

УДК 621.391

Мороз Б. І., д.т.н., професор, Антіпов О.А. аспірант, Журавльов В. С. аспірант.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСТАВКИ МЕДИКАМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (МУЛЬТИКОПТЕРІВ) ЗА ЗАПИТОМ СПОЖИВАЧА

Мороз Б. І., Антіпов О.А., Журавльов В. С. Автоматизована система доставки медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів (мультикоптерів) за запитом споживача. Представлено концепт системи доставки медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів. Запропоновано архітектуру системи автоматичної диспетчеризації замовлень від споживача, зберігання замовлень, та планування доставки дронами. Також було розглянуто юридичні обмеження роботи запропонованої системи.

Ключові слова: мультикоптер, дрон, доставка, клієнт-серверна архітектура, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Мороз Б. И., Антипов А.А., Журавлев В. С. Автоматизированная система доставки медикаментов с помощью беспилотных летательных аппаратов (мультикоптеров) по запросу потребителя. Представлен концепт системы доставки медикаментов с помощью беспилотных летательных аппаратов. Предложена архитектура системы автоматической диспетчеризации заказов от потребителя, хранения заказов, и планирование доставки дронами. Также были рассмотрены юридические ограничения работы предложенной системы.

Ключевые слова: мультикоптер, дрон, доставка, клиент-серверная архитектура, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Moroz B., Antipov A., Zhuravlev V. Automated system for the delivery of medical supplies using unmanned aerial vehicles (multicopter) at the request of the consumer. The concept of medical supplies delivery system using unmanned aerial vehicles is presented. The architecture of the system of automatic dispatching orders from the consumer, storage of orders, and scheduling delivery by drones are proposed. The legal limitations of the proposed system were also considered.

Keywords: multicopter, drone, delivery, client-server architecture, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Вступ та огляд досліджуваної проблеми. Доставка товарів для споживачів за допомогою безпілотних літальних апаратів є трендом, актуальним для всього світу. Першими, хто звернув увагу на це питання була американська компанія Amazon, перші звістки про плани компанії розпочинати доставку повітрям за допомогою безпілотних літальних апаратів були надані головним виконавчим директором Джеффом Безосом (Jeff Bezos) першого грудня 2013 року в інтерв'ю передачі "60 minutes". Ця програма мала назву Amazon Prime Air, а першу успішну доставку було виконано 7 грудня 2016 року [1].

Окрім Amazon доставками за допомогою БПЛА зацікавлено багато світових компаній: DHL, Swiss Post, Google, FedEx [2].

Аналіз попереднього досвіду розробки схожих систем. Доставка ліків або медичного устаткування та інструменту вивчається та тестується у багатьох країнах світу.

Так, у 2014 році студент Делфтського технічного університету Алекс Момонт розробив дрона, за допомогою якого можна доставляти дефібрилятор та по відеозв'язку проводити інструктаж з реанімації хворої людини [3].

У 2015 році федеральне управління цивільної авіації Сполучених Штатів Америки надало дозвіл на доставку ліків до однієї з сільських клінік [2].

У 2016 році уряд Руанди (країна в центральній Африці) сумісно з компанією Zipline International Inc розпочинає доставку медикаментів та крові для переливання [4].

У березні 2017 року компанія Swiss Post починає співпрацю з аерокосмічною компанією Matternet для запуску першої медичної мережі доставки медикаментів за допомогою БПЛА [2].

У жовтні 2017 року починається співпраця двох компаній: Flirtey - що спеціалізується саме на доставці дронами, та REMSA Health - компанії, що спеціалізується на постачанні

невідкладної допомоги. Мета співпраці - розробка системи доставки портативних дефібриляторів, за сигналом вд911 [5].

