



УДК 656.7.025

МЕТОДЫ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ПРИ ПОМОЩИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А. С. Костин, Д. В. Еленин

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье сформирован краткий обзор существующих методов доставки, а также проектов различных крупных компаний. Далее была сформирована возможная структурная схема работы доставки грузов при помощи беспилотного летательного аппарата, а также подробно рассмотрен один из методов доставки грузов.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, доставка грузов, организация доставки, методы доставки грузов.

Для цитирования:

Костин А. С., Еленин Д. В. Методы доставки грузов при помощи беспилотных летательных аппаратов // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №1(23), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2019 – с. 55-64. РИНЦ.

METHODS OF CARGO DELIVERY USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

A. S. Kostin, D. V. Elenin

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article provides a brief overview of the existing methods of delivery, as well as projects of various large companies. Further, a possible block diagram of cargo delivery using an unmanned aerial vehicle was formed, and one of the methods of cargo delivery was considered in detail.

Key words: unmanned aerial vehicles, cargo delivery, delivery organization, cargo delivery methods.

For citation:

Kostin A. S., Elenin D. V. Methods of cargo delivery using unmanned aerial vehicles // System analysis and logistics.: №1(23), ISSN 2007-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2019 – p. 55-64.

Идея использовать БЛА (БЛА – беспилотный летательный аппарат) для доставки грузов давно обсуждается. Доставка грузов с помощью беспилотных летательных аппаратов сегодня — это одно из перспективных направлений применения беспилотников в гражданской сфере, а одна из главных особенностей данного вида транспорта в том, что груз можно доставить в труднодоступные районы за короткий срок. В качестве груза могут выступать:

- 1) Биологические материалы, вакцины, медикаменты или питание в клиники, больницы или непосредственно пострадавшим от стихийных бедствий [1]. Дроны DHL доставляют кровь, медикаменты и противоядия в удаленные регионы Танзании: немецкие аппараты позволили охватить свыше 8 тысяч пациентов и пересмотреть подход к оказанию медицинских услуг в ряде населенных пунктов [2].
- 2) Доставка почты, товаров и других небольших грузов [1].
- 3) Доставка товаров из магазинов (включая еду и напитки).

На данный момент сразу несколько крупных корпорацией разрабатывают беспилотные авиационные комплексы для доставки грузов, ниже представлено описание разрабатываемых проектов.



Таблица 1. Описание сервисов и методов доставки товаров и грузов

№	Название компании и разработанного сервиса	Краткое описание сервиса	Рисунки
1	Amazon. Сервис доставки заказов Prime Air	Предполагается, что покупатель делает онлайн заказ и указывает Prime Air как способ доставки. В логистическом центре компании товар, выбранный клиентом, загружается на беспилотник [3]. Затем БЛА летит по указанному адресу, приземляется, проводит выгрузку товара и улетает. После этого клиент забирает с земли упаковку с товаром [3].	
2	Google. Project Wings	Wings — это проект, направленный на разработку беспилотника и автономной базовой станции. В проекте было продемонстрировано несколько типов беспилотников с разными аэродинамическими схемами. Один из проектов БЛА был построенный по схеме летающего крыла с вертикальным взлетом и посадкой (тэйлситер). При нахождении на земле аппарат находится в вертикальном положении «сидит на хвосте». После взлета аппарат принимает горизонтальное положение и летит как летающее крыло.	
3	DHL Express. Использование дронов для доставки посылок	Предполагается, что дрон может доставлять грузы весом до 5 кг, совершая взлет и посадку на локальные базовые станции, специально разработанные для автономной погрузки и выгрузки. Базовая станция подключена к автоматическим процессам сортировки, сканирования и хранения экспресс-почты, а также имеют такие функции, как распознавание лиц и сканирование удостоверений личности. Этот комплекс уже применяется, и беспилотник	



