

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 658.7

Губачева Л.А., доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет им.В.Даля»

Макарова И.В., доктор технических наук, профессор, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,

Иванкин М.А., ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет им.В.Даля»

ГРУЗОВИК-ДРОН, КАК НОВАЯ МОДЕЛЬ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Аннотация. В статье рассмотрены возможности применения дронов (беспилотных летательных аппаратов) в различных отраслях экономики. Особое внимание уделено особенностям и перспективам применения грузовых дронов в медицинских целях и в случаях ЧС и ДТП - для перевозки средств оказания первой помощи, медицинских препаратов и т.п.

Ключевые слова: грузовые дроны, чрезвычайные ситуации, холодовая цепь

Введение. Дроны или беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой автономные или дистанционно управляемые многоцелевые летательные аппараты, приводимые в движение законами аэродинамики и способные нести полезную нагрузку. Первоначально использование дронов в основном сосредотачивалось исключительно на военных целях, но постепенно распространилось и на другие области деятельности. На сегодня наиболее востребованными сферами использования БПЛА, за исключением военной, являются: логистика; беспилотный транспорт и аэротакси; сельское хозяйство; строительство; нефтегазовый сектор; электроэнергетика; экологический мониторинг; безопасность; чрезвычайные ситуации.

Такое широкое применение обещает ускорить и, в идеале, снизить стоимость технологических достижений в области беспилотных летательных аппаратов.

В данной статье рассмотрены в основном вопросы логистического использования дронов, прежде всего, для успешной транспортировки скоропортящихся грузов с контролируемой температурой.

Понятие «холодовой» цепи

Для многих поставщиков таких грузов соблюдение требований холодовой цепи поставок является необходимостью.

Термин «холодовая» цепь применяется в отношении хранения и транспортировки фармацевтических препаратов, вакцин, сывороток, препаратов крови, донорских органов и им подобных, в отношении прочей скоропортящейся продукции с ограниченным сроком хранения используется другое значение — «холодильная цепь», при этом содержание обоих терминов практически одинаково.

Кроме того, время транспортировки является одной из наиболее волнующих тем для поставщиков и потребителей таких грузов. При транспортировке в холодовой цепи товары в основном дорогостоящие, такие как свежие продукты и фармацевтические препараты. Срок годности некоторых дорогих свежих продуктов обычно очень короткий, что еще больше ограничивает время транспортировки. Поэтому при транспортировке продуктов холодовой цепи необходимо строго контролировать температуру, стремясь поддерживать её в безопасном диапазоне и доставлять их со склада потребителям в кратчайшие сроки, чтобы обеспечить свежесть и качество продуктов питания. Сроки доставки товаров должны гарантировать дату хранения.

Эти требования могут выполнить мультимодальные перевозки и предоставить потребителям более качественные и надежные логистические услуги холодовой цепи. Полный процесс мультимодальной перевозки включает предварительную перевозку на основе автомобильного транспорта, дальнюю перевозку на основе морского, железнодорожного или воздушного транспорта и конечную перевозку на основе автомобильного транспорта в электрических рефрижераторах и доставкой последней мили с помощью дронов. В настоящее время известно большое количество моделей и методов таких перевозок.

Состояние проблемы. Дроны в городских условиях

Для умных городов следующего поколения жизненно важно для развития транспортных систем использовать в воздушном пространстве небольшие БПЛА (также известные как дроны). БПЛА считаются одной из наиболее динамичных и многомерных новых технологий. Не так давно множество применений эта технология нашла и в сфере транспорта. Это такие направления как: наблюдение за дорожным движением и анализ дорожной сети для повышения безопасности и общего улучшения условий движения транспортных потоков. Однако для исследования трафика с помощью БПЛА требуется чрезвычайно тщательное планирование и организация наблюдений с последующей тщательной процедурой анализа и интерпретации данных. Предполагается, что услуги передачи данных будут повсеместно предоставлять автомобильные сети, это приобретает особую актуальность при переходе к автономному вождению, следствием чего станет повышение нагрузки на инфраструктуру наземной дорожной сети. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в этом смысле имеют огромный потенциал для решения некоторых задач, оказывая содействие автомобильным сетям в предоставлении услуг [1].