Доставка товарів дронами в Україні. Наразі, це питання досліджується двома компаніями-лідерами з доставки вантажів: "Нова пошта" та "Укрпошта". З 2016 року "Укрпошта" веде співпрацю з ізраїльською компанією Flytrax з метою впровадження доставки товарів дронами на території України. 1 червня 2018 року "Укрпошта" здійснила успішний тестовий політ. Дрон здатний переносити вантаж до 3-х кг, та на відстані до 23-х км, за день такий дрон здатний здійснити до 10 доставок. Як заявляє керівник "Укрпошти" Ігор Ткачук, безпілотник адаптований до різних кліматичних умов, тому він буде ефективно працювати як в літню спеку, так і взимку [6]. Також, під час прес-конференції у 2017 році керівники "Нової пошти" заявляли що ведеться тестування міжгородньої доставки дронами [7].

Попри всі зусилля компаній, усі системи знаходяться на рівні прототипів, та поки що не доступні для споживача.

Доставка медичних препаратів дронами в Україні. Немає жодних даних про розробку систем доставки медикаментів або надання медичної допомоги в Україні. Але, це актуально для України.

Переваги доставки дронами. Незалежно від моделі дрона, такий спосіб доставки має багато переваг перед традиційними засобами доставки: Найвагоміші перелічено нижче:

- незалежність від рельєфу;
- незалежність від транспортної інфраструктури;
- швидкість доставки;
- висока точність доставки за допомогою GPS датчиків;
- висока енергоефективність;
- майже повна відсутність шкоди навколишньому середовищу;
- менша вартість у порівнянні з іншою технікою для доставки.

Недоліки доставки дронами. Незважаючи на багато переваг, такий метод небездоганий, та має свої недоліки:

- низька вантажопідйомність (до 6 кг). Але з плином часу максимальна вантажопідйомність зростатиме;
- обмеження часу роботи, та його залежність від завантаженості дрона (вантажний дрон DJI S1000 здатен пролетіти з максимальним навантаженням в 6 кг приблизно 16 хв., без навантаження 30 хв.);
- обмеження радіусу дії;
- складність завантаження та розвантаження дрона;
- складність забезпечення безпеки: дрон можна викрасти, або перехопити керування.

Юридичні обмеження використання безпілотних літальних апаратів на території України. Окрім деяких недоліків таких систем існує багато юридичних складностей щодо використання дронів: чинним законодавством України заборонено польоти біля відомчих будівель та аеропортів, також державна авіа служба забороняє польоти в деяких, спеціально визначених зонах. Ці зони нанесено на мапу, та вони періодично поновлюються [8]. Заборонені польоти вище 120 м., та польоти над скупченнями людей та над місцями щільних забудов. Також регламентована максимальна допустима відстань зближення з перехожими, для однієї людини це 30 метрів, для дитини це 50 метрів, для групи осіб це 150 метрів.

При неможливості прокладання маршруту з урахуванням юридичних обмежень, має бути отримано спеціальний дозвіл, для отримання дозволу потрібно звернутися з листом в довільній формі за разовою заявкою до Украероцентру за 10 робочих днів до виконання польоту.

Завдяки технічному прогресу, дрони входять до повсякденного життя, уряд країни поступово спрощує законодавчі аспекти використання безпілотників. Для більш надійної та простої роботи системи пропонується внести правки до процедури отримання дозволу на польоти, а саме ввести автоматизовану електронну систему, замість існуючої зараз.

Концептуальна модель.

Основні поняття з якими працює система:

- товар: медикамент, що доступний для замовлення. Має опис, ціну, список складів з яких доступний для замовлення;
- замовлення: включає в себе один чи більше товарів, бажану дату доставки, обраний склад, з якого виконуватиметься доставка, інформація про замовника, статус виконання замовлення.

Вищезазначені поняття є основними, та наведені для розуміння роботи системи.

Система будується на клієнт-серверній архітектурі, та складається з таких елементів:

- клієнтська програма (мобільний додаток, веб сайт);
- сервер:
 - диспетчер (автоматизоване ПЗ);
 - сховище даних з замовленнями;
 - модуль розрахунку польотних місій;
 - модуль розподілення замовлень за доступними дронами;
 - наземна станція для обробки даних телеметрії .
- дрон;
- парк дронів;
- постачальник товару (лікарня, аптека, амбулаторія);
- склади, для зберігання товару та навантаження дрона;
- станції з технічного обслуговування дронів.

