

МІХАЛЕВСЬКИЙ ВІТАЛІЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8197-8005>e-mail: cezar_mv@ukr.net

СКРИПНИК ТЕТЯНА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8531-5348>e-mail: tkskripnik1970@gmail.com

ТИМЧУК МАРІЯ

Хмельницький національний університет

e-mail: mariyatumchuk@gmail.com

СИСТЕМА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗАМОВЛЕНЬ ПОВІТРЯНИМИ ТРАНСПОРТНИМИ ОДИНИЦЯМИ (ДРОНАМИ) У ДИНАМІЧНІЙ МЕРЕЖІ

В статті запропоновано підхід до перевезення замовлень повітряними транспортними одиницями (дронами) у динамічній мережі. Проблематика застосування дронів як транспортних одиниць у логістичній сфері перевезень з кожним роком набуває більшого значення. Ріст технологій змушує різного роду підприємства та організації залучатися до використання сучасного інформаційного та технічного забезпечення, щоб задовольнити потреби свого підприємства та скласти конкуренцію своїм опонентам. Тому, одним із наступних кроків у транспортній логістиці може стати саме використання дронів та супровідного програмного забезпечення для управління ними. Ідея впровадження доставки замовлень повітрям зараз лише на етапі становлення та її успішне застосування залежить від переліку факторів, одним з яких є використання програмного забезпечення для оптимальної роботи системи.

Принцип роботи полягає у наступному: компанія надає відкритий API-сервіс для створення запиту про доставку як і звичайним користувачем через додаток, сайт чи фізичне відділення, так і підприємцям та компаніям можливість інтегрувати API з своїм сервісом. Система логістики передбачає собою наявність центрів, де у кожному є наявність певної кількості транспортних засобів (дронів), їх поточну одиницю готових до роботи, максимальну та залучену до роботи кількість.

Напрямок практичного використання розробленого методу та засобів є автоматизація вибору оптимального маршруту доставки замовлення в динамічній мережі на основі хмарних технологій.

Ключові слова: доставка замовлень, безпілотний літальний апарат, дрон, транспортна логістика, логістичний центр.

V. MIKHALEVSKYI, T. SKRYPNYK, TYMCHUK MARIA

Khmelnitsky National University

SYSTEM OF TRANSPORTATION OF ORDERS BY AIR TRANSPORT UNITS (DRONES) IN A DYNAMIC NETWORK

The article proposes an approach to the transportation of orders by air transport units (drones) in a dynamic network. The issue of using drones as transport units in the logistics sector is becoming more important every year. The growth of technology forces various types of enterprises and organizations to engage in the use of modern information and technical support in order to meet the needs of their enterprise and compete with their opponents. Therefore, one of the next steps in transport logistics may be the use of drones and accompanying software for their management. The idea of implementing air delivery of orders is currently only at the stage of formation and its successful application depends on a list of factors, one of which is the use of software for optimal system operation.

The principle of operation is as follows: the company provides an open API service for creating a delivery request both by an ordinary user through an application, website or physical branch, and for entrepreneurs and companies to integrate the API with their service. The logistics system assumes the presence of centers, where each has a certain number of vehicles (drones), their current unit ready for work, maximum and involved in the work quantity.

The direction of practical use of the developed method and tools is the automation of the selection of the optimal order delivery route in a dynamic network based on cloud technologies.

Keywords: order delivery, unmanned aerial vehicle, drone, transport logistics, logistics center.

