

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

освітнього ступеня «Магістр»  
на тему:

**Удосконалення методики маршрутизації транспортних засобів з  
кількома поїздками та з часовими вікнами  
в умовах ПП «Каміон Сервіс»**

Студент групи АТ-61  
**Володимир БІЛИК**

Керівник \_\_\_\_\_ д.т.н., професор Мирослав ОЛІСКЕВИЧ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ доцент Олег СУКАЧ  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

Львів-2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Завідувач кафедри автомобілів  
і тракторів Львівського Національного університету  
природокористування  
\_\_\_\_\_ Олег СУКАЧ  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

ЗАВДАННЯ  
для магістерської роботи студентіві  
**Володимиру БЛИКУ**

Тема роботи «Удосконалення методики маршрутизації транспортних засобів з кількома поїздками та з часовими вікнами в умовах ПП «Каміон Сервіс»

затверджена наказом по університету від від **12.09.2024** р. №**616/к-с**

2. Термін подання студентом закінченої роботи „1” грудня 2024 р.

3. Початкові дані до роботи: *Огляд відомих досліджень за 5 останніх років. Параметри вхідних потоків замовлень. Техніко-експлуатаційні параметри парку АТЗ. Маршрути дрібногуртових і великогуртових перевезень. Властивості транспортної мережі*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх треба розробити)

1. *Огляд відомих досліджень.* 2. *Теоретичні дослідження.* 3. *Аналіз результатів проведених досліджень.* 4. *Розроблення заходів з впровадження системи динамічної маршрутизації.* 5. *Охорона праці і безпека в надвичайних ситуаціях. Висновки*

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
1,2 *Атрибути досліджень.* 3.*Стратегії обслуговування.* 4.*Динамічний сценарій.* 5.*Ескіз інформаційних потоків* 6. *Аналіз відомих методик маршрутизації та складання розкладів транспортних засобів показав, що при зростанні кількості замовлень, особливо незапланованих, вони стають неефективними за якістю результатів.* 7.*Класифікація замовлень* 8-10. *Застосування комп'ютерної програми* 11. *Тестова модель* 12. *Результати моделювання* 13. *Показники якості побудованих динамічних розкладів*

6. Консультанти роботи, із зазначенням розділів, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		Завдання видав	Завдання прийняв	
1, 2, 3, 4	Оліскевич М.С., д.т.н., професор кафедри автомобілі і трактори			
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата отримання завдання \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис)

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів МКР	Термін виконання етапів МКР	Примітка
1.	<i>Огляд відомих досліджень</i>	<i>до 01.10.24</i>	
2.	<i>Теоретичні дослідження</i>	<i>до 12.10.24</i>	
3.	<i>Аналіз результатів проведених досліджень</i>	<i>до 10.11.24</i>	
4.	<i>Розроблення заходів з впровадження системи динамічної маршрутизації</i>	<i>до 20.11.24</i>	
5.	<i>Охорона праці і безпека в надвичайних ситуаціях</i>	<i>до 28.11.24</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>до 28.11.24</i>	
7.	<i>Оформлення графічної частини роботи</i>	<i>до 28. 11. 24</i>	

Студент-дипломник \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Білик В. Удосконалення методики маршрутизації транспортних засобів з кількома поїздками та з часовими вікнами в умовах ПП «Каміон Сервіс». – Магістерська кваліфікаційна робота. Дубляни: ЛНУП, кафедра «Автомобілі і трактори». Дубляни, 2024. 74 с.

Магістерська робота присвячена удосконаленню контролю за виконання розкладу роботи автомобільних транспортних засобів на маршруті. При складанні розкладів застосовують прогнозування замовлень і на основі цього досягають мінімальних затримок транспортного процесу. Виконання їх задається, як правило, з часовими вікнами, які є певним резервуванням на невизначеність. Однак, чимало зовнішніх чинників є випадковими і можуть порушувати ці допуски, якщо є певний збіг обставин. У першу чергу, це є непередбачені прогнозом замовлення, які виникають, а також скасування відомих замовлень, які вже були включені у попередньо складений розклад. В першому розділі зроблено огляд відомих досліджень. Огляд відомих публікацій показує перевагу адаптивних методів для динамічного програмування, у порівнянні з неадаптивними підходами. Якщо потік даних є попередньо обробленим, то такий підхід до прийняття рішень дає середнє поліпшення 0-5%, тоді як гнучкі методи отримують до 10% поліпшення. Однак підходи до онлайн-рішень виявляють найкращу вигоду.

