



ЛОГИСТИКА

УДК 656.021.2

DOI: 10.31799/2077-5687-2023-3-158-162

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОГОДЫ НА ДОСТАВКУ ГРУЗОВ В ГРАНИЦАХ РАЙОНА ГОРОДА

М. Р. Язвенко, Н. Н. Майоров

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В данной статье представлен пример использования оптимизационных экспериментов с имитационными моделями для решения задачи планирования полётно-го задания беспилотной авиационной системы. Имитационный эксперимент представлен и реализован в программной системе Anylogic. Объектом исследования была выбрана модельная задача доставки грузов беспилотными авиационными системами в границах района города. В ходе исследования были определены пограничные значения скорости ветра, при которых выполнение полётно-го задания на маршруте невозможно, а также максимальная полезная нагрузка, для скоростей ветра, при которых дрон безопасно завершит свой полёт. Также был приведён пример определения зависимости изменения допустимой нагрузки от изменения ветра, по которому можно принимать решения о загрузке беспилотной авиационной системы на доставку.

Ключевые слова: беспилотная авиационная система, воздушная доставка, AnyLogic, имитационное моделирование.

Для цитирования:

Язвенко, М. Р. Использование оптимизационных экспериментов для прогнозирования влияния погоды на доставку груза БАС / М. Р. Язвенко, Н. Н. Майоров // Системный анализ и логистика. – 2023. – № 3(37). – с. 158 – 162. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-3-158-162.

USE OF OPTIMISATION EXPERIMENTS TO PREDICT THE IMPACT OF WEATHER ON CARGO DELIVERY WITHIN CITY DISTRICT BOUNDARIES

M. R. Yazvenko, N. N. Maiorov

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

This article presents an example of using optimisation experiments with simulation models to solve the problem of flight task planning for an unmanned aircraft system. The simulation experiment is presented implemented in the Anylogic software system. The object of the study was chosen the model problem of cargo delivery by unmanned aircraft systems within the boundaries of the city area. In the course of the study, the boundary values of wind speed were determined, at which the fulfilment of the flight task on the route is impossible, as well as the maximum payload, for wind speeds at which the drone will safely complete its flight. An example of determining the dependence of the change in the allowable load on the change in the wind was also given, which can be used to make decisions about loading the unmanned aerial system for delivery.

Keywords: Unmanned aerial vehicle, air delivery, AnyLogic, imitation modeling, simulation model.

For citation:

Yazvenko, M. R. Use of optimisation experiments to predict the impact of weather on cargo delivery within city district boundaries / M. R. Yazvenko, N. N. Maiorov // System analysis and logistics. – 2023. – № 3(37). – p. 158 – 162. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-3-158-162.

1. Постановка задачи

При планировании доставки беспилотной авиационной системой требуется ответственно отнестись к составлению полётно-го задания [1,2] Одним из важнейших моментов при составлении плана является вопрос использования полезной нагрузки коптера [3,4]. Недозагрузка приводит к неэффективности доставки, перегруз ставит под угрозу груз и сам факт доставки – либо коптер не сможет взлететь, сопротивляться ветру или будет летать слишком медленно, что его аккумулятор разрядится ещё до момента окончания полёта.

На скорость движения коптера влияет не только масса груза, но и погодные условия. В условиях сухой погоды без дождя сохраняется опасность ветра. Ветер может быть, как



попутным, так и встречным или боковым. Лёгкий попутный ветер оказывает положительное влияние на скорость движения коптера, что позволяет ожидать меньшее время доставки, а остальные, наоборот, оказывают негативное влияние.

Исследуем доставку груза беспилотной авиационной системой в пределах города. Из пункта А в пункт Б осуществляется доставка груза коптером. Квадрокоптер ограничен по скорости и подъемной силе [5,6]. Нужно определить максимальный вес груза, который может быть перевезён.

Поскольку перевозка осуществляется по воздуху, а коптер имеет небольшой вес, то доставка очень сильно зависит от ветра. Ветер является случайной величиной. Даже при известном прогнозе и известных данных с метеостанций, точно предсказать влияние ветра на полёт невозможно. Соответственно стоит вопрос определения веса груза с учётом отклонения фактической скорости ветра при выполнении полётного задания от прогнозируемого, чтобы коптер мог безопасно справиться с доставкой.

