

МОДЕЛЬ ИНТЕГРАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ В ТРАНСПОРТНУЮ ЭКОСИСТЕМУ

Романчева Н.И.

Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА),
Москва, Россия
n.romancheva@mstuca.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы создания цифровой экосистемы и предложена модель интеграции беспилотных систем в транспортную экосистему. Определены задачи и цели интеграции, предложены рекомендации по дальнейшему развитию модели в условиях развития концепции архитектуры бесшовного неба.

Ключевые слова: модель интеграции, беспилотные системы, экосистема, архитектура бесшовного неба, транспортный коридор.

Введение

Рост спроса на быструю доставку товаров, существующие проблемы традиционного транспорта, мировые тенденции к устойчивому развитию и умным городам требует внедрения инновационных транспортных решений. Активное внедрение беспилотных систем в экономику страны, и, в частности, в транспортную отрасль, позволяет говорить о повышении эффективности и безопасности перевозок. Беспилотные технологии, включая автономные автомобили, дроны и интеллектуальные транспортные системы, становятся неотъемлемой частью транспортной инфраструктуры. Эти инновации меняют подходы к логистике и пассажирским перевозкам, способствуют решению ряда актуальных проблем, таких как снижение уровня дорожно-транспортных происшествий, уменьшению выбросов углекислого газа и оптимизации транспортных потоков.

Одним из аспектов внедрения беспилотных систем в транспортной отрасли является их способность адаптироваться к различным условиям эксплуатации. Способность обрабатывать большие объемы данных в реальном времени, позволяет автономным транспортным средствам принимать оптимальные решения на основе текущей ситуации.

Создание транспортной экосистемы, особенно с внедрением новых технологий, таких как беспилотные и интеллектуальные транспортные системы, сталкивается с рядом вызовов. Среди них можно отметить отсутствие нормативных актов и меры ответственности для регулирования использования беспилотных систем; безопасность данных (как для собираемых данных, так и личных данных пользователей подобных систем). Кроме того, необходимы инфраструктурные изменения: обновление существующих объектов для совместимости с новыми технологиями, что неизбежно влечет увеличение инвестиций.

Таким образом, интеграция беспилотных систем в транспортную экосистему требует комплексного подхода и взаимодействия различных компонентов. Создание эффективной модели управления транспортным пространством и системы мониторинга позволит реализовать данную концепцию.

1. Формирование цифровой экосистемы

Одной из основных задач транспортной отрасли согласно Транспортной стратегии РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [1] является «повышение пространственной связности и транспортной доступности территорий», что позволит создать безбарьерную и комфортную среду для пассажиров и повысить качество узловой пассажирской инфраструктуры. Министерство транспорта РФ прорабатывает идею создания единой экосистемы на основе интеграции всех видов беспилотного транспорта. В [2] предлагается «логическая последовательность формирования цифровой экосистемы региональной транспортно-логистической инфраструктуры». В [3] рассматриваются вопросы создания экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза. В рамках реализации перечня поручений Президента Российской Федерации от 30 декабря 2022 года была разработана Стратегия развития беспилотной авиации [4]. Как отмечается в данном документе «с учетом перспективы массового применения беспилотных авиационных систем требуется переосмысление подходов к организации воздушного движения и существенное расширение применения цифровых платформ и инструментов по организации допуска, контроля и навигации беспилотных авиационных систем в едином воздушном пространстве Российской Федерации». Все вышеперечисленные документы формируют основу для создания транспортной экосистемы России, определяют стратегические направления, цели и задачи, связанные с интеграцией различных видов

транспорта, внедрением технологий на основе искусственного интеллекта и обеспечением безопасности. Комплексная стратегия интеграция беспилотных систем в транспортную экосистему с учетом архитектуры «Бесшовного неба» должна быть многоуровневой и включать различные аспекты, такие как технологии, инфраструктура, управление, безопасность и взаимодействие с пользователями. Кроме того, модель интеграции должна учитывать взаимодействие и с другими компонентами транспортной экосистемы, включая управление воздушным движением. В качестве объектов интеграции рассматриваются беспилотные транспортные средства (по видам транспорта), инфраструктура (трассы, перекрестки, станции для подзарядки дронов и т.д.), системы управления движением (интеллектуальные транспортные системы), системы мониторинга (датчики и сенсоры для отслеживания состояния дронов и наземного транспорта, платформа для анализа данных, как средство интеграции информации из различных источников для принятия решений), пользователи (пассажиры, операторы, водители/пилоты и др.).