Предмет досліджень – вплив зміни умов перевезення на конфігурацію та властивості оптимальних маршрутів парку транспортних засобів.

Об'єкти дослідження – маршрути доставки великих гуртів вантажів на міській транспортній мережі мегаполіса.

Ключові слова: доставка вантажів, динамічне планування, часові вікна.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	8
1.1 Огляд стану питання в літературних джерелах і на практиці .....	8
1.2 Зміст задачі в теорії планування перевезень .....	19
1.3 Важливість інформаційного забезпечення для динамічної маршрутизації .....	21
1.4 Приклади задачі динамічної маршрутизації на практиці .....	24
1.5 Формулювання проблеми досліджень .....	26
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	27
2.1 Формулювання задачі .....	27
2.2 Застосування комп'ютерної програми побудови оптимального розкладу роботи вантажних автопоїздів на магістральній транспортній мережі .....	41
3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	48
3.1 Початкові дані для розрахунку.....	48
3.2. Результати моделювання .....	48
4 РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ З ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ .....	55
4.1 Архітектура інформаційної системи динамічної маршрутизації .....	55
4.2 Модуль створення сповіщень.....	58
4.3 Застосування динамічної маршрутизації в межах міста .....	59
5 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	62
5.1 Уможливлення безпеки руху.....	62
5.2 Маневри і безпека руху транспортних засобів.....	63
5.3 Дії водія при дорожньо-транспортній пригоді.....	64
ВИСНОВКИ .....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	68

## ВСТУП

У сучасних транспортних системах міжміської доставки великих гуртів вантажів час став дуже вагомим ресурсом. Це пов'язано із зростанням вантажообігу, значною конкуренцією автотранспортних підприємств, обмеженнями режимів експлуатації автопоїздів та роботи їх екіпажів. З іншого боку, застосування інтелектуальних транспортних систем вимагає ретельнішого підходу до аналізу оперативної інформації, прийняття рішень та контролю за їх виконанням. Організація автомобільних перевезень має певні особливості, які підвищують проблему продуктивності парку вантажних автомобілів. Це, по-перше, – значна віддаль від пунктів відправлення до приймання вантажів, при якій тривалість усього процесу залежить від моменту відправлення і прибуття автопоїзда у місце доставки вантажу. По-друге, це – марний пробіг автомобілів, який значно здорожчує транспортування, тому перевізники не можуть його допускати. І по-третє це – широкий географічний розподіл пунктів утворення і поглинання вантажопотоків, через який розроблення і дотримання розкладу має вагомі обмеження. У зв'язку з цим особливої уваги потребує удосконалення контролю за виконанням розкладу їх роботи. При складанні розкладів застосовують прогнозування замовлень і на основі цього досягають мінімальних затримок транспортного процесу. Виконання їх задається, як правило, з часовими вікнами, які є певним резервуванням на невизначеність. Однак, чимало зовнішніх чинників є випадковими і можуть порушувати ці допуски, якщо є певний збіг обставин. У першу чергу, це є непередбачені прогнозом замовлення, які виникають, а також скасування відомих замовлень, які вже були включені у попередньо складений розклад. Неможливо також передбачити достовірно зміну тривалості операцій доставки вантажів, затори і зменшення пропускної спроможності автомагістралей, відмови та з'їзд з

маршрутів автотранспортних засобів. Врахування, або ігнорування цих факторів і внесення змін у попередній розклад може знизити ефективність перевезень.

Метою цих досліджень було удосконалення методики побудови маршрутів і розкладів руху транспортних засобів на магістральній транспортній мережі з врахуванням ускладнення обставин і вимог до виконання перевезень.

Предмет досліджень – вплив зміни умов перевезення на конфігурацію та властивості оптимальних маршрутів парку транспортних засобів.