ВСТУП

Актуальність теми. Проблематика застосування дронів як транспортних одиниць у логістичній сфері транспортних перевезень з кожним роком набуває більшого попиту [1-4]. Ріст технологій змушує різного роду підприємства та організації залучатися до використання сучасного інформаційного та технічного забезпечення, щоб задовольняти потреби свого підприємства та скласти конкуренцію своїм опонентам. Тому, одним із наступних кроків у транспортній логістиці може стати саме використання дронів та супровідного програмного забезпечення для управління ними [4]. Використання такого роду забезпечення несе за собою проблему ефективного використання ресурсів та продуктивної роботи системи. Тобто, використання коптерів чи дронів при виконанні перевезення (доставки замовлення) має залежати від запроваджених інформаційних рішень (методів). Слід зазначити, що одними із прикладів, де можливе використання такого технічного та інформаційного забезпечення, можуть слугувати аптеки, супермаркети чи сервіси доставки їжі з існуючими логістичними системами, але там транспортною одиницею виступає автомобіль чи мопед. Для останніх проблема доставки дещо відрізняється, оскільки важливо забезпечити

пошук найкориснішого маршруту [5], який пройде через найбільшу можливу кількість точок видачі замовлень.

Саме тому, ідея впровадження доставки замовлень повітрям лише на етапі становлення та її успішне застосування залежить від переліку факторів, одним із яких (можливо найважливішим) є використання програмного забезпечення для оптимальної роботи системи. Тому розробка чи вдосконалення існуючих методів з метою оптимізації доставки замовлень, як у нашому випадку, є актуальною.

Транспортування часто є найбільшою витратою в логістиці, особливо, якщо воно не сплановано та реалізовано належним чином [3, 4]. Це також має великий вплив на терміни доставки та повернення інвестицій, особливо якщо товари пошкоджені під час транспортування. Незалежно від галузі, зростання транспортних витрат зазвичай призводить до зростання цін на товари.

Виклад основного матеріалу

Принцип роботи полягає у наступному: компанія надає відкритий API-сервіс для створення запиту про доставку як і звичайним користувачем через додаток, сайт чи фізичне відділення, так і підприємцям та компаніям можливість інтегрувати арі з своїм сервісом. Коли перший варіант здається цілком зрозумілим (пошта із запровадженням ІТ технологій), тоді як другий виглядає складним бізнес-процесом. Хоча обидва вони посилаються на сутність замовлення про доставку, і ціллю у цьому є автоматичне визначення найкоротшого і ефективного маршруту та представлення строків виконання замовлення.

Система логістики передбачає собою наявність центрів, де у кожному є певна кількість транспортних засобів (дронів), їх поточну кількість готових до роботи, максимальну та залучену до роботи кількості. Також, кожний такий центр має зв'язок з усіма іншими, в цьому і полягає основна суть алгоритму – коли один з центрів отримує замовлення, він поміщає один дрон у чергу польотів і далі повідомляє усі інші логістичні центри про його поточну кількість вільних коптерів. У відповідь центри реагують на цей меседж – вираховується відношення поточної кількості вільних на конкретному пункті коптерів та відстані до повідомника. Якщо на певному центрі немає активних замовлень, то він переходить у статус донора, і резервує певну кількість дронів, яку може віддати центру, у якого не вистачає транспорту. У статус донора можуть перейти кілька центрів, тоді вони всі посилають свою відповідь до логістичного пункту, який запросив допомогу, той у свою чергу дивиться на свій поточний статус - яка саме кількість йому потрібна у який проміжок часу, за допомогою цих параметрів вираховується коефіцієнт потужності. Якщо отримане число входить у межі певного діапазону, то центр відправляє запит про готовність отримати допомогу. Також деякі дрони можуть перебувати у стані повернення до центру, вони також можуть приймати участь у донорстві.

Таким чином, весь вище описаний процес нагадує собою фізику хвиль на воді, коли логістичний центр - це хаотично розташовані стовпчики у воді, а хвилі - це взаємодія між ними. Біля одного штучно створюється хвиля, а інші її віддзеркалюють з певною силою, величина хвилі залежить від товщини стовпчика (кількості дронів, густоти замовлень, відстані від відправника, запиту про допомогу).

