

## ПРОБЛЕМА ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ БЕСПИЛОТНИКОВ

<sup>1</sup>Каменщиков А.А.

<sup>1</sup> ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп. 7

---

Рассмотрены типы и области применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Обсуждаются способы реализации взаимодействия и управления различными БПЛА. Приведены категории коммуникационных технологий, доступных для БПЛА. Обсуждаются вопросы создания профиля интероперабельности для БПЛА. Перечислены основные документы по интероперабельности для БПЛА.

---

Ключевые слова: дроны, беспилотные летательные аппараты, интероперабельность

## THE PROBLEM OF INTEROPERABILITY IN THE FIELD OF UAVS

<sup>1</sup>Kamenshikov A.A.

<sup>1</sup> Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics (IRE) of Russian Academy of Sciences, 125009, Moscow, ul. Mokhovaya 11, building 7

---

The types and applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) are considered. Discusses how to implement the interaction and control of various UAVs. The categories of communication technologies available for UAVs are given. The issues of creating an interoperability profile for UAVs are discussed. The main documents on interoperability for UAVs are listed.

---

Keywords: drones, unmanned aerial vehicles, interoperability

### Введение

Если мы говорим о дронах, то в зарубежной литературе их чаще всего называют беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) или Unmanned aerial vehicles (UAVs) [1].

Применение БПЛА разнообразно, в том числе актуально для областей, связанных с гражданским, военным, коммерческим и государственным секторами<sup>1</sup>. Например, БПЛА для мониторинга окружающей среды (загрязнения, здоровье растений и контроль промышленных аварий) в гражданском секторе. Для военного и государственного мы в основном имеем использование БПЛА для наблюдения и доставки, направленные на получение или предоставление информации в местах после бедствия или нападения, а также на распространение лекарств или других необходимых предметов. Для военных целей, конечно, возможно и ведение боевых действий. Коммерческие применения сфокусированы на доставке продуктов и товаров в городских и сельских районах. БПЛА во многом зависят от датчиков, антенн и встроенного программного обеспечения, поэтому их развитие тесно связано с развитием концепции Интернета вещей или internet of things (IoT), которая также решает проблемы обеспечения двусторонней связи для приложений, связанных с дистанционным управлением и мониторингом [2].

Существуют различные типы БПЛА с отличительными характеристиками, такими как: поддерживаемая высота, скорость и энергетическая автономия. Как правило, БПЛА классифицируются по поддерживаемым высотам на: низколетящие платформы или Low-Altitude Platforms (LAP) и высотные платформы или High-Altitude Platforms [3]. Кроме того, БПЛА можно классифицировать на винтокрылые (rotary-wing) и

---

<sup>1</sup> Настоящая работа выполнена в рамках бюджетного финансирования по государственному заданию

стационарные (fixed-wing). Первые подходят для случаев, когда требуются БПЛА, которые могут оставаться в устойчивом положении, тогда как последние подходят для применений, которые требуют БПЛА, путешествующих на высоких скоростях и покрывающих большие расстояния [4].

Основные типы сенсорных технологий, которые сегодня поддерживаются и являются частью беспилотных летательных аппаратов, можно разделить на три основные категории: (а) управление полетом, (б) сбор данных и (с) датчики связи. Управление полетом для оценки внутреннего состояния акселерометров используется для определения положения и ориентации БПЛА в полете. Датчики сбора данных зависят от области применения. БПЛА оснащены несколькими датчиками для сбора информации и данных, которые необходимы для выполнения определенных задач. Например, для военных целей БПЛА могут быть оснащены высококачественными электрооптическими датчиками и радарными для бортовых систем, обеспечивающих разрешение от миллиметров до нескольких сантиметров. Наибольший интерес представляют системы или датчики связи. Решение задач управления БПЛА выполняются через системы и сети связи [5]. В случае нескольких БПЛА необходимы технологии, позволяющие им общаться друг с другом причем обеспечивать безопасность взаимодействия. Существуют различные типы связи, используемых в БПЛА, основные из них перечислены в [1].

Обширный список сетевых протоколов и методов связи для универсальных устройств IoT можно найти в справочнике [6]. Основываясь на диапазоне охвата, доступных скоростях передачи данных и спецификациях задержки, очевидно, что технология 5G может занять лидирующие позиции для обеспечения связи БПЛА. В такой концептуальной модели БПЛА могут формировать инфраструктурные динамические сетевые сегменты архитектуры IoT, которые взаимосвязаны с базовой сетью для предоставления требовательных услуг, таких как мультимедийная потоковая передача наблюдения [7].