Повышенным спросом со стороны государственных органов пользуются интеллектуальные транспортные услуги и организация дорожного движения, позволяющее совершенствовать дорожное движение и, таким образом, снизить затраты на электроэнергию, повысить безопасность и комфорт водителей, обеспечить контроль соблюдения и выявления нарушений правил дорожного движения. Помимо этого, дроны также могут снизить воздействие дорожного движения на окружающую среду. БПЛА можно использовать для мониторинга качества воздуха в перегруженных районах, предоставляя данные о движении для корректировки сигналов светофора и маршрутизации, а также для мониторинга шумовой нагрузки, с целью планирования действий по снижению чрезмерного шума в городских районах. В целом, использование дронов в управлении дорожным движением имеет множество преимуществ, повышая осведомленность о дорожной ситуации, способствуя снижению числа дорожно-

транспортных происшествий и негативного воздействия транспорта на окружающую среду.

Возрастает интерес к применению БПЛА в транспортной отрасли для мониторинга и анализа дорожного движения. По мнению авторов [2], БПЛА могут использовать вычислительные ресурсы окружающих объектов периферийной сети для расширения своих вычислительных возможностей. По сравнению с петлевыми детекторами и приемниками Bluetooth (с высокими капитальными и эксплуатационными затратами), дроны представляют собой недорогую альтернативу, предлагающую большую гибкость и высокое качество данных.

В статье [3] предлагается автоматизированная схема управления дорожным движением в режиме реального времени с использованием эффективных и безопасных БПЛА. Однако из-за низких вычислительных возможностей и ограниченной емкости аккумулятора БПЛА для повышения производительности автоматизированной схемы управления трафиком на основе БПЛА применяются периферийные вычисления с множественным доступом (МЕС). Алгоритм разработан на основе концепции графа попарной совместимости для схемы автоматизированного управления дорожным движением с помощью БПЛА, в которой для обнаружения транспортных средств используется модель глубокого обучения (DL). Кроме того, в схему автоматического управления трафиком внедрена технология блокчейна для хранения записей трафика, что позволяет обеспечить отказ от сети и избежать любого вмешательства в сеть третьих лиц.

Картирование и документирование мест дорожно-транспортных происшествий (ДТП) может варьироваться от простых эскизов и измерений рулеткой до сложных 3D-измерений и моделирования пространства места происшествия, для которых могут потребоваться дорогостоящие инструменты наземного лазерного сканирования. В статье [4] предложен подход к документированию мест ДТП, основанный на недорогой технологии БПЛА и методах фотограмметрии БПЛА. С помощью встроенной камеры с функцией

записи видео 4К из набора отдельных кадров создаются очень подробные и точные ортофотопланы.

Авторы исследования [5] установили, что постоянная проблема нехватки ресурсов в местных и городских сетях для технического обслуживания, ремонта и реконструкции (MR&R) во многих случаях приводила к использованию нескорректированных или неоптимальных методов обнаружения и анализа повреждений дорожного покрытия, что приводило к неэффективным или даже контрпродуктивным результатам. Поэтому необходимо иметь инструменты, позволяющие проводить быстрые, надежные и недорогие оценочные исследования, что возможно с использованием БПЛА.

В исследовании [6] предлагается структура управления движением системы БПЛА в контексте доставки посылок в низковысотном городском воздушном пространстве, включая планирование маршрута БПЛА на основе кластеризации, управление движением системы беспилотных летательных аппаратов (UTM) с обнаружением и разрешением конфликтов (CD&R) и разработку механизма распределения ресурсов воздушного пространства.

Особого внимания заслуживают вызывающие интерес интермодальные перевозки посредством грузовика-дрона, как новой модели мультимодальных перевозок [7]. В статье [8] разработана технология автономного планирования маршрута доставки на основе дронов, учитывающая логистику холодовой цепи, позволяющую минимизировать потребление энергии при транспортировке дронами. Ван и др. [9] разработали математическую модель транспортировки вакцин с помощью дронов. Дроны и беспилотный грузовой транспорт уже применяют во многих странах, включая США, Британию, Норвегию и Руанду, — пока в пилотном режиме.

Один из самых перспективных игроков на этом рынке — компания Zipline, которая уже давно применяет дроны для транспортировки медицинских грузов. Например, в Руанде беспилотники транспортируют донорскую кровь и биоматериалы для проведения анализов. За четыре года компания осуществила 13 тыс. перевозок. Раньше пациентам приходилось ждать, пока наберется

достаточный объем биоматериала для отправки в лабораторию, но квадрокоптеры ускорили процесс.