Одной из главных проблем является обеспечение безопасности полетов беспилотных систем в условиях, когда они взаимодействуют с традиционными воздушными судами. К 2035 году планируется эксплуатировать около миллиона дронов. Необходимо иметь системы, которые будут предотвращать столкновения с традиционными воздушными судами. Кроме того, необходимо обеспечить совместить технологий, используемых в различных системах управления [5]. Использование искусственного интеллекта для анализа данных о движении и принятии решений позволит разработать единую систему управления воздушным движением.

1.1. Постановка задачи

Целью работы является разработка модели и стратегии интеграции беспилотных воздушных систем (БВС) в транспортную экосистему с учетом принципов архитектуры «Бесшовного неба», обеспечивающей безопасное, эффективное и координированное взаимодействие воздушного и наземного транспорта.

Из определения экосистемы следует, что она должна обладать такими свойствами, как устойчивость и безразмерность. Цифровая экосистема объединяет различные организации и системы, с которыми взаимодействуют на основе взаимовыгодного обмена данными, как люди, так и агенты.

Реализация концепции создания транспортной экосистемы может включать следующие этапы:

- Построение цифровой модели на уровне предприятия, состоящей из фабрики данных и цифровой инфраструктуры;
- Формирование единой цифровой платформы транспортного комплекса, объединяющей информационные системы различных видов транспорта и логистических посредников;
- Создание единой цифровой транспортно-производственной платформы, обеспечивающей кросс-отраслевое взаимодействие транспорта и его пользователей в единой цифровой среде;
- Формирование экосистемы, в которой все участники транспортно-логистического обслуживания взаимодействуют в едином цифровом пространстве на основе государственных цифровых ресурсов.

Разработка математической модели транспортной экосистемы позволит анализировать, прогнозировать и оптимизировать функционирование транспортных потоков с учетом внедрения современных технологий, например, беспилотных транспортных систем, интеллектуальных систем управления движением.

Таким образом, интеграция беспилотных систем в транспортную экосистему может быть представлена как задача оптимизации, где необходимо найти оптимальное значение x (количество беспилотных транспортных систем), которое будет максимизировать удовлетворенность пользователей R , при этом соблюдая все установленные ограничения. Эту задачу можно отнести к дискретной оптимизации, т.к. в одном случае это распределение заданий агентам беспилотных систем, во втором – задачи маршрутизации.

1.2. Архитектура модели интеграции беспилотных систем в транспортную экосистему

Основными агентами экосистемы являются автономные автомобили, беспилотные дроны, интеллектуальные транспортные системы, автономные системы общественного транспорта. К объектам моделирования также относятся пользователи: (пассажиры, внешние операторы), системы управления движением и передачи данных. Объектами интеграции являются беспилотные транспортные средства, инфраструктура, системы управления движением, пользователи.

Основными параметрами и характеристиками экосистемы можно считать интенсивность и структуру транспортных потоков, время и маршруты движения, уровень безопасности и аварийности, уровень энергопотребления и экологические показатели, технические характеристики транспортных

средств и инфраструктуры. В качестве основных параметров и характеристик модели интеграции будем рассматривать:

- Уровень автоматизации и взаимодействия беспилотных систем (БС) с другими транспортными средствами;
- Интенсивность и структуру транспортных потоков с учетом внедрения БС;
- Время реакции и безопасность в случае аварийных ситуаций;
- Энергопотребление и экологические показатели БС;
- Технические характеристики БС и их совместимость с существующей инфраструктурой. Требования ИКАО к характеристикам сигнала в пространстве (SIS), ГНСС и их функциональные дополнения на различных этапах полета приведены в [6].

Как отмечал Цвиркун А.Д. в работе [7] «для крупномасштабных систем оказывается невозможным описание их свойств и особенностей на одном уровне детализации». Модель должна учитывать взаимодействие различных компонентов экосистемы, обеспечивать достоверность и точность прогнозов, иметь возможность проведения сценарного анализа при различных условиях и параметрах для оценки различных видов интеграции, гибкость для адаптации к изменениям в технологиях и правовых нормах. Кроме того, обеспечивать координацию между различными уровнями управления и учитывать специфику беспилотных воздушных систем и отражать особенности взаимодействия воздушного и наземного транспорта. Например, дроны могут доставлять грузы на определенные точки, где их забирает наземный беспилотный транспорт. Также беспилотные воздушные системы могут доставлять пассажиров на ближайший транспортный узел (например, до автобусных остановок, станций метро).

В настоящее время ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» разработана перспективная цифровая платформа для обеспечения полетов пилотируемых беспилотных воздушных судов, информационной поддержки всех пользователей. Фундаментом цифровой платформы является централизованная интегрированная база данных, содержащая аэронавигационную, плановую, метеорологическую, справочную информацию, а также полетные данные, запланированные и фактические 4D-данные о местоположении воздушных судов и беспилотных систем.