Рассмотрим более подробно западные документы, связанные с применением дронов в военной области, т.к. именно она является одной из первых, в которой появилась проблема взаимодействия БПЛА, и она вносит в развитие различных БПЛА весомый вклад.

### **Пентагон. Беспилотные Системы. Интегрированная Дорожная Карта 2017-2042**

Министерство обороны США предпринимают активные усилия по включению беспилотных систем в свои существующие организационные структуры, что свидетельствует о том, что потенциал, касающийся беспилотных систем, имеют огромное значение. Стандартизация текущих разработок, сотрудничество, когда это возможно, и консолидация имеющихся знаний и технологий позволят обеспечить бесперебойную совместную работу, которая способствует развитию военного потенциала применения: пилотируемых, беспилотных или комбинированных команды.

Основные достижения, проблемы и тенденции могут быть объединены в четыре основные темы, которые будут способствовать ускорению развития беспилотных системы в будущем [8]:

- **Интероперабельность.** Исторически интероперабельность была и остается одним из основных направлений при эксплуатации беспилотных систем. Пилотируемые и беспилотные системы все больше объединяют свои возможности, сосредоточившись на критической необходимости использования открытых и общих архитектур. Прочная взаимодействующая основа обеспечивает ту самую структуру, которая позволит добиться будущих успехов в боевых действиях.

- **Автономность.** Обеспечение автономности в робототехнике могут революционизировать концепции боевых действий как значительный мультипликатор силы. Автономия значительно повысит эффективность и результативность как пилотируемых, так и беспилотных систем, обеспечивая стратегическое преимущество.

- **Сетевая безопасность.** Работа беспилотных систем обычно зависит от надежных сетевых соединений и эффективного доступа к ним. Для предотвращения сбоя или манипуляций необходимо устранить уязвимости сети.

- **Взаимодействие человека и машины.** Объединение человеческих сил и машин обеспечит оптимальное сотрудничество, когда машины будут оценены как «товарищи» по команде.

Более подробно концепция Министерство обороны США представлена в документе «Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042» (58 страниц.) [9].

В ближайшей перспективе, как утверждается в дорожной карте [9], Министерство обороны США должно сосредоточиться на внедрении открытых архитектур и стандартов для командования и управления, а также общих архитектур, которые улучшают взаимодействие. Также разработать стратегический и экономический план по внедрению общих и открытых архитектур. Разработать профили совместимости беспилотных систем или Unmanned Systems Interoperability Profiles (USIPs), программное обеспечение и общие интерфейсы, чтобы большей модульности и взаимозаменяемости [10].

Оперативность принятия решений во время военных действий будет зависеть от критического и эффективного взаимодействия между боевыми системами. Эти взаимодействия будут зависеть от взаимозаменяемой технологической основы, обеспечивающей создание и функционирование сетей и служб передачи данных и связи в рамках всех участников, занимающихся системами ведения боевых действий. Это взаимодействие будет обеспечивать своевременную передачу информации между сборщиками информации, лицами, принимающими решения, планировщиками и военными. Комплексный подход к разработке беспилотных систем, руководствуясь общим видением совместных операций, приведет к повышению финансовой эффективности и оперативной эффективности. Это особенно важно с учетом вероятности увеличения инвестиций в беспилотные системы и, как следствие, их использования, поскольку совместные силы используют быстро развивающиеся технологии. Интероперабельность станет основой целостно интегрированных совместных и коалиционных сил, которые в полной мере используют технологию беспилотных систем. В тандеме с динамичным сочетанием пилотируемых и беспилотных систем крайне важно, чтобы беспилотные системы могли общаться, обмениваться информацией и сотрудничать друг с другом и «человеческими коллегами» в разных системах и областях. В завтрашней оперативной обстановке крайне важно, чтобы силы и системы могли общаться между несколькими уровнями командования, между различными подразделениями, обмениваться информацией и задачами и помогать руководителям миссий по мере развития событий на поле боя в режиме реального времени. Сводная информация о будущем пути для пяти ключевых средств обеспечения совместимости приведена в таблице 1 [9].

