

Инженерный анализ задач и свойств наземного мобильного комплекса управления воздушным движением беспилотных воздушных судов

Рассматриваются процессы обеспечения компонентного состава наземного мобильного комплекса управления воздушным движением беспилотных воздушных судов. Показана необходимость комплексного внедрения спутниковых, воздушных и наземных технологий связи, навигации, наблюдения беспилотных воздушных судов в целях безопасной и экономически эффективной интеграции. Представлена структурно-функциональная схема разработанного мобильного наземного комплекса управления воздушным движением и предложена обобщенная концепция практического внедрения разработанного мобильного наземного комплекса управления воздушным движением в отраслях Российской Федерации на примере применения данного комплекса для решения задач беспилотного аэромониторинга объектов.

А.К. АХАЕВ,
аспирант,
В.И. ГВОЗДАРЕВ,
Р.М. НОВЕННИКОВ,
Д.В. РЫБАКОВ
(ГУУ, Москва)
dv_rybakov@guu.ru

Беспилотные авиационные системы, беспилотные воздушные суда, инженерный анализ, задачи, свойства, наземный мобильный комплекс, управление воздушным движением

В настоящее время в связи с активным развитием беспилотных авиационных систем и одновременным ростом интенсивности воздушного движения и использования воздушного пространства пилотируемыми летательными аппаратами гражданского назначения (что связано с восстановлением после пандемии и ростом пассажиропотока [1]) и военного и специального назначения (в связи с ростом международной напряженности и ведущимися в различных регионах мира боевыми действиями средней и высокой интенсивности [2, 3]) многократно увеличилось число беспилотных воздушных судов в воздушном пространстве. Также в различных регионах активно развиваются технологии городской аэромобильности, основанные на применении беспилотных авиационных систем, увеличивается размер связанных с этим рынков [4], в связи с чем разрабатываются операционные концепции использования воздушного пространства [4, 5].

Беспилотные авиационные системы являются объектами повышенной опасности, поэтому необходимо использование специальных технологий обеспечения безопасности эксплуатации и управления полетами беспилотных воздушных судов, в первую очередь средств связи и автоматического управления полетами беспилотных воздушных судов [6]. Совокупность средств связи, навигации, наблюдения, контроля и управления полетами представляет собой систему управления воздушным движением, обеспечивающую безопасность полетов в реальном времени. Технический облик и структура построения системы управления воздушным движением во многом определяются результатами инженерного анализа, позволяющего оценить соответствие системы всей совокупности решаемых функциональных задач и сформировать основные принципы построения перспективных систем, как, например, в работах [6–8]. Инженерный анализ задач и определение возможных свойств наземного мобильного комплекса управления воздушным движением беспилотных воздушных судов является целью настоящей статьи.

Современные системы управления воздушным движением являются автоматизированными информационно-вычислительными системами и состоят из подсистемы сбора информации, подсистемы связи и передачи информации, вычислительного комплекса, подсистемы отображения информации, подсистемы оперативной связи с воздушным судном.

Системы управления воздушным движением могут включать различные компоненты и подсистемы, в том числе наземные стационарные системы, наземные мобильные комплексы, воздушные системы ретрансляции каналов связи и управления, системы на базе спутниковых технологий. При этом, как показано в работах [6–8], наилучшие показатели надежности системы имеют многоуровневые комплексные

системы, обеспечивающие многовариантность установления и передачи связи между различными летательными аппаратами.

Система управления воздушным движением беспилотных воздушных судов на базе спутниковых технологий является спутниковой радионавигационной системой, относится к классу сетевых систем непрерывного действия, обеспечивая глобальное высокоточное определение координат местоположения беспилотных воздушных судов. Основные преимущества систем управления воздушным движением на базе спутниковых технологий – неограниченная дальность действия, единство информационного пространства (единая система координат), высокая точность определения координат, применение в любое время суток в любых метеоусловиях.