Об'єкти дослідження – маршрути доставки великих гуртів вантажів на міській транспортній мережі мегаполіса.

# 1 ОГЛЯД ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Огляд стану питання в літературних джерелах і на практиці

Питанням маршрутизації транспортних засобів вчені приділяли увагу впродовж уже понад 50 років [1]. Задачі, які розв'язувались ними, поступово ускладнювались з метою наблизитись до реальних умов транспортування пасажирів та вантажів. В останні роки спостерігається зростання інтересу до задач динамічної маршрутизації, так само, як і складання он-лайн розкладів для операторів транспортного процесу [2]. Це пов'язано із зростанням обсягу доступних даних, водночас, удосконаленням засобів передачі та обробки інформації, яка стала рушійним фактором в організації керування процесом. Головним наміром дослідників є забезпечити надійні й достовірні розв'язки задачі маршрутизації, які змінюються в часі.

Застосування інформаційних і телекомунікаційних технологій перетворило методологію складання розкладів у вузьке місце, враховуючи випадкові фактори. Так, зокрема, в статті [14] показано, що використання великої кількості сенсорів, розпаралелення процесу та впровадження хмарних технологій в керуванні транспортом значно збільшує потік інформації, яку обробляють застарілими методами. Тому прихід інтелектуальних технологій на транспорті стримується чинною методологією, яка домінує.

Загальний огляд формулювань різних задач маршрутизації був зроблений в публікаціях [1,5-7,9,10]. Маршрутизацію транспортних засобів відносять до задач комбінаторного аналізу і поділяють за доступністю й вірогідністю інформаційних потоків на статичну, динамічну і стохастичну. Статична маршрутизація була досить повно опрацьована вченими, однак її розв'язування втрачають актуальність у зв'язку із переходом транспортних диспетчерів на оперативні методи контролю [3]. Крім того, чимало видів задач статичної маршрутизації не можуть бути розв'язані методами, які дають достатньо точне і ефективне рішення. На практиці, розв'язавши статичну задачу планування маршрутів і розкладів, перевізники все одно мусять застосовувати резервування провізних спроможностей парків



автотранспортних засобів (АТЗ), а зустрівши непередбачені обставини, зазнають чималих економічних втрат. У сучасних виробничих ситуаціях відбуваються події, під час планування транспортного процесу, або тоді, коли цей план вже виконується. Питання про те, враховувати їх, чи ігнорувати, і як врахування нових подій вплине на якість попередньо прийнятого плану ще більш ускладнює задачу маршрутизації, приводить до більшої невизначеності. Тому виник клас задач динамічної маршрутизації, який ще називають он-лайн задачами реального часу, зміст яких полягає в корегуванні попередньо складеного оперативного плану відносно змінних обставин. Вперше такі задачі було сформульовано, і зроблено їх початковий огляд в роботі Псарафтиса у 1988 році [11]. В роботах Larsen і Madsen [14], Jaillet and Wagner [3], Schorpp [2] and Pillac запропоновано було різноманітні алгоритми розв'язування задач динамічної маршрутизації. Однак, усі вони застосовували методи, які раніше, зі змінним успіхом застосовувались до статичних задач. Це були методи найближчого сусіда [5], метод табу на окрему множину рішень [12], інші евристичні та метаевристичні методи, докладний огляд яких зроблено в праці [9].

У міру зростання потоку інформації методи динамічної маршрутизації з врахуванням фактору часу, а саме часових допусків, так званих часових вікон, запропоновані Larsen і Wagner стають менш ефективними. Це було вказано і в роботі Larsen [10], де він показав, що зростання обсягу замовлень, які потрібно виконати, так і зростання незапланованого обсягу, коли процес уже виконується, ґрунтовно впливає на нові рішення. Розмір горизонту планування у цьому випадку вже не відіграє такої ключової ролі, як для невеликих обсягів замовлень і невеликих парків транспортних засобів. Тому дослідник запропонував застосовувати сортування замовлень з врахуванням терміновості їх виконання і витрат часу для цього. Також у його роботах [14], а також в роботах Karsten, Lund і Rygaard [15] було запропоновано оцінювати задачу маршрутизації та складання розкладу за ступенем динамізму. Це є оцінкою потоку позапланових подій по відношенню до запланованих. Вона

може бути успішно використана для вибору відповідного алгоритму розв'язання.