Одним из главных ограничений для применения беспилотников в доставке какого-либо груза является заряд аккумулятора.

Для целей моделирования различных режимов были выбраны параметры коптера Клевер 4 компании ООО «Коптер Экспресс Технологии» [7]. На нем применяются 4S аккумуляторы на 3600 мАч, которые выдают нормативно 14,8 В. Ожидаемое полетное время можно определить по формуле [8]:

$$t_{\text{полёта}} = \frac{Q}{I_{\text{полётной нагрузки}}} \cdot 60 \quad (2)$$

где $t_{\text{полёта}}$ — полетное время дрона в минутах;

Q — емкость LiPo батареи в мАч;

$I_{\text{полётной нагрузки}}$ — ток, отдаваемый аккумуляторной батареей для питания двигателей и другого оборудования с учетом полетной нагрузки.

Ток полетной нагрузки зависит от режима работы дрона, его скорости и веса. Для выполнения исследования примем, что дрон всегда будет на пиковой нагрузке – лететь с максимальной скоростью для заданного груза. В данном случае ток нагрузки будет равен максимальному току. Для квадрокоптера «Clover 4» это 3 Ампер. Максимальная скорость движения ненагруженного дрона составляет 5 м/с. Дрон способен поднять не более 2-х кг полезной нагрузки. По этим данным выводится теоретическое уравнение зависимости скорости полёта от массы груза:

$$V = -2.5m + 5 \quad (3)$$

Чтобы дрон безопасно завершил свой полёт, разряд батареи не должен превышать 80%.

Зная данные ограничения, можно найти такие режимы полёта коптера, при которых можно определить:

- Максимальный вес груза, который можно доставить заданным маршрутом при имеющихся параметрах аккумулятора;
- Критическое решение, при котором доставка дроном перестанет быть выгодной перед автомобильным транспортом.

Для поиска данных режимов полёта в условиях реальной улично-дорожной сети можно воспользоваться имитационным моделированием. Моделирование будет проводиться в среде имитационного моделирования AnyLogic с использованием оптимизационных экспериментов [9].

2. Модели оптимизационных экспериментов

Оптимизационные эксперименты в AnyLogic основаны на эволюционном алгоритме, преследующем цель сохранить разнообразие решений и выбрать оптимальное [10]. При этом



генерируется не одно значение на каждом шаге, а популяция решений из которой следующее сохраняется для следующей итерации. Алгоритм воспроизводится пока не найдётся наилучшее решение.

Целью оптимизации является нахождение минимального или максимального значения целевой функции. Целевая функция в оптимизационном эксперименте AnyLogic – это математическое выражение, связывающее параметры или результат какого-либо показателя из модели.

На результат оптимизации можно наложить требования, которые будут проверяться после выполнения прогона. В зависимости от соответствия требованию результат будет признан допустимым или недопустимым.

Использование оптимизационной имитационной модели позволяет определить оптимальные параметры для полётного задания.

3. Результаты моделирования при различных сценариях

Влияние ветра будет рассматриваться по проекции на прямую траектории движения. В ходе исследования будет браться средняя скорость ветра при доставке, без моделирования отдельных порывов ветра. Исходя из параметров выбранного коптера и выведенного уравнения зависимости скорости от нагрузки, полёты коптера при скорости ветра свыше 5 м/с невозможны, поскольку коптер не сможет сопротивляться такой силе ветра.

В [1] проводилось моделирование доставки груза коптером и автомобилем в условиях города. В ходе исследования, были определены максимальная нагрузка на коптер, при которой он может выполнить полётное задание – 1.809 кг, и нагрузка, при которой использование автотранспорта является предпочтительным – 1.566 кг.