В связи с быстрорастущим числом применяемых в различных отраслях беспилотных летательных аппаратов спутниковые системы широко не применяются, так как существуют ограничения по массогабаритным и энергетическим характеристикам значительного числа малых беспилотных воздушных судов, а также проблема технической доступности спутниковых систем. Число возможных абонентских устройств большинства развернутых систем существенно меньше, чем потребность беспилотной отрасли. В перспективе после развертывания низкоорбитальных группировок это ограничение может быть снято, но в существующих геополитических реалиях низкоорбитальные группировки весьма уязвимы, существует риск единовременного выхода из строя всей системы связи при исключительном их использовании для обеспечения функционирования системы управления воздушным движением. Кроме того, из-за роста общего числа летательных аппаратов возникает проблема автоматизации системы управления воздушным движением и обеспечения автономности ее функционирования [9], что требует создания новых подходов к решению вопросов автоматизации процессов разрешения возможных коллизий в воздушном пространстве. В соответствии с результатами проведенного анализа такие задачи решались в основном с помощью мультиагентного подхода [10–12] и благодаря применению искусственных нейронных сетей для построения бесконфликтных траекторий беспилотных воздушных судов в воздушном пространстве [13, 14].

Вместе с тем следует отметить, что те же ограничения по массогабаритным и энергетическим характеристикам большинства малых беспилотных воздушных судов не позволяют реализовать нейросетевые вычисления на борту. Однако каждое малое беспилотное воздушное судно контролируется и управляется наземной станцией внешнего пилота, функции которой возможно автоматизировать, обеспечивая выполнение необходимых вычислений и принятие решений вычислительными средствами наземных систем.

По результатам проведенного анализа, существующие наземные стационарные системы управления воздушным движением по своему предназначению, экономичности эксплуатации и стоимости услуг не отвечают требованиям функциональной эффективности беспилотных авиационных систем [15]. Кроме того, существующие беспилотные воздушные суда находятся вне нормативной базы, определяющей экономическое взаимодействие с существующей системой управления воздушным движением. Например, существует проблема взимания стоимости услуг по аэронавигационному обслуживанию в действующей системе управления воздушным движением. Стоимость услуг по аэронавигационному обслуживанию воздушных судов взимается в соответствии с руководящими документами Министерства транспорта Российской Федерации, рассчитанными для оплаты полетов только воздушных судов авиации общего назначения [16], и, очевидно, избыточна для большинства задач, решаемых малыми беспилотными воздушными судами.

Проведенный анализ различных отраслевых сценариев применения малых беспилотных воздушных судов показал, что, кроме спутниковых воздушных сегментов в составе системы управления воздушным движением, необходимы наземные стационарные комплексы, а наиболее перспективными для практического применения в сфере беспилотных авиационных систем являются мобильные наземные комплексы.

Пример обобщенных результатов анализа сценариев применения беспилотных авиационных систем в нефтегазодобывающей отрасли представлен на рис. 1.



Рис. 1

Технический облик и структура построения перспективного наземного мобильного комплекса управления воздушным движением должны определяться решаемыми задачами и эксплуатационными свойствами.

С помощью создаваемого наземного мобильного комплекса управления воздушным движением должны решаться следующие задачи:

- контроль над безопасностью полетов и оказание аэронавигационных услуг в районах временного использования беспилотных воздушных судов;
- контроль над безопасностью полетов беспилотных воздушных судов в районах возможных коллизий и опасных сближений с пилотируемыми воздушными судами, например вблизи аэродромов;
- контроль над безопасностью полетов беспилотных воздушных судов в районах полигонов и временных площадок испытательных центров, сертификационных испытательных лабораторий и авиационных учебных центров.

Инженерный анализ решаемых задач и эксплуатационных свойств наземного мобильного комплекса управления воздушным движением показывает, что данный комплекс может и должен использоваться в качестве станции внешнего пилота беспилотного воздушного судна, при этом с возможностью одновременного автоматического управления сразу несколькими беспилотными воздушными судами, а также с возможностью использования в качестве командного пункта обеспечения безопасности полигонных работ при испытаниях, сертификации и обучении специалистов беспилотных авиационных систем.