Схематично система зображена на рис. 1.

Для обслуговування системи потрібен наступний персонал:

- адміністратор веб-серверу;
- технічна підтримка користувачів;
- менеджери для керування поставками медикаментів;
- спеціалісти для завантаження дрона посилками;
- технічні спеціалісти для обслуговування дронів;
- виїзна бригада спеціалістів на випадок аварії дрона.

Дрон має бути обладнаний польотним контролером «наприклад Arduino або Raspberry» для більш простого налаштування та програмування польотних режимів. Контролер виконує роль головної обчислювальної одиниці дрону. Вони керують живленням двигунів, їх обертами, стабілізують апарат у повітрі. Крім цих базових функцій, контролер може бути доповнений додатковими, наприклад: повернення до точки старту, утримання заданої висоти, автоматична посадка. Найбільш важливою функцією для автоматичної системи доставки є слідування за заданим маршрутом за допомогою GPS-навігатора. На роль такого добре підходить APM 2.8 [13], що має всі вищезазначені функції, та навіть більше.

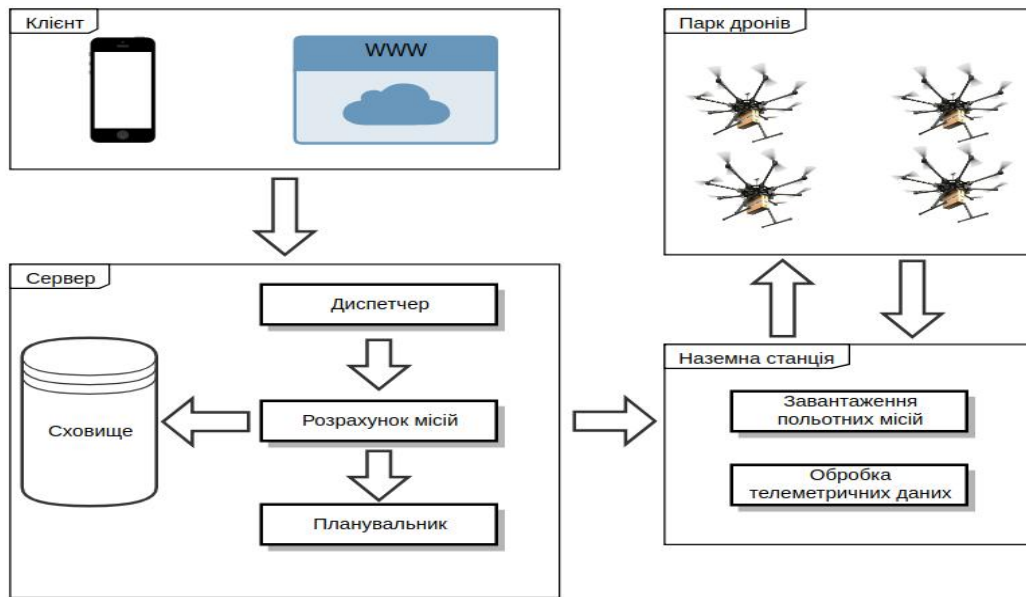


Рис. 1. Схематичне зображення системи автоматизованої доставки дронами.

Також необхідно два модулі: модуль GPS для орієнтування дрона в просторі, та радіомодуль для збору телеметрії (поточних координат, швидкості, висоти, та ін.) та завантаження польотних завдань. Польотне завдання має вигляд масиву, що складається з GPS - точок маршруту для доставки. Завантаження польотного завдання виконується через модуль телеметрії, за допомогою відкритого програмного забезпечення Mission Planner GCS, як показано на рис. 2. Це програмне забезпечення для налаштування та керування літальними апаратами на основі контролерів APM, розповсюджується за ліцензією GNU GPL V3, отже може бути вільно модифіковане для потреб системи [9].