		<p>доставил первый груз клиенту DHL в Гуанчжоу. Для этого был специально разработан новый маршрут длиной около 8 км от сервисного центра DHL, расположенного в Ляобу городского округа Дунгуань в провинции Гуандун, до места назначения. На маршрут БЛА требуется всего 8 минут, в то время как автомобиль преодолевает этот путь за 40 минут [4].</p>	
4	<p>Zipline. Доставка медикаментов и образцов крови</p>	<p>В 2016 году калифорнийская компания Zipline по договоренности с правительством Африканского государства Руанда приступила к доставке донорской крови и медикаментов с помощью БЛА. Процесс доставки устроен следующим образом: врач клиники, нуждающейся в срочной поставке крови, отправляет заявку по SMS в специальный логистический центр. После получения заявки работники центра загружают припасы в беспилотник и запускают его [3]. В проекте используются БЛА самолетного типа, а взлет осуществляется с помощью катапульты.</p>	
5	<p>UPS. Почтомобиль-авианосец</p>	<p>В феврале 2017 почтовый гигант UPS объявил о полевых испытаниях почтового фургона и посовместительству аэродрома для дронов. Концепция использования машины такая же, как и в проекте Matternet и Mercedes-Benz. Фургон с посылками подъезжает к поселку, а затем дроны разносят посылки по домам [3].</p>	

Сам же метод доставки при помощи БЛА заключается в том, что дрон получает информацию о доставке (например, информацию о грузе, информацию о местоположении груза и / или информацию о месте доставки), автономно или полуавтономно получает груз из места хранения и доставляет по воздуху (рис. 1).

В некоторых реализациях БЛА будет связываться с другими БЛА, которые находятся относительно недалеко друг от друга для получения информации, используемой для планирования маршрута. Эта информация может храниться на сервере автономной базовой станции и/или динамически распределяться между ближайшими БЛА.

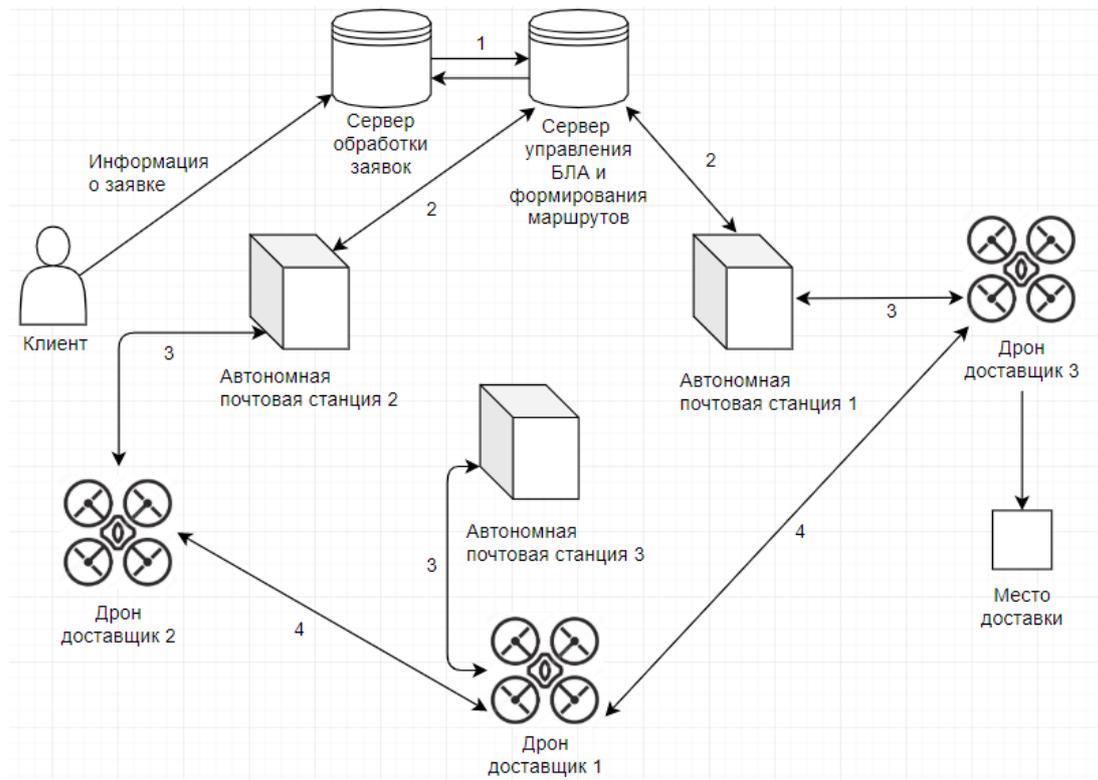


Рис. 1. Схема обработки заявки по доставке груза

Когда БЛА достигает места доставки, он исследует поверхность в месте доставки для безопасной посадки, производит посадку, затем отпускает груз, тем самым завершая доставку. В дальнейшем, если БЛА ранее успешно приземлился в месте доставки, он может использовать сохраненную информацию о месте доставки (например, безопасную зону посадки, географические координаты зоны посадки) для навигации при посадке в точке доставки. После завершения доставки БЛА может вернуться в базовый пункт обработки или в другое место для получения другого груза, зарядки батарей и т. д.