Создаваемый наземный мобильный комплекс управления воздушным движением характеризуется следующими эксплуатационными свойствами (требованиями):

- унификация и модульность конструктивного исполнения;
- транспортная мобильность и автономность применения;
- экономичность эксплуатации;
- использование программно-аппаратного комплекса, реализующего нейросетевые технологии искусственного интеллекта в целях обеспечения безопасности полетов;
- прогнозная оценка в реальном времени возможных рисков, угроз и аварийных ситуаций;
- принудительное завершение полета беспилотных воздушных судов;
- определение мест падения беспилотных воздушных судов на цифровой карте местности;

- контроль качества радиоканалов связи и навигации;
- жизнеобеспечение экипажа;
- интенсивность работы;
- срок службы и назначенный ресурс.

В состав наземного мобильного комплекса управления воздушным движением должны входить следующие составные части и компоненты:

- пункт управления воздушным движением и контроля над безопасностью полетов беспилотных воздушных судов, включающий автоматизированные рабочие места внешних пилотов и специалиста по обеспечению безопасности полетов;
- система обеспечения безопасности полетов беспилотных воздушных судов;
- средства радиосвязи и навигации;
- средства контроля качества радиоканалов связи и навигации;
- средства принудительного завершения полета беспилотных воздушных судов;
- средства топопривязки и метеобеспечения;
- транспортные средства и оборудование;
- средства технического обслуживания и ремонта;
- средства жизнеобеспечения экипажа.

Средства контроля качества радиоканалов связи и навигации должны стать инструментом объективного контроля авиационных правил по расследованию летных происшествий с участием беспилотных воздушных судов.

На рис. 2 представлена общая структурная схема создаваемого мобильного комплекса, соответствующего сформулированным функциональным требованиям.



Рис. 2

Проведенное компьютерное моделирование процессов эксплуатации наземного мобильного комплекса управления воздушным движением позволило определить оптимальные параметры функционирования, эксплуатационные характеристики, допустимую минимальную интенсивность эксплуатации включаемых в комплекс беспилотных воздушных судов, а также провести оценку ежегодных ресурсов, затрат и показателей эффективности системы.

Общая структурно-функциональная схема разработанного экспериментального образца такого мобильного комплекса представлена на рис. 3.

В состав комплекса входит собственно наземный мобильный комплекс, размещаемый на автомобильном шасси повышенной проходимости, и автономная беспилотная авиационная система, включающая различные типы беспилотных воздушных судов мультироторного типа и гибридной аэродинамической схемы, а также универсальные роботизированные платформы и станции для автоматического базирования беспилотных воздушных судов, использующие оригинальную технологию управления посадкой беспилотных воздушных судов, представленную в работе [17].