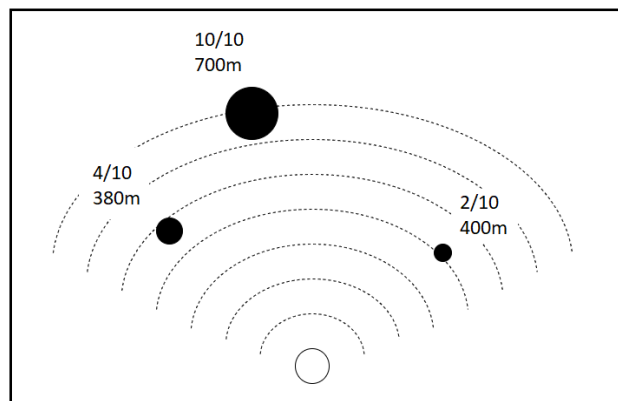


Рисунок 1 – Приклад відсилання повідомлення про зміну статусу логістичного центру

Інакше кажучи, використання методу хвильового поширення - це не тільки сам метод, а й динамічна логістична мережа, яка у свою чергу має виконувати бізнес-процеси та функції. Використання даного методу повинно пришвидшити та урегулювати потік. Сама модель є дещо спрощеною та відкидає ряд чинників, які були б важливими у реальній імплементації, такі як: погодні умови, перешкоди, заряд коптерів, фактична вага замовлення, особливості рельєфу тощо. Це дасть змогу краще дослідити роботу методу та в подальшому їх можна додати як критерії системи чи доставки.

Вихідними даними слугують лише координати новоствореного маркера доставки на карті, всі інші параметри вираховуються поступово. Виконанням роботи вважається успішна доставка замовлення та дислокація донорського дрону, якщо це буде необхідно. У розрізі роботи методу оптимізації доставки між логістичними центрами можна спостерігати життєвий цикл самого дрону від початку виконання замовлення до його завершення.

Сама ідея хвильового поширення передбачає імітацію поширення та обміну інформації у вигляді хвилі, як і первинний імпульс так і зворотній.

Первинний імпульс – псевдохвиля, яка відсилається від поточного пункту доставки після події

початку виконання замовлення одним із доступних дронів. Дана хвиля напрямлена на всі інші пункти та очікує зворотної хвилі (відводі).

Зворотна хвиля – симуляція відбивання хвилі, яка відповідає на запит про допомогу та у відповідь відправляє значення (оцінка ресурсу) про змогу надати допомогу. Відповідний приклад відправки зворотної хвилі зображено на рисунку 2.

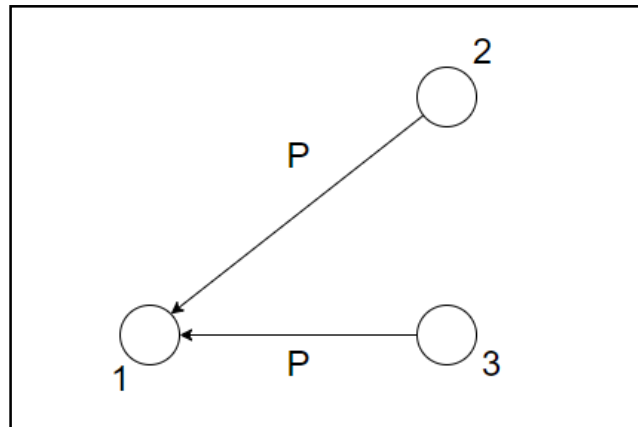


Рисунок 2 – Приклад відправки зворотної хвилі

Обробка зворотних відповідей – первинний пункт отримує відповіді від інших центрів та, якщо необхідно, приймає допомогу у вигляді одного дрону (всиновлює коптер).

Тому, все опирається в те, наскільки буде задовільна оцінка ресурсу, яка обраховується за формулою

$$P = W * SC / AC$$

де W – це відстань між пунктами первинним і вторинним, SC (start count) – початкова кількість дронів вторинного пункту та AC (available count) – поточна кількість доступних (вільних) дронів вторинного пункту.