Таблица 1. Комплексная дорожная карта интероперабельности

		2017 - - - - -	2029 - - - - -	2042
		NEAR-TERM	MID-TERM	FAR-TERM
INTEROPERABILITY	Common/Open Architectures/AI Frameworks	-Standardized C2 & Reference Architectures	-Support Seamless, Agile, Autonomous Human-Machine Collaboration and inter-Machine collaboration	
	Modularity & Parts Interchangeability	-Retrofit Existing Systems -Plan Modularity into New Systems	-Rapid Upgrades and Configuration Changes	
	Compliance/ Verification & Validation	-New TEVV Approach -New V&V Tools & Techniques	-Highly Complex Autonomous Systems TEVV	
	Data Transport Integration	-Common Data Repositories -Integrated End-to-End Delivery	-Anti-Jamming - Low Probability of Intercept/Detection	
	Data Rights	-Secure Needed Data Rights -Evolve Data Rights Policy	-Maximum Mission Support Flexibility	

Также важно отметить, что Defense strategies institute проводит ежегодную конференцию «DoD Unmanned Systems Summit». 7 –ая ежегодная конференция прошла в 13-14 марта 2019 года [11]. В рамках данных конференций также активно обсуждаются вопросы интероперабельности.

### Документы по интероперабельности для Unmanned Systems

Рассматриваемый в прошлом разделе документ является дорожной картой и не содержит конкретных стандартов и рекомендаций. Однако есть документы, которые более подробно рассматривают вопрос важности стандартизации при обеспечении интероперабельности дронов, однако также не приводит конкретных наборов стандартов – профилей. Одним из основных безусловно является документ «UNMANNED SYSTEMS INTEROPERABILITY STANDARDS», который представляет собой технический отчет и содержит более широкий обзор данной темы [12]. Перечислим документы, касающиеся стандартов интероперабельности и содержат в себе передовой опыт для беспилотных систем:

- Unmanned Interoperability Initiative (UI2) Capability-Based Assessment (Unmanned Interoperability Initiative 2012);
  - Standards and Governance Efforts;
  - Unmanned Aircraft System (UAS) Control Segment (UCS) Architecture (Unmanned Aircraft System (UAS) Control Segment (UCS) Working Group n.d.);
  - Unmanned Systems Interoperability Profiles (USIPs); e.g., see (Department of Defense 2008) and discussion in (Department of Defense 2013);
  - Service Interface Control Working Groups (ICWGs);
  - Service Interoperability Profiles (IOPs); e.g., see (Fisherkeller 2014);
  - DoD Chief Information Office Interoperability Steering Group (Department of Defense 2012);
  - Joint Interoperability Test Command (JITC) (Joint Interoperability Test Command n.d.);
  - Joint Technology Center/Systems Integration Laboratory (JSIL) (Aviation and Missile Research, Development, and Engineering Center n.d.);
  - DoD IT Standards and Profile Registry (DISR, see (Department of Defense 2015));

- Future Airborne Capability Environment (FACE) (The Open Group n.d.) (Matthews and Sweeney 2013);
- Sensor/Platform Interface and Engineering Standardization (SPIES) Initiative (SAE International 2013);
- IOPs defined for Unmanned Ground Systems (UGS) e.g., (Robotic Systems Joint Project Office 2011);
- Advanced Explosive Ordnance Disposal Robotics System (AEODRS) Common Architecture (Del Signore 2015);
- Test and Evaluation Architecture and Bench Testing;
- Geospatial Intelligence (GEOINT) Functional Manager Seal of Approval (GFMSA) (National System for Geospatial Intelligence 2013).

Также отдельно хотелось бы отметить европейский документ «European ATM Master Plan: Roadmap for the safe integration of drones into all classes of airspace», который затрагивает интероперабельность дронов в воздухе в большом масштабе [13]. Быстрые изменения в технологии беспилотных летательных аппаратов имеют огромные перспективы для будущего использования воздушного пространства и авиации в целом, поскольку цифровая трансформация расширяется в небо. Это требует поэтапного изменения способа управления воздушным пространством. По сути, произойдет переход от нескольких тысяч обычных самолетов в небе каждый день к потенциально сотням тысяч высокосвязанных и автоматизированных летательных аппаратов, предлагающих передовые услуги с использованием данных и работающих повсюду, в том числе в городах. Преобразование инфраструктуры для поддержки таких операций будет иметь решающее значение для использования потенциала сектора, разблокирования роста рынка, создания рабочих мест и предоставления услуг гражданам. Вводится понятие U-space, которое означает набор новых сервисов, опирающихся на высокий уровень цифровизации и автоматизации функций и конкретных процедур, предназначенных для обеспечения безопасного, эффективного и безопасного доступа в воздушное пространство большого количества беспилотных летательных аппаратов. Таким образом, U-space является благоприятной основой, предназначенной для облегчения любой рутинной миссии во всех классах воздушного пространства и всех типах окружающей среды, даже самых перегруженных, – при решении соответствующего интерфейса с пилотируемой авиацией и управлением воздушным движением. Также отмечается важность IoT и 5G для развития интероперабельности воздушном пространстве.