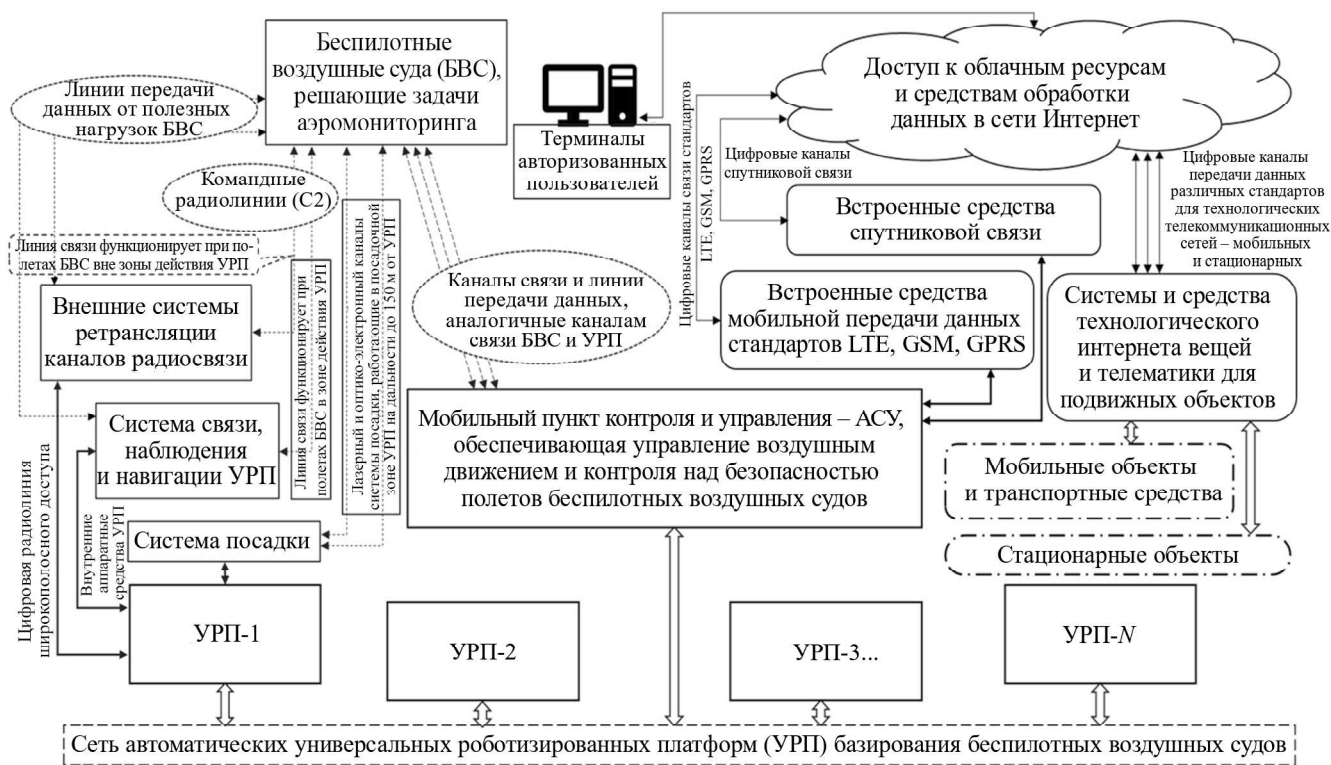


Рис. 3

С целью отработки требований и ограничений к наземному мобильному комплексу управления воздушным движением, определения оптимальных значений эксплуатационных характеристик и эффективности функционирования, параметров и финансовых результатов рынков товаров и услуг проведен инженерный и микроэкономический анализ с использованием математического моделирования.

По сравнению с моделью наземной стационарной системы управления воздушным движением в модели наземного мобильного комплекса использовались следующие дополнительные исходные данные:

- время разворачивания (свертывания) комплекса на исходной позиции;
- нормы эксплуатационных затрат для всех составных частей комплекса;
- сценарии применения, определяющие перемещение мобильного пункта управления и других составных частей комплекса по маршрутам аэромониторинга (при этом в качестве базового отраслевого сценария для моделирования рассматривался сценарий мониторинга объектов нефти и газа);
- коэффициенты, учитывающие дополнительные затраты на нештатные ситуации и незапланированные перемещения комплекса.

При сценарном моделировании в качестве базового отраслевого сценария рассматривался сценарий мониторинга объектов нефти и газа.

В результате проведенного сценарного моделирования при различных входных параметрах инженерного и микроэкономического анализа параметров функционирования на основе эксплуатационных характеристик, многовариантного расчета потребных ресурсов, затрат и показателей эффективности, включая моделирование нештатных ситуаций, были получены следующие численные характеристики основных требований и ограничений к наземному мобильному комплексу управления воздушным движением: максимальная стоимость – 50 млн руб.; минимальная интенсивность работы – 6 ч/день; 220 летних дней в году; срок службы – 10 лет; назначенный ресурс – 15000 ч; минимальный ежегодный налет беспилотного воздушного судна – 30000 ч; нормированный рабочий день – 8 ч; штатная численность персонала – 7 чел.; потребные инвестиции для производства – 200 млн руб.; выплаты инвестору – 296 млн руб.; ставка кредита – 8 %; срок возврата кредита – 6 лет; ежегодная чистая прибыль рынка товаров – 40 млн руб.; ежегодная чистая прибыль рынка услуг – 11,62 млн руб.