Також слід зазначити, що обробка отриманого коефіцієнту означає вибір найменшого значення (у деяких випадках буде обертися вторинний пункт для донорства з більшою відстанню до первинного, але з більшою кількістю вільного транспорту). Таким чином відбувається регулювання навантаження.

Якщо кількість задіяних дронів поточного центру перевищує 50 відсотків, тоді відправляється фінальна хвиля до власника з найнефективнішою оцінкою ресурсів, за якою слідує процес донорства.

Основні критерії оптимізації:

- найшвидший шлях;
- найефективніший виконувач замовлення;
- мінімальний час затримки.

За даними критеріями вираховується коефіцієнти потужності зв'язку між логістичними центрами, за якими формується конкурентний ряд варіантів маршрутів та обирається варіант з найменшим значенням.

Простим використанням методу для оптимізації доставки замовлень можна спостерігати неоцінену, дещо хаотичну роботу системи. Отже, варто звернути увагу для застосування статистики, аналізу чи порівняльної характеристики. Тому буде використано свого роду імітацію виконання роботи користувача з системою, а саме: з певним інтервалом та у конкретних місцях на мапі будуть з'являтися маркери (замовлення з його координатами). Місця їх появи мають бути не хаотичними, а продуманими з метою імітування роботи логістичної системи у реальному житті. Скупчення логістичних центрів відносяться до певних районів псевдоміста. Зважаючи на це, у певний період доби навантаження на конкретні вузли буде різним. Через це, шаблон, який буде виконуватися при проведенні порівняльну характеристики роботи методу, повинен створити штучний затор на одному із вузлів. Оскільки до обов'язків вище поставленого методу входить регулювання навантаження та запобігання простою у виконанні замовлень. Саме порівняння буде з простим підходом, ближній виконує замовлення – використання лише найближчого центру та його ресурсів не несе за собою регулювання навантаження. Очікуваним результатом вважатиметься явне перебирання та швидкодія методу хвильового поширення, і тому, коли кількість замовлень перевищить ресурс одного з логістичних пунктів, прямолінійний підхід направить виконання замовлення до іншого найближчого пункту, коли ж методом буде прийнято рішення (якщо кількість вільних дронів сягнула менше 50%) збільшити ресурс поточного центру шляхом запиту про донорство (допомогу). Фактичним результатом можна вважати відношення затраченого часу до кількості завершених замовлень.

Безумовно, так зване регулювання є важливим аспектом у роботі методу, цим покриваються певні кейси. Розглянемо деякі приклади. Зображено два логістичних центри, котрі віддалені один від одного на певну відстань та розташовані з певною умовою до п'яти маркерів замовлення, тобто, перший розміщений на ближчій відстані до усіх маркерів, ніж другий. У прикладі використано три дрони на кожний центр та строшено п'ять замовлень з невеликим інтервалом. Отже, робота прямолінійним підходом буде виглядати наступним чином – кожне замовлення буде виконуватись найближчим центром за умови, що у нього є доступні коптери. Перші три замовлення виконає перший центр та використає усі свої ресурси, після чого

наступне замовлення виконуються другим центром.