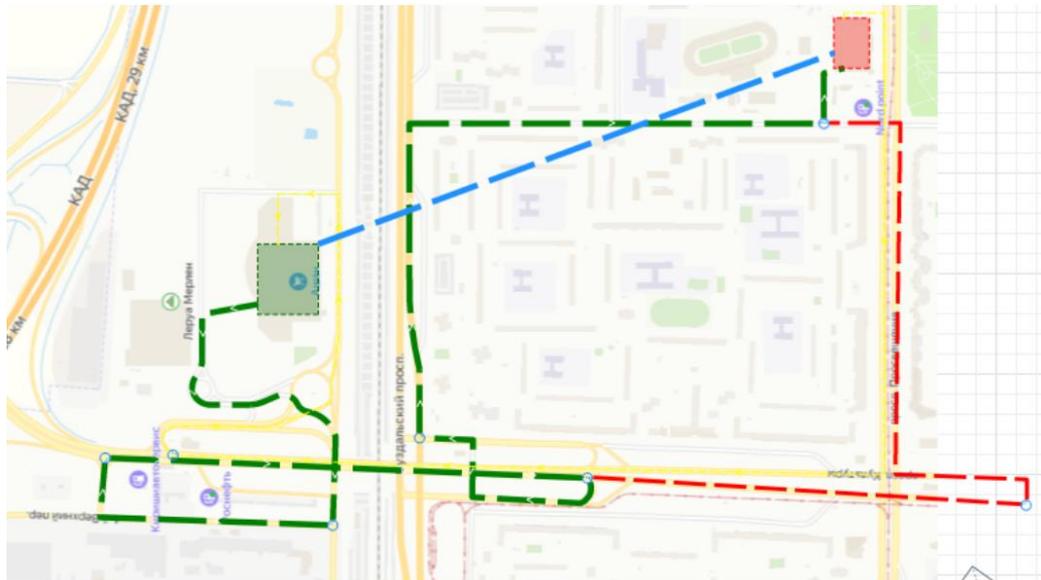


Рис. 1. Маршрут доставки (модельный вариант)

Поиск максимального веса груза производится с учётом ограничения на максимальный разряд батареи в 80%. В ходе эксперимента варьируется вес груза и осуществляется проверка остаточного заряда батареи.

В ходе моделирования были получены различные значения нагрузки при колебаниях ветра. В таблице 1 указаны различные значения максимальной грузоподъёмности коптера, при которой полётное задание будет выполнено, в зависимости от скорости ветра при доставке. Отрицательные скорости ветра соответствуют встречному ветру. Как видно из таблицы 1, при скорости встречного ветра свыше 4,25 м/с вес груза опустится ниже порога в 100 грамм. Изменение фактической скорости ветра от ожидаемой на 1 м/с изменяет полезную нагрузку на 400 гр.



Таблица 1 – Результаты эксперимента по определению максимальной возможной загрузки для различных скоростей ветра.

Ветер м/с	Максимальный груз, кг
-4.25	0.1
-4	0.209
-3	0.609
-2	1.009
-1.5	1.208
-1	1.408
-0.5	1.609
0	1.809
0.1	1.849
0.2	1.889
0.3	1.9