Для обеспечения практического внедрения разработанной концепции мобильных комплексов управления воздушным движением в различных отраслях необходимо обеспечить согласованное по срокам, целям и задачам осуществление сразу нескольких взаимосвязанных процессов – от обучения персонала для эксплуатации комплекса до проведения полигонных работ при испытаниях беспилотных авиационных систем. В результате инженерно-экономического анализа всей совокупности таких процессов была разработана общая концепция практического внедрения (рис. 4). Разработанная концепция предусматривает, что наземный мобильный комплекс управления воздушным движением может быть также использован в качестве станции внешнего пилота беспилотного воздушного судна, командного пункта обеспечения безопасности полигонных работ при испытаниях, сертификации и обучении специалистов беспилотных авиационных систем.



Рис. 4

По результатам проведенного инженерного анализа решаемых задач и эксплуатационных свойств установлено, что унификация применения наземного мобильного комплекса управления воздушным движением позволяет существенно снизить стоимость комплекса за счет увеличения объема серийного производства.

В целях обеспечения безопасности полетов беспилотных воздушных судов в составе наземного мобильного комплекса управления воздушным движением следует предусмотреть разработку программно-аппаратного комплекса, реализующего нейросетевые технологии искусственного интеллекта.

В целях расследования летных происшествий с участием беспилотных воздушных судов в составе наземного мобильного комплекса управления воздушным движением также следует предусмотреть разработку средств объективного контроля радиоканалов связи и навигации. Без внедрения спутниковых технологий связи, навигации и наблюдения беспилотных воздушных судов безопасная и экономически эффективная интеграция беспилотных авиационных систем в воздушное пространство Российской Федерации невозможна.

Для предотвращения столкновений беспилотных воздушных судов в воздухе целесообразно использовать доработанную для этих целей бортовую аппаратуру АЗН-В. Для повышения точности определения координат пространственного положения беспилотных воздушных судов, снижения стоимости эксплуатации и услуг системы управления воздушным движением по аэронавигационному обслуживанию беспилотных воздушных судов целесообразно использовать спутниковую систему дифференциальной коррекции.