В 2020-м Zipline начала транспортировать средства защиты для медиков и вышла на американский рынок. Но приоритетом для компании остаются развивающиеся страны, поскольку там спрос на технологии медлогистики особенно высок, а цепочки поставок до сих пор не налажены.

В этом направлении работает также компания Matternet, которая в 2016 году использовала дроны для транспортировки анализов пациентов с подозрением на ВИЧ в африканских странах. Квадрокоптеры также применяют для доставки лекарств в условиях ЧС, как было, например, во время урагана Мария в Пуэрто-Рико.

БПЛА используют и для транспортировки донорских органов. Так, недавно в США впервые доставили донорскую почку, используя дрон.

В данной статье предлагается технология планирования автономного маршрута доставки, как последнего этапа, в общей цепи холодовых поставок на основе дронов, позволяющая минимизировать время доставки при транспортировке и обеспечить безопасность и качество грузов, а также снизить потери энергии при доставке. Исследование направлено на повышение качества обслуживания населения при транспортировке продуктов холодовой цепи, путем минимизации времени полета дронов. Доставка медикаментов, препаратов крови, фармацевтических препаратов, вакцин, оборудования для неотложной медицинской помощи, продуктов питания, почтовых отправлений особенно для труднодоступных районов, является актуальной.

Характеристики грузовых дронов

Грузовой дрон — это БПЛА, который может перемещать груз на дальние расстояния. Километраж и грузоподъемность устройства зависит от модели и комплектации.

Так, например, Компания Wingcopter запустила пилотный проект по доставке скоропортящихся продуктов с помощью дронов в Германии.



Рис. 1 Дрон для транспортировки медикаментов

Цель состоит в том, чтобы улучшить снабжение в отдаленных регионах. Дроны Wingcopter доставляют заказы в заранее определенные точки посадки за пределами деревень, а электрические грузовые велосипеды завершают доставку до двери. Пилотный проект продлился до конца 2023 года.



Рис. 2 Дрон для доставки скоропортящихся продуктов до отдалённых точек

Доставка медикаментов, крови, фармацевтических препаратов, вакцины и оборудования для неотложной медицинской помощи, особенно для труднодоступных районов, является актуальной.

Доставка последней мили с помощью дронов

В процессе транспортировки продуктов холодовой цепи с помощью дронов самолётного типа в данном исследовании для минимизации времени полета предложена целевая функция $F(t)$, с целью повышения качества обслуживания

населения. В то же время, траектория дрона должна соответствовать максимальному углу разворота, максимальному углу крена и максимальному ограничению по времени полета, как определено ниже.

$$F(t) = f(l, t_1, \alpha, \alpha_1) \rightarrow \min$$

l – длина участка траектории полета,

t_1 - максимальное ограничение по времени полета беспилотных летательных аппаратов,

α - максимальный угол разворота дрона,

α_1 – максимально-допустимый угол крена дрона.

Говоря об использования БПЛА в медицинских целях, следует обратить внимание на исследование, подготовленное экспертами Всемирного экономического форума совместно с компанией Deloitte, в котором рассмотрена проблема обеспечения людей в труднодоступных местах высококачественным медицинским обслуживанием на примере использования беспилотных летательных аппаратов для доставки медицинских грузов в Африке, которая сегодня является мировым лидером в использовании беспилотных летательных аппаратов в медицинских целях и на протяжении многих лет служит своего рода испытательным полигоном для инновационных технологий и нормативных решений [10].

Таким образом, использование дронов дает возможность повысить качество медицинского обслуживания, особенно в отдаленных и (или) недостаточно обслуживаемых районах, за счет сокращения времени проведения лабораторных исследований, обеспечения своевременной доставки жизненно необходимых медикаментов (устройств) и снижения затрат на обычную рецептурную помощь в сельской местности.

С учетом их большой гибкости и приемлемой стоимости, использование дронов апробируется в различных медицинских учреждениях.

Тестирование беспилотников для использования в медицине показывают положительные результаты, так, например, это может сократить время доставки

препараторов или анализов и повысить экономическую эффективность. Сегодня это является приоритетным направлением.