Кроме того, пользователи смогут указать альтернативные места доставки, например дом, рабочее место и т.д. Для избегания столкновений дроны будут избегать препятствия в окружающей среде, таких как животные, люди, различные небольшие сооружения и т.д. при помощи машинного зрения.

Далее более конкретно рассмотрим некоторые основные элементы системы доставки, такие как: веб-интерфейс (рис. 2) для осуществления заказа и выбора типа и места доставки, информационная сеть беспилотников (рис. 3) для осуществления обмена оперативной информацией и удаленного управления и сортировочная базовая станция (рис. 4) для формирования и выдачи заказа, а также для зарядки и обслуживания дронов.

На рисунке 2 изображен концепт графического пользовательского интерфейса с выбором варианта доставки заказа. В данном примере пользователь хочет сделать заказ «6 Touch Screen Display», которое продается компанией ABC. В процессе покупки пользователь может выбрать один или несколько способов доставки, которые могут быть использованы для доставки выбранного товара. В этом примере пользователь выбрал «автоматизированную воздушную доставку» с оценкой времени доставки в 30 минут. Если пользователь не желает получать товар с помощью автоматической воздушной доставки, он может выбрать другой вариант доставки, нажав кнопку «Выбрать другой вариант доставки». В еще одной реализации пользователь может выбрать время доставки для воздушной доставки. Например, если пользователь не желает получить заказ, в данном примере через 30 минут он может выбрать другое время, в которое он хотел бы получить элемент.



Рис. 2. Концепт графического интерфейса сервиса доставки

В дополнение к выбору способа доставки, пользователь может выбрать место доставки. С помощью описанных здесь реализаций пользователь теперь имеет возможность выбрать “Доставь мне” (A). С помощью этой опции определяется фактическое местоположение пользователя, и БЛА доставляет элемент в текущее местоположение пользователя. Текущее местоположение пользователя может быть основано, например, на определенном местоположении портативного устройства (например, мобильного телефона), связанного с пользователем, местоположении сети, используемой пользователем при оформлении заказа, и т.д. Например, пользователь может определить свое текущее местоположение, разрешив предоставлять данные глобальной системы позиционирования («GPS») с помощью своего мобильного устройства. В качестве альтернативы, если пользователь подключен через беспроводную сеть (например, cellular, Wi-Fi, satellite), местоположение сети может быть определено и использовано в качестве текущего местоположения пользователя.

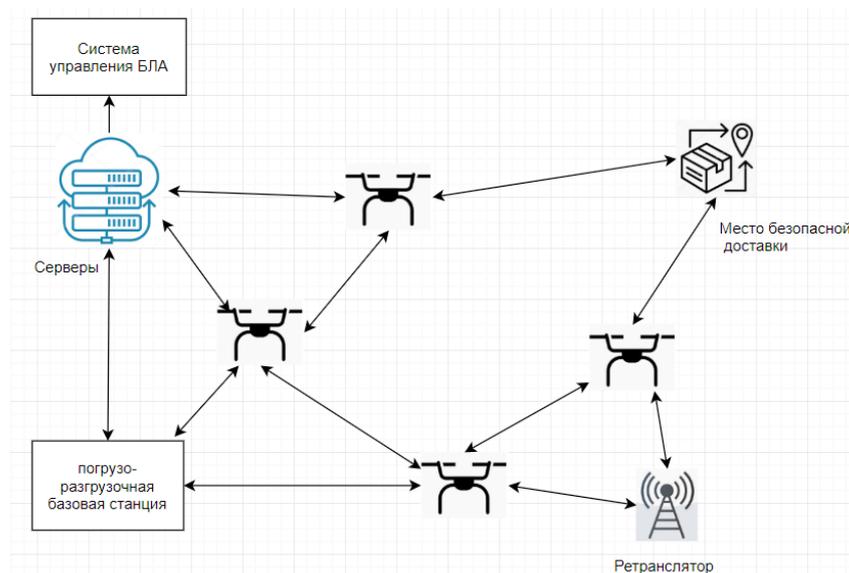


Рис. 3. Структура ячеистой сети обмена данными между БЛА и объектами инфраструктуры



