуатации.



8. Энергетика, надежность и техническое обслуживание

Продолжительность полета остается одним из фундаментальных ограничений БПЛА. Для электрических платформ ключевыми факторами являются удельная энергоемкость аккумуляторов, масса конструкции и эффективность силовой установки. Для более крупных аппаратов используются другие энергетические решения, однако и они сталкиваются с ограничениями по массе, топливу, температурному режиму и техническому обслуживанию.

Интересным направлением являются солнечные энергетические системы. Современный обзор 2026 года отмечает перспективность солнечных БПЛА для длительных миссий, но одновременно указывает на зависимость от погодных условий, ограничения солнечной генерации, сложности интеграции фотоэлектрических элементов и необходимость эффективного управления энергией [9]. Следовательно, солнечная энергетика является не универсальной заменой традиционным источникам, а специализированным направлением для определенных классов платформ.

Надежность определяется также качеством технического обслуживания. Чем сложнее сенсорный и вычислительный комплекс, тем большее значение приобретают диагностика, прогнозирование отказов и контроль программного обеспечения. Современные исследования рассматривают автоматическое обнаружение аномалий в полетных данных как перспективный инструмент повышения надежности [10]. Анализ телеметрии может позволить обнаруживать отклонения до возникновения серьезного отказа.

Важной тенденцией становится переход от регламентного обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию. Для этого используются цифровые модели, исторические данные, машинное обучение и мониторинг параметров. Такой подход потенциально снижает простой техники и повышает предсказуемость жизненного цикла.

9. Правовые и этические аспекты

Развитие автономности делает правовые и этические вопросы неотъемлемой частью исследования БПЛА. Международное гуманитарное право применяется к ведению вооруженных конфликтов независимо от того, используется ли традиционная или технологически сложная система. Особую дискуссию вызывают автономные системы вооружения, способные после активации самостоятельно выбирать и поражать объекты на основе данных от сенсоров.

Международный комитет Красного Креста подчеркивает риски потери человеческого контроля и сложности обеспечения предсказуемости последствий автономных систем [11,12]. В документах системы ООН продолжается обсуждение определения и возможных ограничений летальных автономных систем. В 2025 году Генеральная Ассамблея ООН приняла резолюцию по этой теме, что подтверждает международную значимость вопроса [13].

При этом необходимо различать обычную автоматизацию полета, автономную навигацию и автономность при применении силы. Эти понятия не являются тождественными. Автоматическое следование маршруту или стабилизация полета не означает передачу машине решения о применении силы. Для научной корректности необходимо точно указывать, какая функция автоматизирована и на каком этапе сохраняется человеческий контроль.

Правовой аспект затрагивает также безопасность воздушного пространства. Международная организация гражданской авиации в 2024 году приняла новые стандарты и рекомендуемую практику, связанные с дистанционно пилотируемыми авиационными системами, что отражает развитие международной нормативной базы [14]. Хотя военные операции имеют специфический режим регулирования, общая тенденция к формализации требований к безопасности и интеграции беспилотных систем в воздушное пространство имеет большое значение.

Этическая проблема заключается не только в возможности применения автономного оружия. Она включает вопросы ответственности разработчиков, операторов и командиров, прозрачности алгоритмов, защиты гражданских лиц, предотвращения ошибочной идентификации и обеспечения возможности расследования инцидентов. Поэтому развитие БПЛА должно сопровождаться параллельным развитием процедур контроля, испытаний и оценки рисков.



10. Перспективные направления развития

Наиболее вероятным направлением дальнейшего развития является интеграция БПЛА в многодоменное информационное пространство. Воздушная платформа будет все чаще выступать источником данных, который объединяется с наземными, морскими, космическими и кибернетическими источниками. Это потребует унификации форматов данных, повышения интероперабельности и развития распределенной обработки.

Вторым направлением станет развитие автономности при сохранении управляемости. Перспективными являются системы, в которых человек определяет цели и ограничения, а программные средства выполняют рутинные задачи навигации, маршрутизации, обработки сенсорной информации и обнаружения аномалий. Такой подход способен уменьшить нагрузку на оператора, сохраняя контроль над критическими решениями.

Третье направление – интеллектуальное распределение вычислений между бортом и наземной инфраструктурой. Часть обработки будет выполняться непосредственно на БПЛА, тогда как сложные модели и долговременный анализ могут выполняться в наземных или облачных вычислительных центрах. Это создает гибридную архитектуру, устойчивость которой будет зависеть от качества коммуникаций и способности системы функционировать при временном отсутствии отдельных каналов.

Четвертое направление – повышение киберустойчивости. По мере роста автономности потенциальный ущерб от нарушения программного обеспечения или информационных каналов возрастает. Поэтому безопасность должна закладываться на стадии проектирования, а не добавляться после создания системы. Современные исследования UAS cybersecurity подчеркивают необходимость защиты всей цепочки, включая воздушную платформу, каналы связи и наземные компоненты [4].

Пятое направление связано с энергетикой. Исследования солнечных и гибридных систем, более эффективных накопителей энергии и интеллектуального управления энергопотреблением могут расширить продолжительность полета отдельных классов БПЛА [9]. Однако дальнейший прогресс будет зависеть от комплексной оптимизации аэродинамики, массы, полезной нагрузки и энергетической системы.