Забезпечення безпеки даних. Також важливе питання безпеки даних, що передаються від клієнта до сервера, та даних, котрими обмінюються дрон з базовою станцією. Як було зазначено вище, можливість викрадення дрону та (або) даних є одним з суттєвих недоліків такої системи.

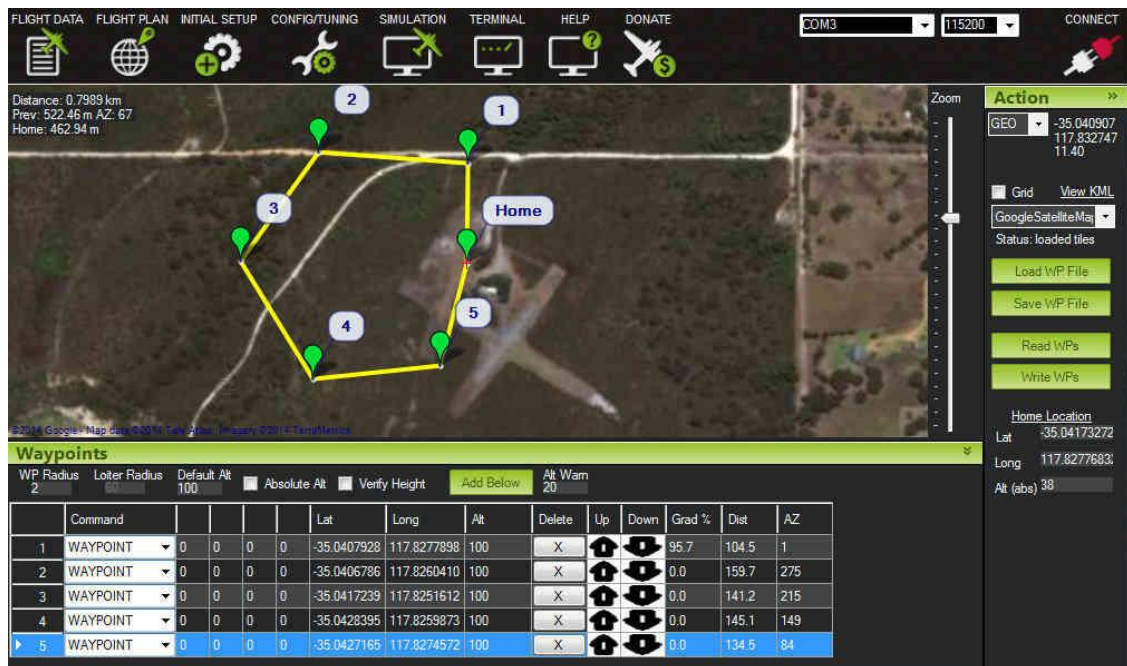


Рис. 2. проектування польотного завдання у Mission Planner

Для безпечної передачі даних пропонується використання HTTP з криптографічними протоколами SSL/TLS (HTTPS) [10].

TLS — криптографічний протокол, побудований на основі SSL 3.0, що шифрує інтернет трафік усіх видів для безпечної передачі даних: навігації, отримання інформації, спілкування, обміну файлами, або для отримання пошти. Якщо SSL налаштований коректно, то сторонній спостерігач може дізнатися лише параметри з'єднання, наприклад тип використовуваного шифрування, а також частоту пересилання і приблизну кількість даних, але не може читати і змінювати їх. Перед тим, як почати обмін даними через TLS, клієнт і сервер повинні узгодити параметри з'єднання, а саме: версія використовуваного протоколу, спосіб шифрування даних, а також перевірити сертифікати, якщо це необхідно.