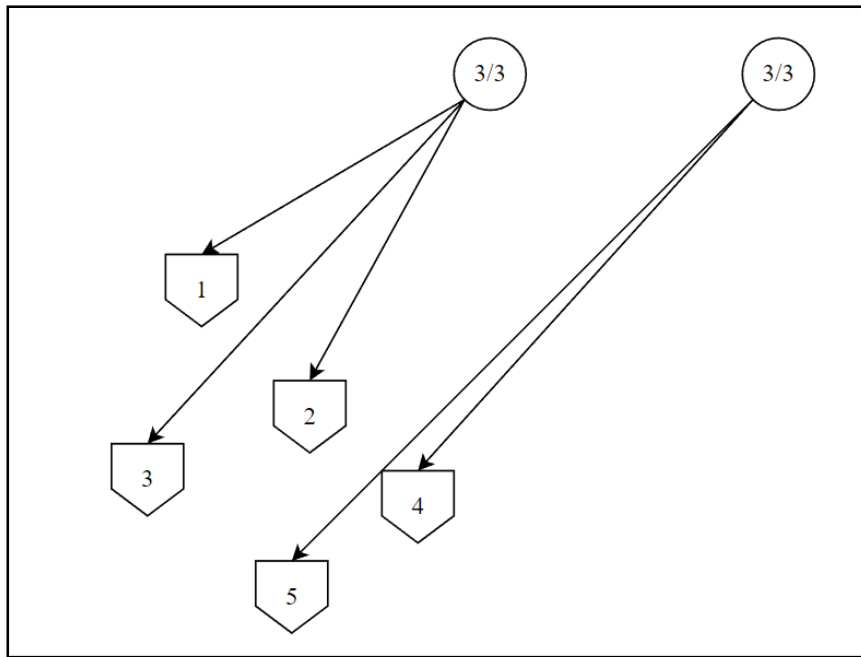


Рисунок 3 – Приклад виконання замовлень прямолінійним підходом

Даний кейс наглядно демонструє проблему перевантаження на конкретному пункті та має декілька простих шляхів вирішення. Або направлення виконання замовлення до іншого ближнього пункту, або ж очікування повернення дронів поточного. Ці рішення несуть за собою суттєвий недолік – збільшення часу виконання четвертого та п'ятого замовлення. Тому з такого роду проблемою справлятиметься метод хвильового поширення, під час створення другого замовлення повинна відправитися хвиля, для якої позитивна відповідь на прохання допомоги. Спостерігатиметься наступне розподілення ресурсів: перший пункт – два дрони у процесі, два вільних; другий пункт: два з трьох вільні. Потім знову з певним інтервалом після початку виконання третього замовлення та донорства спостерігатиметься наступна ситуація: перший центр – три дрони у процесі, два вільних; другий центр: один з трьох вільний. Отриманий результат розподілення дронів можна оцінити на рисунку 4.

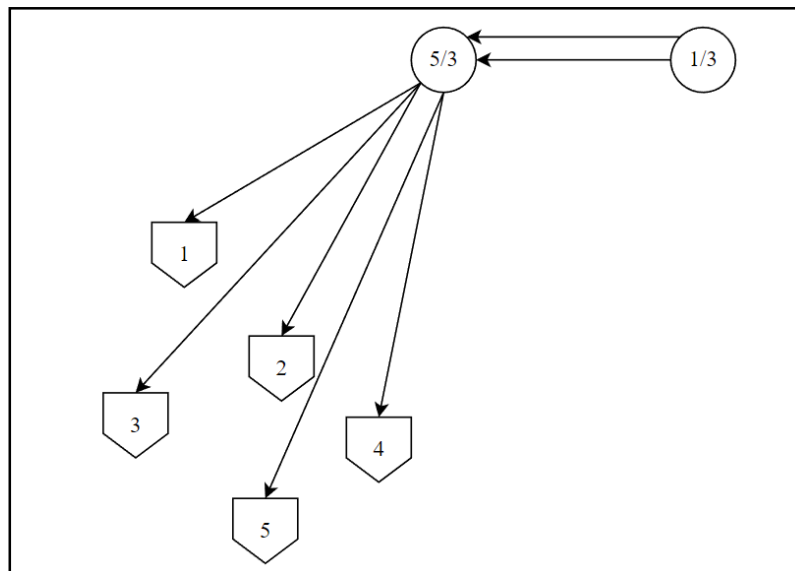


Рисунок 4 – Приклад перенаправлення ресурсів методом хвильового поширення

Отже, на базі розглянутого кейсу та прикладу його вирішення можна зробити висновок, що використання методу оптимальної доставки замовлень у динамічній системі можна знизити так званий час простою, тим самим виконати однакову кількість замовлень за менший проміжок часу.