11. Обсуждение

Анализ показывает, что эффективность военного БПЛА нельзя объективно оценивать одним показателем. Большая дальность полета без надежного канала связи не гарантирует высокой информационной ценности; высококачественный сенсор без достаточной вычислительной мощности может создавать избыточный поток данных; развитая автономность без механизмов верификации может повышать системные риски. Следовательно, научная оценка должна учитывать совокупность взаимосвязанных характеристик.

Особое значение имеет переход от оценки отдельных платформ к оценке способности всей системы решать информационные задачи. В этом контексте целесообразно использовать комплекс показателей: устойчивость получения данных, задержку информационного цикла, достоверность результатов анализа, надежность связи, киберустойчивость, энергоэффективность, ремонтпригодность и степень человеческого контроля.

Важным результатом анализа является также вывод о том, что искусственный интеллект не устраняет необходимость в профессиональном операторе. Напротив, по мере роста автоматизации возрастает значение подготовки специалистов, способных оценивать результаты алгоритмов, выявлять ошибки и принимать решения в условиях неопределенности. Человеческий фактор меняет свою форму: от непосредственного управления каждым параметром полета к контролю целей, ограничений, качества данных и результатов работы системы.

Наконец, международный характер развития БПЛА требует сопоставления технических стандартов, требований безопасности и правовых подходов. Гармонизация процедур сертификации, обмена данными и оценки рисков может способствовать безопасной интеграции беспилотных систем в различные воздушные пространства и уменьшить фрагментацию нормативной среды.



12. Заключение

Беспилотные летательные аппараты превратились из специализированных дистанционно управляемых платформ в сложные интегрированные системы, объединяющие авиационные, информационные, сенсорные и вычислительные технологии. Их значение в военной сфере связано прежде всего с возможностью длительного наблюдения, сбора и передачи информации, повышения ситуационной осведомленности и поддержки принятия решений.

Современный этап развития характеризуется ростом роли искусственного интеллекта, автономной навигации, мультисенсорной обработки, распределенных вычислений и группового взаимодействия. Одновременно сохраняются фундаментальные ограничения, связанные с энергетикой, связью, надежностью, кибербезопасностью, погодными условиями и качеством данных. Поэтому дальнейшее совершенствование БПЛА требует не отдельного улучшения одной характеристики, а системной оптимизации всей архитектуры.

Особое место занимают правовые и этические требования. Рост автономности должен сопровождаться прозрачными процедурами испытаний, оценкой предсказуемости, распределением ответственности и сохранением необходимого уровня человеческого контроля. Международные дискуссии последних лет показывают, что технологическое развитие беспилотных систем происходит одновременно с формированием новых норм и подходов к их ответственному применению [11–13].

Таким образом, перспективный БПЛА военного назначения следует рассматривать как элемент единой информационной экосистемы. Конкурентоспособность таких систем будет определяться не только летными характеристиками, но и качеством сенсорного комплекса, интеллектуальной обработки, устойчивостью связи, киберзащитой, энергетической эффективностью, надежностью и способностью безопасно взаимодействовать с человеком и другими системами

Список литературы:

1. Advances in UAV avionics systems architecture, classification and integration: A comprehensive review and future perspectives // Results in Engineering. 2024. Vol. 24. Article 103786. DOI: 10.1016/j.rineng.2024.103786.
2. Autonomous UAV navigation using deep learning-based computer vision frameworks: A systematic literature review // Array. 2024. Vol. 23. Article 100361. DOI: 10.1016/j.array.2024.100361.
3. Configurations, flight mechanisms, and applications of unmanned aerial systems: A review // Progress in Aerospace Sciences. 2020. DOI: 10.1016/j.paerosci.2020.100694.
4. A survey on unmanned aerial systems cybersecurity // Journal of Systems Architecture. 2024. Vol. 156. Article 103282. DOI: 10.1016/j.sysarc.2024.103282.
5. NATO Intelligence, Surveillance and Reconnaissance Force (NISRF). NATO. Official information on RQ-4D Phoenix and ISR capabilities. 2026.
6. NATO RQ-4D Phoenix. NATO Intelligence, Surveillance and Reconnaissance Force. Official technical and operational information. 2026.
7. NATO Review. Autonomous military drones: no longer science fiction. 28 July 2017.
8. NATO Review. Game of drones? How new technologies affect deterrence, defence and security. 5 May 2020.
9. Utilizing solar energy for UAVs: Advancements, challenges and future perspectives in defense and military applications – A review // Solar Energy Materials and Solar Cells. 2026. Vol. 296. Article 114075. DOI: 10.1016/j.solmat.2025.114075.
10. Anomaly detection in unmanned aerial vehicles flight data: A survey // Ad Hoc Networks. 2025. Vol. 178. Article 103989. DOI: 10.1016/j.adhoc.2025.103989.
11. International Committee of the Red Cross. ICRC position on autonomous weapon systems. Official position.



12. International Committee of the Red Cross. Autonomous Weapon Systems and International Humanitarian Law: Selected Issues. 3 March 2026.
13. United Nations General Assembly. Lethal autonomous weapons systems. Resolution A/RES/80/57. 2025.
14. International Civil Aviation Organization (ICAO). Council adopts new international aviation Standards and Recommended Practices for remotely piloted aircraft systems. 5 April 2024.
15. UAV avionics safety, certification, accidents, redundancy, integrity, and reliability: a comprehensive review and future trends // Drone Systems and Applications. 2024. Vol. 12. DOI: 10.1139/dsa-2023-0091.
16. A survey on security of UAV and deep reinforcement learning // Ad Hoc Networks. 2024. Vol. 164. Article 103642. DOI: 10.1016/j.adhoc.2024.103642