Найбезпечніший метод шифрування - це асиметричне шифрування. Для цього потрібно 2 ключа, 1 публічний і 1 приватний. Це файли з інформацією, які містять, як правило, дуже великі числа. Публічний ключ використовується для шифрування даних, тоді як приватний - для розшифрування. Два ключа пов'язані за допомогою складної математичної формули, яку складно зламати. Можна уявити публічний ключ як інформацію про місцезнаходження закритої поштової скриньки з отвором, і приватний ключ як ключ, який відкриває ящик. Той, хто знає, де знаходиться ящик, може покласти туди лист. Але щоб прочитати його, людині потрібен ключ, щоб відкрити ящик. Сервер і клієнт повинні домовитися про один ключі сесії, який вони будуть використовувати, щоб зашифрувати пакети даних. Перед тим, як розпочати захищений обмін інформацією, клієнт та сервер мають узгодити алгоритм шифрування та відповідний ключ. Це відбувається під час процедури «рукоштовання» — відкриття сеансу зв'язку [11].

TLS включає три основні фази:

- Діалог між сторонами, метою якого є вибір алгоритму шифрування;
- Обмін ключами на основі криптосистем з відкритим ключем або ж автентифікація на основі сертифікатів;
- Передача даних, що шифруються за допомогою симетричних алгоритмів шифрування.

Для підпису TLS-сертифікатів зазвичай використовують криптосистему RSA (Rivest, Shamir та Adleman) яка виконується в 3 етапи: генерації ключів, шифрування, розшифрування. Безпека алгоритму RSA заснована на тому, що факторизація великих цілих чисел досить складний і дорогий обчислювальний процес. RSA використовується вже більше 30 років і вважається безпечним процесом шифрування.

Генерація ключа за допомогою RSA відбувається наступним чином [12]:

1. Обираються два різних випадкових простих числа P і Q , для забезпечення безпеки числа повинні бути не менше 1024 біт;
2. Обчислюється їх добуток $n = p \cdot q$, це називається модуль;
3. Обчислюється функція Ейлера від числа $\phi = (p - 1) \cdot (q - 1)$;
4. Обирається відкрита експонента e ($1 < e < \phi(n)$) взаємно просте зі значенням функції $\phi(n)$;
5. Обрати таке d , що $(e \cdot d) \bmod \phi(n) = 1$;
6. Пара (e, n) публікується в якості відкритого ключа RSA;
7. Пара (d, n) грає роль закритого ключа RSA і тримається в секреті.

Шифрування за допомогою RSA:

- Взяти відкритий ключ (e, n) адресата;

- Взяти відкритий текст m ;
- Зашифрувати повідомлення з використанням відкритого ключа відправника за формулою (1):

$$c = E(m) = m^e \bmod n; \quad (1)$$

- Відправити зашифроване повідомлення c адресату.

Розшифрування за допомогою RSA:

- Прийняти зашифроване повідомлення c ;
- Взяти свій закритий ключ (d, n) ;
- Застосувати закритий ключ для розшифрування повідомлення за формулою (2):

$$m = D(c) = c^d \bmod n. \quad (2)$$

Типовий сценарій замовлення (спрощено)

1. Користувач обирає найбільш зручний програмний клієнт (веб сайт, мобільний додаток);
2. За допомогою обраного клієнта обирає потрібний препарат;
3. Порівнюючи ціни та вартості доставки, обирає більш зручний склад, з якого доставлятиметься замовлення;
4. Обравши, виконує оплату зручним способом;
5. Диспетчер отримує замовлення, та направляє його на обробку;
6. Клієнт сповіщається про новий статус замовлення "В Обробці";
7. Перевіряється наявність ліків на складі;
8. Якщо ліки є в наявності, визначається оптимальний час виконання замовлення, замовлення зберігається в сховищі, розраховується оптимальний логістичний маршрут, та клієнт сповіщається про новий статус замовлення "В черзі до виконання";
9. Якщо ліків не виявилось в наявності, клієнт сповіщається про новий статус "Замовлення відхилено";
10. За настанням обраного часу для виконання замовлення оновлюється статус на "Підготовка для відправки";
11. Технічний персонал підготовлює дрон для польоту;
12. Персонал складу завантажує товари для доставки у дрон;
13. Клієнт сповіщається про новий статус замовлення "Товар прямує до вас";
14. Дрон вилітає за розрахованим маршрутом;
15. Клієнт в режимі он-лайн (інтерактивна карта) сповіщається про переміщення дрона;
16. При подоланні 75% шляху, клієнт сповіщається про необхідність прийняти замовлення;
17. По прибутті на місце, дрон за допомогою безпечного маніпулятора спускає замовлення;
18. Відеокамера вмонтована в дрон фіксує факт отримання доставки клієнтом;
19. Клієнт сповіщається про новий статус замовлення "Доставлено";
20. Дрон повертається на склад, та проводиться необхідне обслуговування літального апарату.