Комплексная стратегия интеграции БС в транспортную экосистему с учетом архитектуры «Бесшовного неба» должна быть многоуровневой, включать различные аспекты и включать ключевые компоненты: технологическая интеграция, инфраструктурное развитие, управление и координация, безопасность и регулирование, адаптивность, экологические и правовые аспекты.

Целью интеграции различных видов транспорта является создание единой системы для наземного и воздушного транспорта. Моделирование потоков пассажиров можно выполнить, основываясь на теории графов.

Пусть $G(V, E)$ – граф, где V – вершины (остановки, аэропорты), E – ребра (маршруты). Тогда целевая функция $f(u, v)$ – количество агентов, перемещающихся по маршруту $u \rightarrow v$ должна стремиться к максимуму.

Оценку эффективности внедрения технологий на базе ИИ предлагается выполнять с использованием модификации ROI (возврата на инвестиции) (1):

$$ROI = \mu * \left(\frac{G-I}{100\%} \right), \quad (1)$$

где μ – поправочный коэффициент универсальности технологии, G – прибыль от внедрения, I – инвестиции в технологии.

Архитектура модели интеграции БС в транспортную экосистему представим в виде трех уровней:

- Центральный узел управления для координации взаимодействия между дронами, наземным транспортом и системой мониторинга;
- Интерфейсы для пользователей в виде мобильных приложений и web-порталов для отслеживания дронов, получения информации о статусе доставки и планирования маршрутов;
- Открытые интерфейсы (API) для интеграции с другими транспортными системами и сервисами.

1.3. Методы интеграции

Предлагается три метода интеграции БС в транспортную экосистему: разработка единой системы управления воздушным движением, использование технологий связи, разработка стандартов и протоколов.

Создание единой системы управления, учитывающей как традиционные воздушные суда, так и дроны, позволит оптимизировать воздушное пространство и повысить безопасность полетов. Данная

система включает использование искусственного интеллекта для анализа данных о движении и принятия решений в реальном времени. Для эффективной интеграции дронов необходимо обеспечить надежную связь между ними и наземными системами управления, что достигается с помощью технологий 5G, обеспечивающей низкую задержку. Создание стандартов и протоколов для обмена данными между дронами и традиционными транспортными системами поможет обеспечить совместимость и безопасность. Например, стандарты для идентификации дронов, обмена информацией.

Для отслеживания состояния БС и транспортных средств предлагается использовать IoT-устройства. Применение больших данных для анализа трафика позволяет выявить узкие места и оптимизировать маршрут. Дроны должны иметь возможность динамически изменять маршруты в зависимости от погодных условий и загруженности воздушного пространства.

Сценарий работы системы на основе предложенной модели включает 5 этапов:

- Запрос на доставку (заказ через мобильное /web- приложение);
- Определение маршрута – центральный узел управляет выбором дрона и строит маршрут с учетом погодных условий и загруженности воздушной трассы;
- Доставка – БС следует заданному маршруту, используя системы мониторинга для избегания препятствия;
- Передача груза – дрон приземляется в назначенной точке для передачи груза наземному транспорту для дальнейшей доставки;
- Обратная связь – система собирает данные о процессе доставки для дальнейшего анализа и оптимизации.

На основе анализа документов ИКАО, относящихся к навигационным технологиям беспилотных воздушных судов, в [8] выделены особенности полетно-информационного обслуживания, в части аэронавигационной информации (например, о состоянии инфраструктуры командно-контрольной радиополосы C2/C3 (Command and Control)).

Движение беспилотных авиационных систем определяется требованиями пространственно-временного положения, где необходимо учитывать «вертикальное, продольное или боковое рассредоточение воздушных судов в воздушном пространстве на установленные интервалы». Если зона опасности для двух беспилотных автомобилей, как отмечено в [9] – это точка в пространстве при пересечении двух прямых (направляющих векторов), то для беспилотных воздушных систем это «сближение беспилотного воздушного судна на менее чем установленное нормативными документами расстояние при движении по маршруту с другим воздушным судном, естественным препятствием рельефа, искусственным препятствием местности, границей запретной для полётов зоны, границей запрещённого эшелона, границей минимально/максимально разрешённой высоты, зоной опасных метеоявлений».