На рисунке 3 изображена блок-схема среды БЛА, которая включает в себя БЛА, место безопасной доставки, ретранслятор, погрузо-разгрузочную базовую станцию и удаленные вычислительные центры. Каждый из БЛА, точки доставки, места ретрансляции, погрузо-разгрузочной базовой станции и / или удаленных вычислительных центров могут быть сконфигурированы для связи друг с другом. Например, БЛА могут быть сконфигурированы для формирования беспроводной ячеистой сети, которая использует Wi-Fi, мобильную сеть 5G или другое беспроводное средство связи, причем каждый БЛА связывается с другими БЛА в пределах диапазона беспроводной связи.

Удаленные вычислительные центры образуют вычислительную платформу, состоящую из серверов, которые доступны через ячеистую сеть и/или другую беспроводную или проводную сеть (например, Интернет). Как показано на рисунке 3, удаленные вычислительные центры могут включать в себя один или несколько серверов. Эти серверы могут быть расположены любым способом, например как серверные фермы, стеки, которые обычно используются в центрах обработки данных. Кроме того, серверы могут включать в себя систему управления БЛА.

Беспроводная ячеистая сеть может использоваться для обеспечения связи между беспилотными летательными аппаратами (например, для обмена информацией о погоде, информацией о местоположении, зонах посадки), системой управления беспилотными летательными аппаратами, погрузо-разгрузочной базовой станцией, безопасными точками доставки.

В некоторых случаях, если БЛА теряет связь с другими БЛА через беспроводную ячеистую сеть, он может активировать альтернативный метод беспроводной связи для восстановления соединения. Например, если БЛА не может связываться с любыми другими БЛА через ячеистую сеть, он может активировать канал сотовой и/или спутниковой связи для получения необходимой информации из системы управления БЛА. Если альтернативный метод связи не активировался, то дрон может автоматически и автономно перемещаться в указанное место (например, в ближайшую автономную базовую станцию).



Рис. 4. Концепт базовой почтовой станции

На рисунке 4 изображена базовая почтовая станция компании DHL. Базовая почтовая станция включает в себя систему управления и один или несколько отсеков для хранения грузов. Система управления включает в себя внутреннюю вычислительную систему, которая способна получать и анализировать информацию о состоянии каждого отсека хранения и обеспечивает другие вычислительные функции. Например, внутренняя вычислительная система может включать в себя командный центр, который хранит информацию о том, какие ячейки хранения пусты, а какие ячейки хранения содержат товар и/или контейнеры, которые содержат инвентарь для обслуживания дронов;



коды доступа или другой идентификатор, необходимый для открытия каждого из отсеков для хранения. Командный центр также может выдавать команды модулям хранения, чтобы блокировать/разблокировать хранилища, активировать и/или деактивировать датчики и т.п.

Во время связи с беспилотными летательными аппаратами система управления идентифицирует прибывающий беспилотный летательный аппарат, определяет модуль отсека для хранения, из которого беспилотный летательный аппарат должен получить контейнер. По мере приближения БЛА управляющая станция может запрашивать управление БЛА для контроля посадки.

Для организации доставки грузов необходимо обработать поступающие заявки и организовать маршрут доставки. На рисунке 5 представлен пример схемы маршрута.