UML-діаграму випадків використання зображено на рис. 3.

Висновки та перспективи подальшого розвитку. Представлено комплексну систему для автоматизованої доставки медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів. Було проаналізовано попередній досвід розробки схожих систем, загалом були розглянуті світові та вітчизняні розробки. Також було детально розглянуто юридичні обмеження що можуть вплинути на роботу системи. Після проведеного аналізу недоліків та переваг такого методу доставки, було

запропоновано комплексну архітектуру системи доставки, що включає в себе отримання замовлень, планування та зберігання замовлень, та, власне, їх виконання.

У ході проведеного дослідження було виявлено світовий тренд у розробці таких систем, та зацікавленість українських компаній у дослідженні цієї теми. Не було знайдено жодної інформації про дослідження українських компаній в сфері доставки медикаментів за допомогою дронів, що робить можливим припущення про актуальність такої системи на території України.

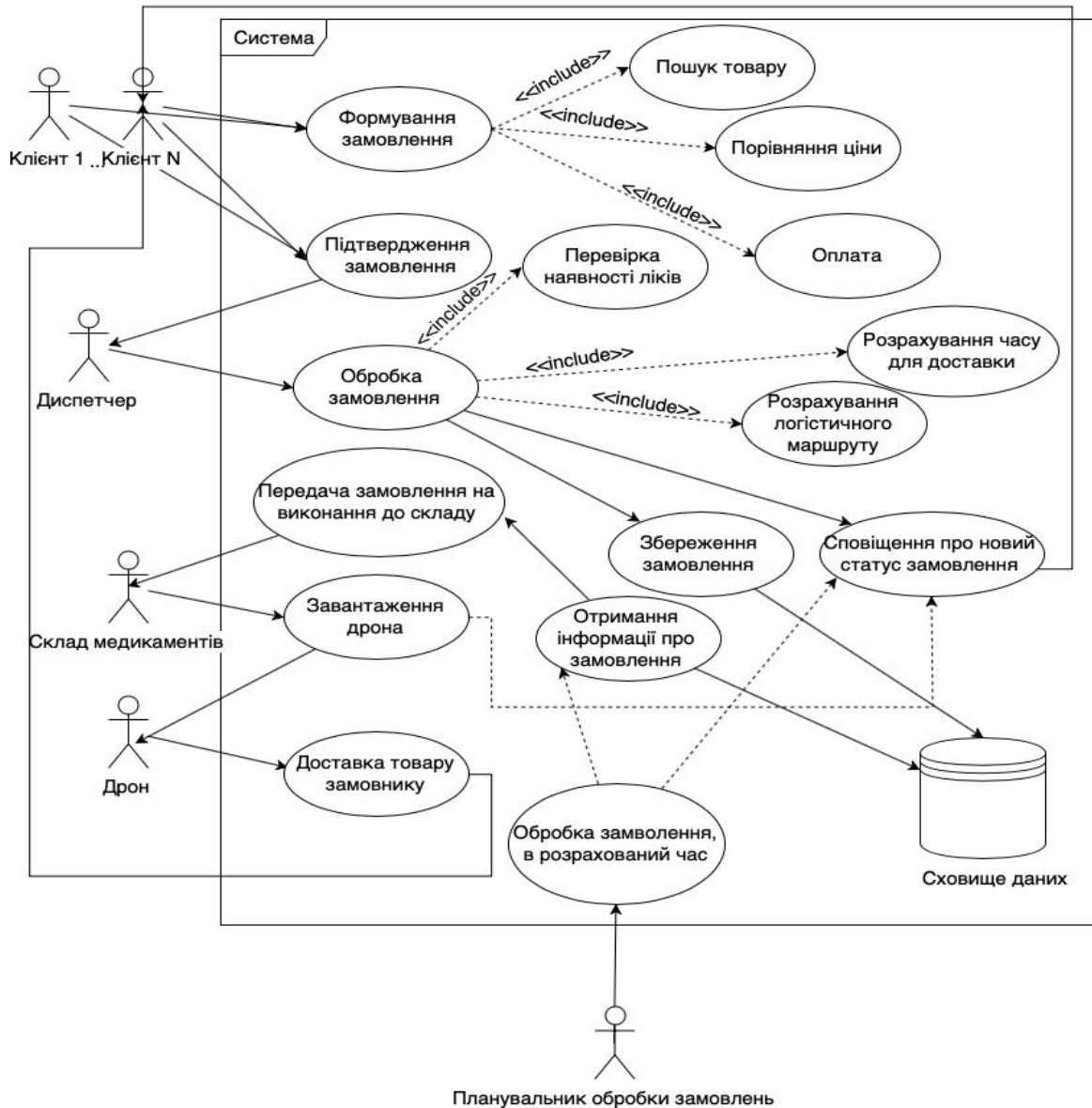


Рис. 3. Діаграма випадків використання концептуальної системи

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wikipedia, Amazon Prime Air. [Електронний ресурс] // URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Amazon_Air.
2. Wikipedia, Delivery Drone. [Електронний ресурс] // URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Delivery_drone.
3. Alec Momont, Ambulance Drone. [Електронний ресурс] // URL: <https://www.tudelft.nl/en/ide/research/research-labs/applied-labs/ambulance-drone/>.