В работе [10] предложено использовать модель управления движением роя на основе лидера группы БС. В условиях перехода к эпохе дроносферы, модель, ориентированная на лидера группы, не может быть использована для интеграции БС в транспортную экосистему, так как агенты системы имеют разные, не скоординированные множества целей, а их координация потребует дополнительных математических и вычислительных мощностей. С целью упрощения можно рассмотреть кластерный принцип перемещения агентов по транспортным коридорам.

Увеличение объёма собираемых и передаваемых данных создает риски для агентов экосистемы. Внедрение технологии блокчейн с созданием прозрачных и неизменяемых записей о положении и перемещениях объектов БС на основе данных IoT – устройств, повысит доверие и безопасность в транспортной сети, так же, как и внедрение спутниковых технологии связи, навигации, наблюдения объекта БС.

Разработка единой платформы управления, интегрирующей системы ATM (Air Traffic Management) и UTM (Unmanned Traffic Management), обеспечит координацию между различными видами транспорта. Внедрение принципов распределенного управления (транспортным коридором), позволит БС и наземным транспортным средствам самостоятельно принимать решения на основе данных о текущей ситуации и прогнозах. Т.е. агент экосистемы имеет информацию не только о своей траектории, но и о намерениях других агентов. Это позволит избежать конфликтных ситуаций в опасной зоне [11].

Для обеспечения надежности автономных беспилотных систем в различных условиях эксплуатации необходимо привести стандарты в области управления воздушным движением с учетом новых участников экосистемы. Кроме того, Постановление Правительства РФ от 30 ноября 2024 года №1701 утвердило требования к оснащению БС средствами криптографической защиты информации.

Разрабатываемые и единично применяемые технологии распределения квантовых ключей необходимо активнее использовать в транспортной экосистеме и включить как связующий уровень в стек технологий.

Предлагаемая модель интеграции беспилотных систем в транспортную экосистему представлена на рис. 1.



Рис. 1. Модель интеграции БС в транспортную экосистему

2. Заключение

Интеграция беспилотных систем в транспортную экосистему требует комплексного подхода и взаимодействия различных компонентов. Универсальной модели интеграции не существует, так как элементы экосистемы имеют разные характеристики и среду функционирования. Создание эффективной модели управления воздушным пространством и системы мониторинга станет ключевым фактором для успешной реализации этой концепции в части беспилотного воздушного транспорта.

Литература

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения 10.02.2025).
2. Булатова Н.Н., Дудин В.С., Алексеев А.В. Формирование цифровой экосистемы региональной транспортно-логистической инфраструктуры // *π-Economy*. – 2024. – № 17(3). – С. 68–80.
3. Ворона А.А. Концепция создания экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза // *Вопросы экономики и управления*. – 2019. – № 4(20). – С. 17–20.
4. Стратегия развития беспилотной авиации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407003744/#1000> (дата обращения 10.02.2025).
5. Мешков Р.А. Концепция бесшовного цифрового неба для обеспечения комплексной безопасности). https://aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/Мешков%20Р.А._Бесшовное%20цифровое%20небо_638693342714604102.pdf (дата обращения 12.02.2025).
6. ICAO. Annex 10 to ICAO Convention. Aeronautical Communications. Volume VI. Communication Systems and Procedures relating to Remotely Piloted Aircraft Systems C2 Link. DRAFT. <https://fac.ch/wp->

content/uploads/2020/09/ICAO-Annex-10-Aeronautical-Telecommunications-Vol-II-Communication-Procedures.pdf (дата обращения 14.02.2025).

7. *Цвиркун А.Д.* Проблемы управления развитием крупномасштабных систем // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2024): труды Семнадцатой междунар. конф: – М.: ИПУ РАН, 2024. – С. 23–27.
8. Анализ требований к технологиям интеграции беспилотных авиационных систем в воздушное пространство Российской Федерации. Предложения по их совершенствованию. <https://nti-aeronet.ru/wp-content/uploads/2020/02/Analiz-trebovanij-k-tehnologijam-integracii-bespilotnyh-aviacionnyh-sistem.pdf> (дата обращения 12.02.2025).
9. *Калигин Н.Н., Увайсов С.У., Черноверская В.В.* Математические модели сценариев возможного столкновения беспилотных автомобилей // Вестник Новгородского государственного университета. – 2023. – № 1 (130). – С. 108–118.
10. *Чжу Ю.* Формирование управления полетом группы беспилотных летательных аппаратов на основе алгоритма многоагентной модели роя // Computing, Telecommunications and Control. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 22–36.
11. *Абросимов В.К., Долгов Г.А., Михайлова Е.С.* Нейронная модель формирования стратегий действий роя беспилотных летательных аппаратов в опасной зоне // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2024): труды Семнадцатой междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2024. – С. 805–811.