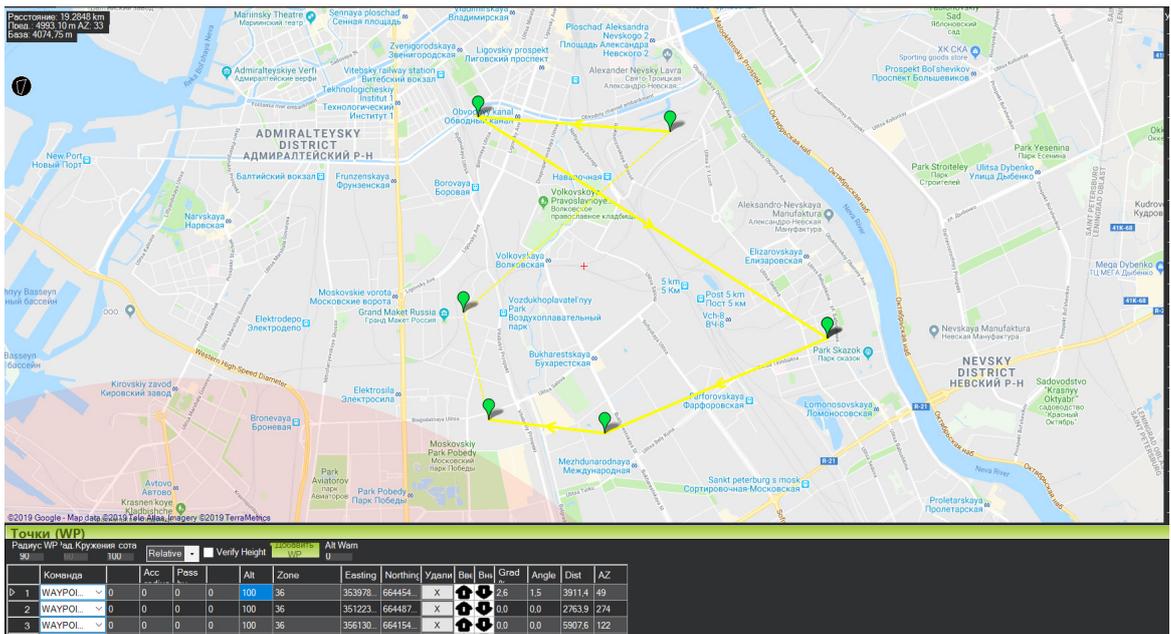


Рис. 5. Маршрут доставки грузов на примере Mission Planner

На рисунке можно увидеть сформированный маршрут доставки от базовой станции и до точек доставок. Как можно заметить, была сформирована определенная очередность доставки, которая зависит от срочности доставки, веса доставляемого груза и расстояния от базовой станции или от предыдущей точки доставки.

Для оптимизации маршрута доставки данную схему можно представить в виде графа. Рассмотрим пример ниже:

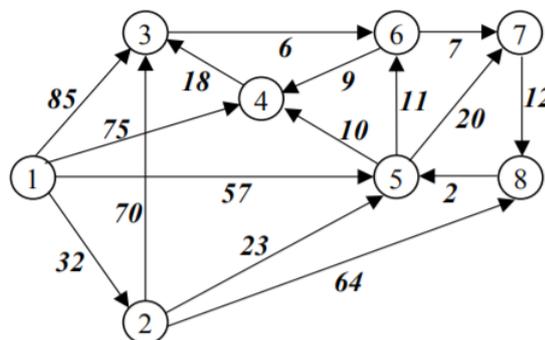


Рис. 6. Маршрут доставки груза в виде графа

Необходимо найти кратчайшие пути в графе от первой вершины ко всем остальным и построить дерево кратчайших путей.



Найдем кратчайший путь от вершины x_1 до всех вершин, используя алгоритм Дейкстры. Он заключается в том, что вершинам графа присваиваются временные метки, которые затем по определенным правилам заменяются на постоянные метки. Будем использовать обозначения:

- $L^*(x_i)$ - постоянная метка вершины x_i ,
 - $L^H(x_i)$ - новая временная метка вершины x_i ,
 - $L^c(x_i)$ - старая временная метка вершины x_i ,
 - R_{ij} - вес ребра, соединяющего вершины x_i и x_j .
- Новая временная метка вычисляется по формуле:

$$L^H(x_j) = \min\{L^c(x_i), R_{ij} + L^c(x_i)\}.$$

После этого из всех временных меток выбирается наименьшая, и она становится постоянной меткой. Действия продолжаются, пока не будут найдены постоянные метки для всех вершин графа. Результаты действий на каждом шаге будем заносить в таблицу. В предпоследний столбец заносим вершину, получившую постоянную метку, в последний столбец – величину этой метки (для данного шага).

Шаг 1.

Начальная вершина x_1 имеет постоянную метку $L^*(x_1) = 0$, остальные вершины имеют временную метку ∞ .

Шаг 2.