Беспилотные летательные аппараты прошли успешную оценку в рамках различных пилотных программ в некоторых учреждениях для транспортировки образцов и доставки крови, вакцин, медикаментов, органов, жизненно необходимых медицинских принадлежностей и оборудования.

Так, специалистами ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, ФГБУН «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», ГБУ «Санкт-Петербургский НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе» Минздрава России оценивалась эффективность транспортировки препаратов крови (лейкоредуцированной эритроцитной звезды (ЛЭВ)) с применением БПЛА роторного типа; определялась возможность использования ЛЭВ в клинической практике после её транспортировки с применением дрона.

Исследование полета БПЛА с грузом заключалось в построении полетной миссии, имитирующей не прямолинейную траекторию движения в городских условиях от точки старта до конечной точки, где происходит посадка БПЛА и передача груза.

Результаты исследования показали, что доставка компонентов крови и других медицинских препаратов дронами в условиях мегаполиса может осуществляться значительно быстрее и является экономически более эффективной по сравнению с их транспортировкой автомобильным транспортом [11].

Кроме того, многообещающими представляются концепция «лаборатории на дроне», а также исследования, демонстрирующие преимущества использования дронов в эпидемиологическом надзоре и эпидемиологии инфекционных заболеваний (срочная доставка проб, образцов, анализов).

В зонах чрезвычайных ситуаций, если помочь спасателей и врачей необходима на месте происшествия, а добраться до нужной точки бывает непросто, и на это может потребоваться несколько часов, то БПЛА с достаточной

грузоподъёмностью может доставить к месту нахождения пострадавших жизненно важный груз: средства оказания первой помощи, дефибриллятор, кровоостанавливающие жгуты, кислородные маски, теплоизолирующие накидки, противопожарное полотно, противохимический пакет, противогаз, надувной спасательный жилет, компактные носилки и рацию.

Также возможна доставка сигнальных факелов и громкоговорителей, чтобы облегчить поиск людей спасателями. В каждой ситуации набор средств подбирается индивидуально, а с помощью динамика и камеры на борту БПЛА врач может давать инструкции и контролировать процесс оказания первой помощи.

Такой сценарий подходит и для города: обычно приезд скорой помощи занимает в среднем 14 минут по адресу и 8 минут – на ДТП. За это время могут произойти критические изменения в организме пострадавшего, обратимые только в первые несколько минут.

Спасательный БПЛА может оказаться на месте в течение пары минут, если организовать сеть пунктов вылета по всему городу [12].

Актуальна такая схема доставки медицинских средств и для значительных дорожно-транспортных происшествий на загруженных трассах, где вследствие возникших заторов затруднено своевременное прибытие машин скорой помощи к месту происшествия.

Интересным представляется вариант оснащения компактными БПЛА малой грузоподъемности расчетов пожарно-спасательных подразделений и специализированных бригад скорой медицинской помощи.

Перспективным является и направление разработки БПЛА соответствующего типа, оснащения и грузоподъемности для эвакуации пострадавших с мест происшествия, труднодоступных для других транспортных средств

Как видно из приведённых примеров, потенциал использования дронов в медицинских целях огромен. Дроны могут помочь расширить доступ к медицинскому обслуживанию для людей, которые в противном случае не могли

бы воспользоваться надлежащей помощью из-за удаленности и отсутствия инфраструктуры или средств. Однако такие факторы, как национальное законодательство о воздушном пространстве и юридические медицинские вопросы, различия в топографии и климате, экономическая эффективность, а также отношение общества к дронам и их принятие в разных культурах и обществах, в настоящее время препятствуют широкому использованию дронов. Значительная экономия средств по сравнению с наземным транспортом, скорость и удобство доставки, а также быстро развивающийся сектор беспилотных летательных аппаратов, вероятно, будут способствовать внедрению беспилотных летательных аппаратов в различных областях медицины в ближайшем времени.

Необходимо протестировать регламент применения БПЛА, чтобы доставлять препараты, анализы и другие изделия медицинского назначения в разных погодных условиях, в том числе зимой.

Такая транспортировка не должна приводить к дефектам препаратов и анализов, для этого нужно понять, как соблюдать температурные условия, обеспечить защиту и средства контроля состояния грузов.