Інформаційна система оптимізації доставки замовлень за допомогою дронів у динамічній мережі ґрунтується на свого роду взаємодії користувача із мапою. Тому, для роботи юзера з мапою слід встановити відповідну бібліотеку. У даному випадку, це буде google-maps пакет розширення для Angular 14, доступ до якого отримується виконанням наступних команд:

```
npm install @angular/google-maps
npm install @types/googlemaps
```

Після інсталяції слід підключити модуль гугл-карт до головного модулю ангуляр застосунку:

```
import { NgModule } from '@angular/core';
import { BrowserModule } from '@angular/platform-browser';
import { GoogleMapsModule } from '@angular/google-maps';
import { AppRoutingModule } from './app-routing.module';
import { AppComponent } from './app.component';
import { FormsModule } from '@angular/forms';
@NgModule({
  declarations: [AppComponent],
  imports: [BrowserModule, AppRoutingModule, GoogleMapsModule, FormsModule],
  providers: [],
  bootstrap: [AppComponent]
})
export class AppModule { }
```

Після підключення модулю мапи з'являється доступ функціоналу бібліотеки, тобто можна ініціалізувати мапу, сконфігурувати її важливі налаштування та встановити підписки на відповідні події. Програмний код для описаних дій:

```
<google-map height="800px" width="100%" [center]="center" [zoom]="zoom"
[options ]="mapOptions" (mapClick)="addMarker($event) ">
<map-marker *ngFor="let markerPosition of activeMarkers"
[position]="markerPosition.Position" [options ]="markerOptions">
</map-marker>
<map-marker *ngFor="let deliveryCenter of deliveryCenters"
[position]="deliveryCenter.position" [options]="deliveryCenterOptions">
</map-marker>
<map-marker *ngFor="let markerPosition of dronesCollection"
[position]="markerPosition.currentPosition" [options]="droneOptions">
</map-marker>
<map-polyline *ngFor="let vertice of vertices" [path]="vertice">
</map-polyline>
</google-map>
```

Однією з головних сутностей є логістичний центр, який має свої координати, за якими буде відображений на мапі. Для експерименту буде використано три пункти з певними параметрами широти та довготи. Ідея полягає у тому, щоб один логістичний центр був віддалений від двох інших, це дасть змогу наглядно побачити залежність вибору донора.

Далі потрібно реалізувати об'єкт дрону, кожен буде відноситись до відповідної колекції певного пункту. Клас повинен задовольняти поставлені вимоги, оскільки це відносно динамічний об'єкт, тому він повинен уміти змінювати своє місцеположення та зберігати координати. Також мати інформацію про статус – вільний, у процесі до, у процесі від - та інші поля такі як швидкість, кінцева точка доставки замовлення, ідентифікатор центру. Реалізація за наступним програмним кодом:

```
export class Drone {
  public centerId: number;
  constructor(
    public startPosition?: google.maps.LatLngLiteral,
    public marker?: Marker,
    public delta?: google.maps.LatLngLiteral,
    public resDelta?: number,
    public endPosition?: google.maps.LatLngLiteral,
    public currentPosition?: google.maps.LatLngLiteral,
    public markerGuid?: Guid,
    public status: DroneStatus = DroneStatus.ReadyToGo,
    public currentDelta: number = 0) {
  }
}
```

Створюється функціонал для запуску шаблонів користувачем, які представляють імітацію створення замовлень у наперед визначених місцях. Цим самим з'являється можливість провести дослідження у рівних умовах, з використанням методу хвильового поширення так і без. Створений шаблон буде імітувати штучно викликане перевантаження логістичних вузлів, у даному випадку певних пунктів. Також у користувача буде змога примусово зупинити та відновити процес імітації для спостереження різниці у вирішенні навантаження та регулювання його. Для побудови графіків створено інформаційне табло для відображення часу затраченого на певне замовлення від початку його створення і до виконання, часу від запуску шаблону до завершення замовлення та загально витраченого часу на виконання усіх замовлень. На базі цих даних можна побудувати графіки.