Определяем множество последователей вершины $\Gamma(x_1) = \{x_3, x_4, x_5, x_2\}$. Пересчитываем их временные метки по основной формуле: $L^H(x_3) = 85, L^H(x_4) = 75, L^H(x_5) = 57, L^H(x_2) = 32$. Берем вершину x_2 с минимальной временной меткой 32, присваиваем этой вершине постоянную метку $L^*(x_2) = 32$.

Шаг 3.

Определяем множество последователей вершины $\Gamma(x_2) = \{x_3, x_5, x_8\}$. Пересчитываем их временные метки по основной формуле: $L^H(x_3) = \min(85, 32 + 70) = 85, L^H(x_5) = \min(57, 32 + 23) = 55, L^H(x_8) = 32 + 64 = 96$. Берем вершину x_5 с минимальной временной меткой 55, присваиваем этой вершине постоянную метку $L^*(x_5) = 55$.

Шаг 4.

Определяем множество последователей вершины $\Gamma(x_5) = \{x_4, x_6, x_7\}$. Пересчитываем их временные метки по основной формуле: $L^H(x_4) = \min(75, 55 + 10) = 65, L^H(x_6) = 55 + 11 = 66, L^H(x_7) = 55 + 20 = 75$. Берем вершину x_4 с минимальной временной меткой 65, присваиваем этой вершине постоянную метку $L^*(x_4) = 65$.

Шаг 5.

Определяем множество последователей вершины $\Gamma(x_4) = \{x_3\}$. Пересчитываем их временные метки по основной формуле: $L^H(x_3) = \min(85, 65 + 18) = 83$. Берем вершину x_3 с минимальной временной меткой 83, присваиваем этой вершине постоянную метку $L^*(x_3) = 83$.

Шаг 6.

Определяем множество последователей вершины $\Gamma(x_6) = \{x_4, x_7\}$. Пересчитываем их временные метки по основной формуле: $L^H(x_7) = \min(75, 66 + 7) = 73$. Берем вершину x_7 с минимальной временной меткой 73, присваиваем этой вершине постоянную метку $L^*(x_7) = 73$.

Шаг 7.

Определяем множество последователей вершины $\Gamma(x_7) = \{x_8\}$. Пересчитываем их временные метки по основной формуле: $L^H(x_8) = \min(96, 73 + 12) = 85$. Берем вершину x_8 с минимальной временной меткой 85, присваиваем этой вершине постоянную метку $L^*(x_8) = 85$.

Шаг 8.

Определяем множество последователей вершины $\Gamma(x_8) = \{x_6\}$. Эта вершина уже имеет постоянную метку. Поэтому берем вершину x_6 с минимальной временной меткой 83, присваиваем этой вершине постоянную метку $L^*(x_6) = 83$.



Таблица 2. Итоговая таблица

Шаги	Вершины								x_i	$L^*(x_i)$
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8		
1	0	∞	x_1	0						
2		32	85	75	57	∞	∞	∞	x_2	32
3			85	75	55	∞	75	96	x_3	55
4			85	65		66	75	96	x_4	65
5			85			66	73	96	x_5	66
6			85					96	x_6	73
7			83					85	x_7	83
8								85	x_8	85

Кратчайшие пути найдены, их длина приведена в последних двух столбцах расчетной таблицы. Построим дерево кратчайших путей (ребра дерева обведены жирным) – ребра (1,2), (2,5), (5,4), (4,3), (5,6), (6,7), (7,8).

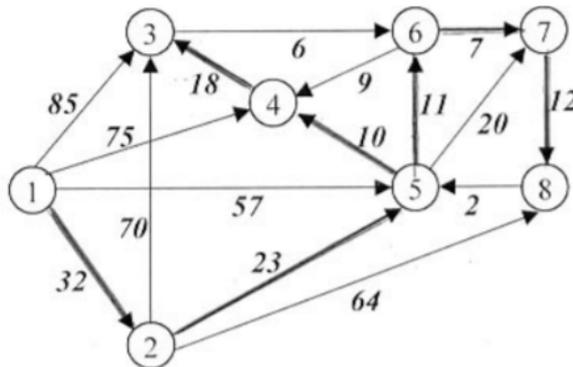


Рис. 7. Итоговый граф с кратчайшими маршрутами

Как оказалось в итоге, можно представить множество сценариев, в которых применение мультикоптеров для грузоперевозок будут оправданными. Дронам по силам очень многое — начиная от доставки пиццы и заканчивая эвакуацией пострадавших людей из труднодоступных районов [6]. Причем большинство рутинных задач будут выполняться без оператора.