4. The New Times, Zipline to start assembling drones in Rwanda [Електронний ресурс] // URL: <https://www.newtimes.co.rw/news/zipline-start-assembling-drones-rwanda>.
5. CNBC. Drones will deliver defibrillators to 911 callers to help treat cardiac arrest. [Електронний ресурс] // URL: <https://www.cnbc.com/2017/10/10/watch-flirtey-and-remsa-deliver-defibrillators-by-drone-to-911-callers.html>.
6. Укрпошта. Укрпошта тестує доставку пошти дронами [Електронний ресурс] // URL: <https://ukrposhta.ua/ukrposhta-testuye-dostavku-poshti-dronami/>.
7. Delo.ua, “Нова Пошта” тестує доставку посилок безпілотниками. [Електронний ресурс] // URL:

- <https://delo.ua/business/novaja-pochta-testiruet-dostavku-posylok-bespilotnikami-335168/>.
8. Державна авіа служба України, Зони заборон та обмежень використання повітряного простору. [Електронний ресурс] // URL: <https://avia.gov.ua/bezpilotni-povitryani-sudna-2/zoni-zaboron-ta-obmezhen-vikoristannya-povitryanogo-prostoru/>.
 9. Ardupilot. Mission Planner [Електронний ресурс] // URL: <http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-flight-data.html>.
 10. Wikipedia. HTTPS. [Електронний ресурс] // URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/HTTPS>.
 11. Ivan Ristic. Bulletproof SSL and TLS: Understanding and Deploying SSL/TLS and PKI to Secure Servers and Web Applications, Feisty Duck 2014.
 12. Bruce Schneier. Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C. 2nd edition. Wiley, 1993.
 13. Wikipedia. HTTPS. [Електронний ресурс] // URL: http://multicopterwiki.ru/index.php/ArduPilot_Mega .