### **Заключение**

Таким образом можно сделать следующие выводы:

1. Функциональная совместимость оборонительных систем имеет ключевое значение для способности различных сил безопасно и эффективно действовать совместно в ходе совместных или комбинированных операций.
2. Можно использовать подход, изложенный в ГОСТ Р 55062 «Информационные технологии. Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения» при разработке интероперабельных систем БПЛА.
3. Интероперабельность может быть «увеличена» за счет использования открытых стандартов или совместных архитектур. Наблюдается расширение использования беспилотных систем (UXS, в которой "X" может стоять "A" (aerial), "C" (surface), "G" (ground) или "U" (underwater)) современных сил в многонациональных операциях требуют многонациональной совместимости, кросс-доменного взаимодействия и модернизации оборудования на современное и стандартизации взаимодействия "человек-машина". Приведенные выше описание входит в техническое задание гранта европейского союза [14] от марта 2019 года.
4. Проблема находится только на начальных этапах своего решения и управляемы беспилотными системами или группами систем и их взаимодействие актуально для разных высот в воздухе, для работы на земле и под водой.

### **Литература**

1. Lagkas T. и др. UAV IoT Framework Views and Challenges: Towards Protecting Drones as «Things» [Электронный ресурс] // Sensors (Basel, Switzerland). 2018. Т. 18, № 11. URL: [https://www.researchgate.net/publication/328968155\\_UAV\\_IoT\\_Frameworks\\_Views\\_and\\_Challenges\\_Towards\\_Protecting\\_Drones\\_as\\_Things](https://www.researchgate.net/publication/328968155_UAV_IoT_Frameworks_Views_and_Challenges_Towards_Protecting_Drones_as_Things) (дата обращения: 27.04.2019).
2. Luo, C.; Nightingale, J.; Asemota, E.; Grecos, C. A UAV-cloud system for disaster sensing applications. In Proceedings of the 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Glasgow, 2015, pp. 1–5.
3. Al-Hourani, A.; Kandeepan, S.; Jamalipour, A. Modeling air-to-ground path loss for low altitude platforms in urban environments. In Proceedings of the 2014 IEEE Global Communications Conference, Austin, TX, USA, 8–12 December 2014; pp. 2898–2904. doi:10.1.
4. Zeng, Y.; Zhang, R.; Lim, T.J. Wireless communications with unmanned aerial vehicles: Opportunities and

challenges. *IEEE Commun. Mag.* 2016, 54, 36–42. doi:10.1109/MCOM.2016.7470933.

5. Zhang, C.; Zhang, W. Spectrum sharing for drone networks. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2017, 35, 136–144.

6. Triantafyllou, A.; Sarigiannidis, P.; Lagkas, T.D. Network Protocols, Schemes, and Mechanisms for Internet of Things (IoT): Features, Open Challenges, and Trends. *Wirel. Commun. Mobile Comput.* 2018, 2018. doi:10.1155/2018/5349894.

7. Bellavista, P.; Giannelli, C.; Lagkas, T.; Sarigiannidis, P. Quality Management of Surveillance Multimedia Streams Via Federated SDN Controllers in Fiwi-Iot Integrated Deployment Environments. *IEEE Access* 2018, 6, 21324–21341.

8. Pentagon Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042 - USNI News [Электронный ресурс]. URL: <https://news.usni.org/2018/08/30/pentagon-unmanned-systems-integrated-roadmap-2017-2042> (дата обращения: 28.04.2019).

9. Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.defensedaily.com/wp-content/uploads/post\\_attachment/206477.pdf](https://www.defensedaily.com/wp-content/uploads/post_attachment/206477.pdf) (дата обращения: 28.04.2019).

10. New DOD Unmanned Systems Report Maps Future Interoperability, Open Architecture Efforts - Rotor & Wing International [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rotorandwing.com/2018/08/30/new-dod-unmanned-systems-report-maps-future-interoperability-open-architecture-efforts/> (дата обращения: 28.04.2019).

11. Unmanned Systems Summit | DEFENSE STRATEGIES INSTITUTE | Advancing The Mission. Supporting The Force [Электронный ресурс]. URL: <http://unmannedsystems.dsigroup.org/> (дата обращения: 28.04.2019).