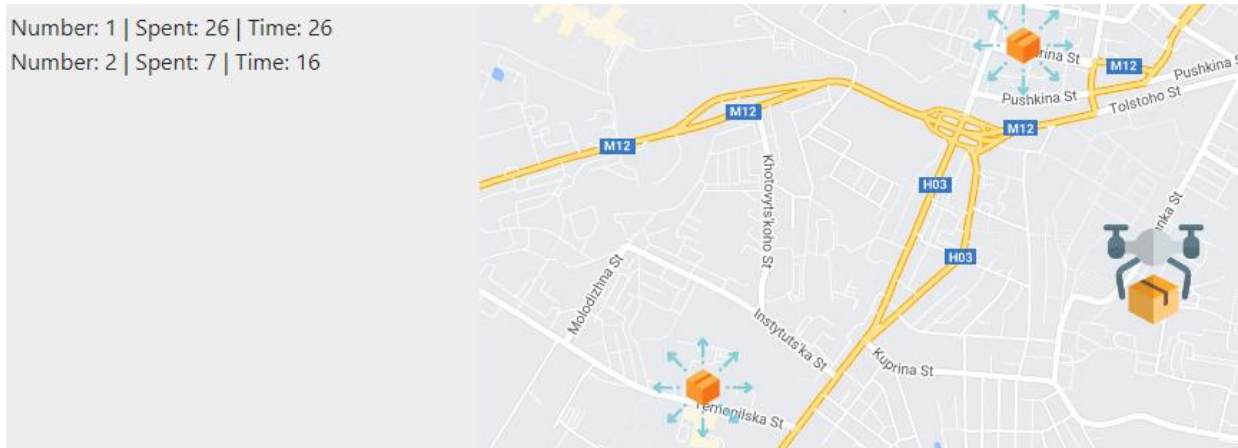


Рисунок 5 – Приклад виведення даних про затрачений час

На рисунку 5 можна спостерігати результати запуску першого шаблону з прямолінійним підходом, на яких загальний витрачений час на виконання усіх замовлень сягнув 142 секунди. Індивідуальні результати кожного замовлення подані в таблиця 1.

Таблиця 1

Індивідуальні результати виконання замовлень

№ п/п	Затрачений час на виконання замовлення (секунди)	Час від початку запуску шаблону до моменту виконання замовлення (секунди)
1	35	35
2	46	48
3	60	66
4	25	31
5	16	57
6	78	119
7	54	103
8	48	107
9	73	142