Данная работа финансировалась за счет средств федерального бюджета (учредитель – Министерство науки и высшего образования Российской Федерации) в рамках выполнения государственного задания на проведение научно-исследовательской работы по теме «Разработка и обоснование подходов к планированию и осуществлению внедрения, развертывания и организации применения автономных беспилотных систем, робототехнических комплексов и инфраструктурных сетей связи, навигации, наблюдения и управления, обеспечивающих эксплуатацию таких систем и комплексов с заданными нормативными уровнями безопасности выполнения полетов и движения комплексов, и вероятности выполнения функциональных задач» (шифр научной темы – FZNW-2023-0067).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Annual Growth in Global Air Traffic Passenger Demand from 2006 to 2023, with a Forecast for 2024 [Electronical Resource]. URL: <https://www.statista.com/statistics/193533/growth-of-global-air-traffic-passenger-demand/> (дата обращения: 27.10.2024).
2. Павлов Р.А., Савельев К.П. Применение беспилотных летательных аппаратов в современных военных конфликтах // Молодой ученый. 2022. № 51 (446). С. 48–50.
3. Шупенько Р.Э., Корниенко А.А., Воробьев А.В. Боевое применение беспилотных летательных аппаратов в локальных конфликтах современности // Актуальные вопросы развития авиационной военной науки и практики: Материалы 12-й Междунар. науч.-практ. конф. Военно-научного общества, посвященной 61-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос, г. Краснодар, 12–15 апр. 2022. Краснодар: ФГКБОУ ВО «КВВАУЛ им. Героя Советского Союза А.К. Серова» МО РФ, 2022. С. 112–116.
4. Рынок управления воздушным движением – по компоненту (аппаратное обеспечение, программное обеспечение), по системе (контроль воздушного движения, управление воздушным пространством, управление потоком воздушного движения, управление аэронавигационной информацией) и прогноз 2023–2032 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gminsights.com/ru/industry-analysis/air-traffic-management-market> (дата обращения: 27.10.2024).
5. Barrado C. et al. U-Space Concept of Operations: A Key Enabler for Opening Airspace to Emerging Low-Altitude Operations // Aerospace. 2020. № 7. Article № 24.
6. Пантелеймонов И.Н. и др. Основные направления создания высоконадежной системы связи и управления БПЛА // Изв. вузов. Машиностроение. 2020. № 6 (723). С. 78–88.
7. Pasechnikov I. et al. Improvement of the Architecture of a Universal Robotic Platform Designed for Swarm Structures Basis of Small Unmanned Aerial Vehicles // Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1925. Article № 012044.
8. Шевцов В.А. и др. Управление многопозиционной системой структурно-информационного мониторинга воздушного пространства // Изв. вузов. Авиационная техника. 2023. № 1. С. 160–165.
9. Brüttain M., Wei Peng. Autonomous Air Traffic Controller: A Deep Multi-Agent Reinforcement Learning Approach [Electronical Resource]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1905.01303> (дата обращения: 27.10.2024).
10. Isufaj R., Omeri M., Piera M.A. Multi-UAV Conflict Resolution with Graph Convolutional Reinforcement Learning Applied Sciences. 2022. Vol. 12. № 2. Article № 610.
11. Karim A. et al. Deep Convolutional Neural Network-Based Autonomous Drone Navigation [Electronical Resource]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1905.01657> (дата обращения: 27.10.2024).
12. Almahamid F., Grolinger K. Autonomous Unmanned Aerial Vehicle Navigation Using Reinforcement Learning: A Systematic Review // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2022. Vol. 115. Article № 105321.
13. Acevedo J.J. et al. A 4D Grid-Based Approach for Efficient Conflict Detection in Large-Scale Multi-UAV Scenarios // Proc. of the 2019 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems, Nov. 25–27, 2019, Cranfield, UK. P. 18–23.
14. Нгуен Т.Ф., Неретин Е.С., Нгуен Н.М. Разработка методики идентификации и разрешения конфликтных ситуаций при оперативном планировании четырехмерной траектории полета // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2024. № 2. С. 77–95.
15. Шнырев А.Г. Интеграция беспилотных воздушных судов в общее воздушное пространство // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2018. № 5 (78). С. 3–6.
16. Анализ требований к технологиям интеграции беспилотных авиационных систем в воздушное пространство Российской Федерации. Предложения по их совершенствованию [Электронный ресурс].

URL: <https://nti-aeronet.ru/wp-content/uploads/2020/02/Analiz-trebovanij-k-tehnologijam-integracii-bespilotnyh-aviacionnyh-sistem.pdf> (дата обращения: 27.10.2024).

17. Гасанов М.Ф. и др. Экспериментальное исследование интеллектуальной системы управления подвижной посадочной платформой для малого беспилотного летательного аппарата // Изв. вузов. Авиационная техника. 2021. № 2. С. 45–48.

Поступила в редакцию 27.11.24

После доработки 29.11.24

Принята к публикации 29.11.24

Engineering Analysis of the Tasks and Characteristics of a Ground-Based Mobile Air Traffic Control System for Unmanned Aerial Vehicles

A.K. AKHAEV, V.I. GVOZDAREV, R.M. NOVENNIKOV, AND D.V. RYBAKOV

State University of Management, Moscow

The processes of ensuring the component composition of a ground-based mobile air traffic control system for unmanned aerial vehicles are examined. The necessity for the integrated implementation of satellite, airborne, and ground-based communication, navigation, and surveillance technologies for UAVs is demonstrated for the purpose of safe and economically efficient integration. A structural-functional diagram of the developed mobile ground-based air traffic control system is presented, and a generalized concept for the practical implementation of the developed mobile ground-based air traffic control system in various sectors of the Russian Federation is proposed, using the example of applying this system for solving the tasks of unmanned aerial monitoring of objects.

Unmanned aircraft systems, unmanned aerial vehicles, engineering analysis, tasks, properties, ground-based mobile system, air traffic control