Искусственный интеллект возьмет на себя часть задач по оптимизации маршрута, выполнит взлет и посадку, вернет летательный аппарат на базу.

Но кроме очевидных преимуществ данного вида транспорта существует ряд серьезных проблем и ограничений.

Законодательные ограничения на перемещения малых летательных аппаратов есть во многих странах мира. Доставка грузов по воздуху при помощи беспилотников является в большинстве случаев незаконным действием. К тому же необходимо определиться с тем, какой свободный эшелон будет доступен для беспилотной авиации.

Следующим ограничивающим фактором остается длительность полета. Мощные бесколлекторные двигатели способны поднять в воздух значительный вес, однако они потребляют много энергии. Емкость аккумуляторов не безгранична, кроме того, батареи сами «съедают» значительную часть полезной нагрузки. Чем больше емкость батареи, тем она тяжелее, больше и дороже. Время полета от одного аккумулятора редко превышает 30-40 минут.

Современные дроны не могут перемещаться по воздуху в сложных метеоусловиях. Сильный ветер, дождь и град выводят из строя летательный аппарат [6].



Существуют проблемы с доставкой товаров жителям многоквартирных домов и офисных помещений. Организация массового полёта дронов требует создания сложных программно-аппаратных комплексов. Внедрение новых технологий сопряжено с большими финансовыми расходами.

К тому же есть определенные требования к безопасности. Падение дрона с грузом может привести к травмам людей. В воздух должны подниматься только исправные модели, а их маршруты должны проходить вдали от массового скопления людей. Либо же надежность коптеров должна оказаться настолько высокой, чтобы их можно было без опаски запускать над городом [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доставка беспилотниками грузов [Электронный ресурс] // RoboTrends. – Режим доступа: <http://robotrends.ru/robopedia/dostavka-bespilotnikami-gruzov> (дата обращения: 11.10.2019).
2. Life-Saving Drones Fly Medicine to Tanzania's Remotest Spots [Электронный ресурс] // Bloomberg. - Режим доступа: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-08/life-saving-drones-deliver-medicine-to-tanzania-s-remotest-spots> (дата обращения: 11.10.2019).
3. Коммерческая доставка грузов с помощью дронов: мировой опыт [Электронный ресурс] // Integral. - Режим доступа: <http://integral-russia.ru/2017/03/24/kommercheskaya-dostavka-gruzov-s-pomoshhyu-dronov-mirovoj-opyt/> (дата обращения: 11.10.2019).
4. DHL Express запустила первый регулярный маршрут автоматизированной доставки дронами в городских условиях [Электронный ресурс] // DroneFlyers. - Режим доступа: <http://droneflyers.ru/2019/05/22/dhl-express-zapustila-pervyj-regulyarnyj-marshrut-avtomatizirovannoj-dostavki-dronami-v-gorodskih-usloviyah/> (дата обращения: 11.10.2019).
5. Грузоподъемность квадрокоптера с камерой — какой вес может поднять дрон? [Электронный ресурс] // DronGeek Все о квадрокоптерах и дронах. - Режим доступа: <https://drongeek.ru/novichkam/gruzopodemnost-kvadrokoptera> (дата обращения: 11.10.2019).
6. Доставка грузов с помощью дронов [Электронный ресурс] // MyKvadrocopter. - Режим доступа: <https://mykvadrocopter.ru/dostavka-dronami/> (дата обращения: 11.10.2019).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Костин Антон Сергеевич –

инженер кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит.А

E-mail: anton13258@mail.ru

Еленин Даниил Витальевич –

лаборант лаборатории беспилотных авиационных систем

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: lenin178192028@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kostin Anton Sergeevich–

engineer of the Department of Systems Analysis and Logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: anton13258@mail.ru

Elenin Daniil Vitalievich –

laboratory assistant of the unmanned aircraft systems laboratory

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
Bolshaya Morskaya St., 67, lit. A, St. Petersburg, 190000, Russia.

E-mail: lenin178192028@mail.ru