Доставка дроном: Максимальный вес груза

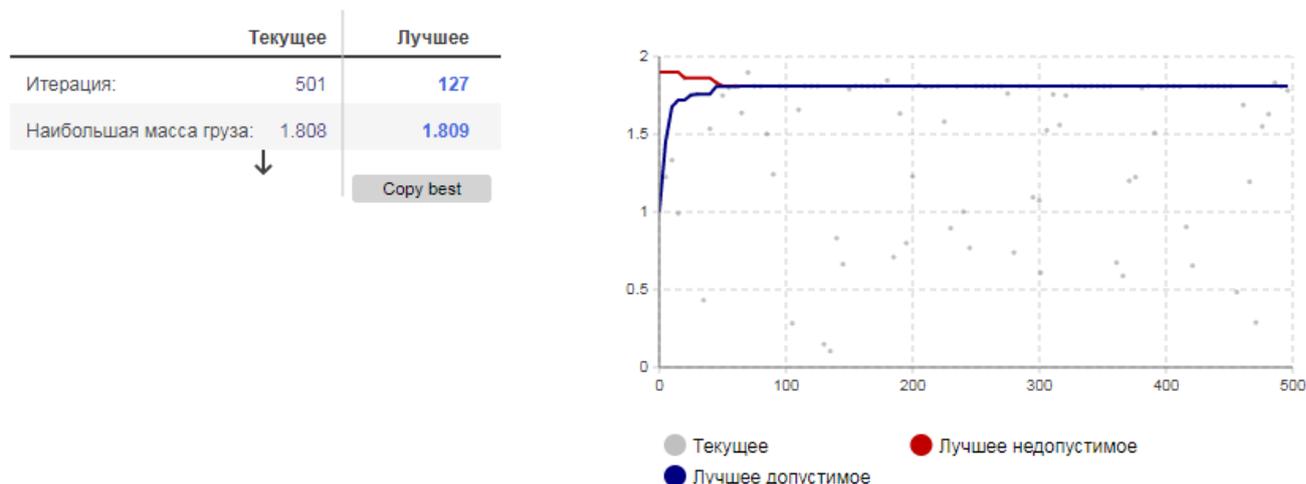


Рис. 2. Оконная форма оптимизационного эксперимента, реализованный в программной среде AnyLogic

Заключение

Как показали результаты исследования, решение задачи прогнозирования определения полезной нагрузки беспилотной авиационной системы при доставке возможно с применением оптимизационных экспериментов в имитационном моделировании. При решении данной задачи были определены границы скорости ветра, в которых может осуществляться доставка по выбранному маршруту, а также максимальная полезная нагрузка коптера в выбранных условиях. Полученные таким образом данные можно использовать для правильной загрузки коптера при доставке в условиях изменяющегося ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Язвенко М. Р. Моделирование процесса доставки грузов беспилотной авиационной системой в границах района города / А. С. Костин, М. Р. Язвенко, Н. Н. Майоров // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии Четвертая международная научная конференция: сборник докладов. – СПб.: ГУАП, 2023. – С. 211-219. DOI: 10.31799/978-5-8088-1819-4-2023-4-1-211-219
2. Карпова Т. Ю., Костин А. С. Эксплуатация беспилотных авиационных систем: учеб. пособие / Т. Ю. Карпова, А. С. Костин под ред. Н. Н. Майорова. – СПб.: ГУАП, 2021.



- 167 с.
3. Еленин Д. В. Основы автономного управления беспилотными авиационными системами для решения транспортных задач / Д. В. Еленин, А. С. Костин, Н. Н. Майоров // учебно-методическое пособие. – СПб.: ГУАП, 2020. – 71 с.
 4. Markus H. Raffaello D’Andrea. Quadro copter trajectory generation and control / H. Markus // IFACworldcongress. – 2011. – Vol. 18. № 1. – P. 1485–1491.
 5. Anbaroğlu, B. Parcel delivery in an urban environment using unmanned aerial systems: A vision paper / B. Anbaroğlu // ISPRS Annals of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2017. – Vol. 4. № 4. – P. 73-79. – DOI: 10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-73-2017
 6. Guerrero, J. A. UAV path planning for structure inspection in windy environments / J. A. Guerrero Y. Bestaoui // Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2012. – Vol. 69. – № 1-4. – P. 297-311. – DOI: 10.1007/s10846-012-9778-2.
 7. COEX Клевер 4 Code — конструктор программируемого квадрокоптера [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.coex.tech/clover> (дата обращения 10.09.2023)
 8. Электротехнические и радиотехнические калькуляторы: Калькулятор литий-полимерных аккумуляторов для дронов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/ru-RU/calculator/multicopter-lipo-battery/> (дата обращения 10.09.2023)
 9. AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения 11.10.2023)
 10. Оптимизационный эксперимент | Документация AnyLogic [Электронный ресурс]. – URL: <https://anylogic.help/ru/anylogic/experiments/optimization-experiment.html#optimization-parameters> (дата обращения 11.10.2023)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Язвенко Максим Романович –

Аспирант кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: maksim-yazvenko@ya.ru

Майоров Николай Николаевич –

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: nnm@guap.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yazvenko Maksim Romanovich –

Postgraduate student of the system analysis and logistics department
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: maksim-yazvenko@ya.ru

Maierov Nikolai Nikolaevich –

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of System Analysis and Logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: nnm@guap.ru