12. Blais C.L. NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY, CALIFORNIA UNMANNED SYSTEMS INTEROPERABILITY STANDARDS [Электронный ресурс]. 2016. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/81222182.pdf> (дата обращения: 28.04.2019).

13. European ATM Master Plan: Roadmap for the safe integration of drones into all classes of airspace [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atmmasterplan.eu/downloads/> (дата обращения: 28.04.2019).

14. Interoperability standards for military unmanned systems [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/padr-us-03-2019;freeTextSearchKeyword=;typeCodes=1;statusCodes=31094501,31094502;programCode=PPPA;programDivisionCode=null;focusAreaCode=null;crossCuttingPri> (дата обращения: 28.04.2019).

## References

1. Lagkas T. и др. UAV IoT Framework Views and Challenges: Towards Protecting Drones as «Things» // *Sensors* (Basel, Switzerland). 2018. Т. 18, № 11. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/328968155\\_UAV\\_IoT\\_Frameworks\\_Views\\_and\\_Challenges\\_Towards\\_Protecting\\_Drones\\_as\\_Things](https://www.researchgate.net/publication/328968155_UAV_IoT_Frameworks_Views_and_Challenges_Towards_Protecting_Drones_as_Things) (accessed: 27.04.2019).

2. Luo, C.; Nightingale, J.; Asemota, E.; Grecos, C. A UAV-cloud system for disaster sensing applications. In *Proceedings of the 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Glasgow, 2015, pp. 1–5.

3. Al-Hourani, A.; Kandeepan, S.; Jamalipour, A. Modeling air-to-ground path loss for low altitude platforms in urban environments. In *Proceedings of the 2014 IEEE Global Communications Conference*, Austin, TX, USA, 8–12 December 2014; pp. 2898–2904. doi:10.1.

4. Zeng, Y.; Zhang, R.; Lim, T.J. Wireless communications with unmanned aerial vehicles: Opportunities and challenges. *IEEE Commun. Mag.* 2016, 54, 36–42. doi:10.1109/MCOM.2016.7470933.

5. Zhang, C.; Zhang, W. Spectrum sharing for drone networks. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2017, 35, 136–144.

6. Triantafyllou, A.; Sarigiannidis, P.; Lagkas, T.D. Network Protocols, Schemes, and Mechanisms for Internet of Things (IoT): Features, Open Challenges, and Trends. *Wirel. Commun. Mobile Comput.* 2018, 2018. doi:10.1155/2018/5349894.

7. Bellavista, P.; Giannelli, C.; Lagkas, T.; Sarigiannidis, P. Quality Management of Surveillance Multimedia Streams Via Federated SDN Controllers in Fiwi-Iot Integrated Deployment Environments. *IEEE Access* 2018, 6, 21324–21341.

8. Pentagon Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042 - USNI News. Available at: <https://news.usni.org/2018/08/30/pentagon-unmanned-systems-integrated-roadmap-2017-2042> (accessed: 28.04.2019).

9. Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042. Available at: [https://www.defensedaily.com/wp-content/uploads/post\\_attachment/206477.pdf](https://www.defensedaily.com/wp-content/uploads/post_attachment/206477.pdf) (accessed: 28.04.2019).

10. New DOD Unmanned Systems Report Maps Future Interoperability, Open Architecture Efforts - Rotor & Wing International. Available at: <https://www.rotorandwing.com/2018/08/30/new-dod-unmanned-systems-report-maps-future-interoperability-open-architecture-efforts/> (accessed: 28.04.2019).

11. Unmanned Systems Summit | DEFENSE STRATEGIES INSTITUTE | Advancing The Mission. Supporting The Force. Available at: <http://unmannedsystems.dsigroup.org/> (accessed: 28.04.2019).

12. Blais C.L. NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY, CALIFORNIA UNMANNED SYSTEMS INTEROPERABILITY STANDARDS. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/81222182.pdf> (accessed: 28.04.2019).

13. European ATM Master Plan: Roadmap for the safe integration of drones into all classes of airspace. Available at: <https://www.atmmasterplan.eu/downloads/> (accessed: 28.04.2019).

14. Interoperability standards for military unmanned systems . Available at: <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/padr-us-03-2019;freeTextSearchKeyword=;typeCodes=1;statusCodes=31094501,31094502;programCode=PPPA;programDivisionCode=null;focusAreaCode=null;crossCuttingPri> (accessed: 28.04.2019).