Выводы

1. Доставка дронами, безусловно, является крупным нововведением следующего десятилетия, хотя все еще есть некоторые препятствия для широкого внедрения
2. Беспилотные устройства выполняют сразу несколько задач: они помогают медикам быстрее и эффективнее оказывать услуги, ускоряют диагностику и лечение, в том числе во время пандемии. В то же время, дроны и роботы решают проблему «последней мили», доставляя лекарства и медикаменты клиентам.
3. Приведена целевая функция сокращения времени доставки грузов позволяет выбрать многокритериальную математическую модель для разработки и оптимизации логистических устойчивых решений холодовой цепи поставок.

Список использованных источников

1. W. Qi, Q. Song, L. Guo and A. Jamalipour, «Energy-Efficient Resource Allocation for UAV-Assisted Vehicular Networks With Spectrum Sharing,» in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 71, no. 7, pp. 7691-7702, July 2022, doi: 10.1109/TVT.2022.3163430.
2. Butilă, E.V.; Boboc, R.G. Urban Traffic Monitoring and Analysis Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Systematic Literature Review. *Remote Sens.* 2022, 14, 620. <https://doi.org/10.3390/rs14030620>.
3. Md Masuduzzaman, Anik Islam, Kazi Sadia, Soo Young Shin. UAV-based MEC-assisted automated traffic management scheme using blockchain. *Future Generation Computer Systems*. Volume 134. 2022. Pages 256-270. ISSN 0167-739X. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.04.018>.
4. Juan Antonio Pérez, Gil Rito Gonçalves, José Manuel Galván Rangel, Pedro Fuentes Ortega. Accuracy and effectiveness of orthophotos obtained from low cost UASs video imagery for traffic accident scenes documentation. *Advances in Engineering Software*. Volume 132. 2019. Pages 47-54. ISSN 0965-9978. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2019.03.010>.
5. Laura Inzerillo, Gaetano Di Mino, Ronald Roberts. Image-based 3D reconstruction using traditional and UAV datasets for analysis of road pavement distress. *Automation in Construction*. Volume 96. 2018. Pages 457-469. ISSN 0926-5805. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.010>.
6. Ang Li, Mark Hansen, Bo Zou. Traffic management and resource allocation for UAV-based parcel delivery in low-altitude urban space. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Volume 143. 2022. 103808. ISSN 0968-090X. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103808>.
7. Archetti C, Peirano L, Speranza MG. Optimization in multimodal freight transportation problems: A Survey. *European Journal of Operational Research* 2022, 299(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.07.031>

8. ZhangJ, LiY. Collaborative vehicle drone distribution network optimization for perishable product sin treepie mi situation. Computers & Operations Research2023, 149,106039.<https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.106039>
 9. Wang X, Jiang R, Qi M. A robust optimization problem for drone-based equitable pandemic vaccine distribution with uncertain supply Omega 2023, 119, 102872. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2023.102872>
 10. Medicine from the Sky: opportunities and Lessons from Drones in Africa [Электронный ресурс]: World Economic Forum. Insightreport, march 2021 //www.weforum.org: сайт. – Электрон.дан. – [б. м.]. – Режим доступа: <https://www.weforum.org/reports/01745134-e63f-4fc0-91a1-1507b4d2c351>.
 11. Носов А. М., Савельев А. И., Вильянинов В.Н., Ромашова Ю. Е., Лебедев И.В., Лебедева В.В., Янин, А.П., Самохвалов И.М. Опыт транспортировки компонентов крови с применением беспилотного летательного аппарата// Медицина катастроф. 2022. №3. С.65-69. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2022-3-65-69>. 65-69.
 12. Беспилотные системы. Поиск и спасение [Электронный ресурс] // <https://unmannedsystems.ru/>: сайт. – Электрон. дан. – [б. м.].
-

Gubacheva L.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «V.Dal Luhansk State University»

Makarova I.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Naberezhnye Chelny Institute, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Kazan (Volga Region) Federal University»,

Ivankin M.A., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «V.Dal Luhansk State University»

DRONE TRUCK AS A NEW MODEL OF MULTIMODAL TRANSPORTATION

Abstract. The article considers the possibilities of using drones (unmanned aerial vehicles) in various sectors of the economy. Particular attention is paid to the features and prospects of using cargo drones for medical purposes and in cases of emergencies and road accidents - for transporting first aid supplies, medicines, etc.

Keywords: cargo drones, emergencies, cold chain