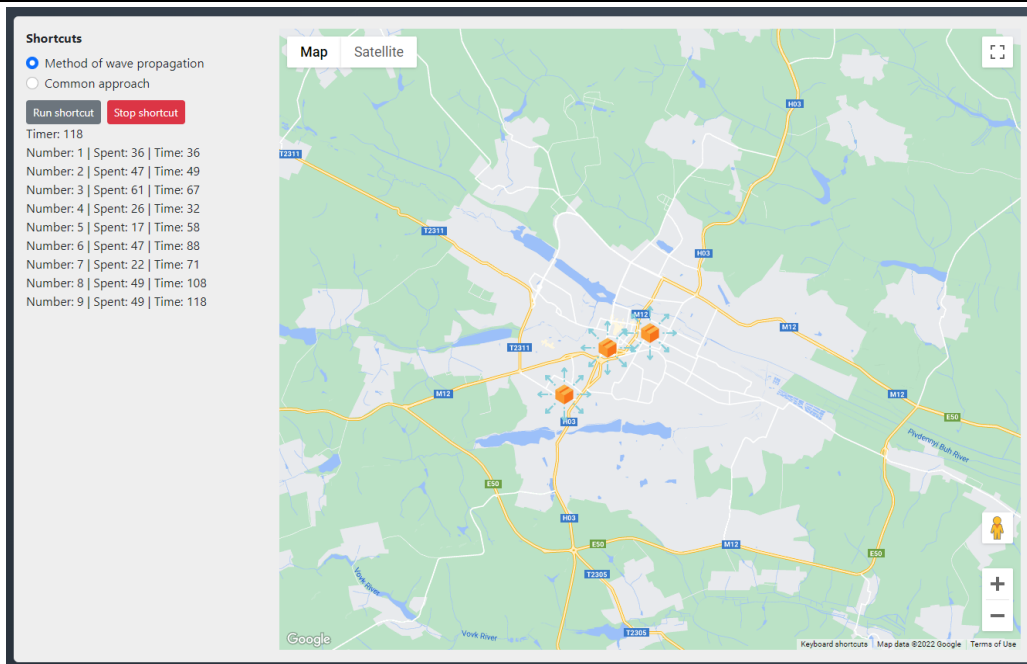


Рисунок 6 – Результати виконання шаблону з використанням методу хвильового поширення

Отже, в середньому виконання кожного замовлення, з використанням методу оптимальної доставки замовлень у динамічній мережі, проходить майже на 21% швидше.

Слід зазначити, що метод оптимізації виконання замовлень несе за собою новизну у галузі транспортної логістики, оскільки на даний момент немає прозорого рішення проблеми доставки дронами через ряд перешкод, з якими доводиться боротися на етапі проектування.

Висновки

Напрямок практичного використання розробленого методу та засобів є автоматизація вибору оптимального маршруту доставки замовлення в динамічній мережі на основі хмарних технологій. При використанні розробленого методу приймається за вихідне положення, що для вибору маршруту враховуються різні параметри замовлення, вузлів та наявного апаратно-технічного забезпечення в кожному центрі. Характерною ознакою розробленого методу автоматизованого вибору оптимального маршруту є те, що при його застосуванні ми опираємося на розроблений алгоритм доставки, що ґрунтується як на відкиданні параметрично неприйнятних маршрутів доставки, так і на запитах користувачу на встановлення параметрів доставки, що дозволяє в процесі роботи методу врахувати динамічну картину мережі. При повторному використанні методу можна прогнозувати оптимальний маршрут доставки на множині напрацьованих шаблонів доставки та критеріїв оптимальності.

Практичне використання розробленої системи для вибору оптимальної доставки замовлень виявило, що в результаті використання шаблону із застосуванням методу хвильового поширення загальний час виконання усіх замовлень порівняно із іншими методами доставки на 17% менший. А при застосуванні методу хвильового поширення із мінімізацією часу простою чи перенаправлення замовлення на інший (найближчий) пункт, в середньому виконання кожного замовлення з використанням методу оптимальної доставки замовлень у динамічній мережі проходить на 21% швидше.

Також, можливе удосконалення роботи методу оптимальної доставки замовлень, шляхом проведення додаткових випробувань на базі ряду кейсів. Покращення регулювання навантаження через впровадження окремого методу для оцінки необхідності донорства, тобто, перенаправлення дрону з одного центру до іншого.

Література

1. Bicmagazine.com. Напрямки вдосконалення логістичного бізнесу. URL: <https://www.bicmagazine.com/departments/maintenance-reliability/5-ways-to-improve-the-logistics-management-process>
2. Wikipedia.com. Транспортна логістика. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Транспортна_логістика
3. Fareye.com. Види маршрутів. URL: <https://fareye.com/resources/blogs/route-planning-in-logistics>
4. Genstattu.com. Переваги доставки дроном. URL: <https://genstattu.com/blog/what-are-the-pros-and-cons-of-drones-delivery>
5. Ланде Д.В. Візуалізація та аналіз мережових структур: навчальний посібник / Д.В.Ланде, Ю.І.Субач // ІСЗЗІ КПІ ім.Ігоря Сікорського. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. Вид-во «Політехніка», 2021. – 80 с.