Що стосується задач стохастичної маршрутизації, то вони, переважно, стосуються випадкових чинників, які приводять до непередбачених змін тривалості руху, простою та очікування. Достатньо повний огляд сучасних розробок у методології цього напрямку зроблено в праці Ulrike Ritzinger, Jakob Puchinger, Richard F. Hartl [9]. В більшості випадків при наявності випадкових часових факторів, заплановані маршрути не змінюються, або не оновлюються після реалізації, тому стохастичну маршрутизацію часто називають апіорною оптимізацією.

Категорія динамічних і стохастичних задач динамічної маршрутизації призвела до збільшення наукових інтересів впродовж останніх років. Завдяки останнім досягненням інформаційних та комунікаційних технологій, цей новий клас проблем дозволяє більш точно обробляти реальні потоки даних. Перевагою є те, що крім ефективної обробки динамічних подій розглядається стохастичне знання про виявлені події. Flatberg, Pillac та інші [20] здійснили огляд задач такого змішаного типу, але основну увагу вони приділили, власне, динамічним задачам, тоді як Ritzinger та Puchinger [9] дають огляд динамічних задач маршрутизації, але з виключним акцентом на різних гібридних методах, застосованих до цієї царини.

Існує декілька підходів до класифікації алгоритмів комбінаторної оптимізації, які застосовуються при маршрутизації транспортних засобів. Основні класифікаційні ознаки – точність, тип простору розв'язків, структура обчислювальної схеми тощо [1, 7].

Так за точністю алгоритми поділяються на точні, які знаходять глобальний розв'язок, наближені та евристичні алгоритми. Наближені алгоритми можна розділити на власне наближені алгоритми, які не лише знаходять розв'язок з певною точністю, а і дозволяють дати певні його оцінки, та евристичні алгоритми, які будуються на основі правдоподібних міркувань, хоча і не дають ніяких оцінок знайденому розв'язку [3]. Серед

сучасних наближених оптимізаційних методів розв'язання задач дискретної оптимізації перспективним вважають метаевристичні. Метаевристика – це гібридний метод розв'язування задач шляхом такого комбінування відомих процедур, при якому одна виступає провідною, а інша (чи декілька інших) – як підпорядкована. У якості як провідної, так і підлеглих процедур зазвичай виступають деякі відомі евристики чи інші алгоритми. За складністю структури алгоритми оптимізації дискретних структур можна виділити прості алгоритми, гібридні алгоритми, метаевристики, гібридні метаевристики, гіперевристики.

Найбільш вдало у роботі [8] авторами розглядається проблема динамічної маршрутизації транспортних засобів і пропонується стратегія розв'язання, заснована на парадигмі системи мурашиних колоній. Метод був протестований на наборі тестів, які ми визначили, починаючи з набору широко доступних проблем. Результати обчислень підтверджують ефективність та ефективність запропонованої стратегії.

У чималій кількості робіт, зокрема в Franklin T. Hanshar·Beatrice M. Ombuki-Berman [11] представлена методологія генетичного алгоритму для розв'язування задачі динамічної маршрутизації. Ефективність запропонованого алгоритму оцінюється з використанням набору показників, знайдених в літературі. У порівнянні з підходом для пошуку табу, реалізованим у вищезгаданих роботах, автором запропонована методологія генетичних алгоритмів (ГА), яка краще виконує функції мінімізації витрат на поїздки. Однак, використання ГА потребує великого обсягу навчальних даних і їх застосування стримується необхідністю тренувальних циклів.

Огляд відомих публікацій показує перевагу адаптивних методів для динамічного програмування, у порівнянні з неадаптивними підходами. Якщо потік даних є попередньо обробленим, то такий підхід до прийняття рішень дає середнє поліпшення 0-5%, тоді як методи на основі ГА отримують до 10% поліпшення. Однак підходи до онлайн-рішень виявляють найкращу вигоду [9].

Ймовірнісна задача маршрутизації. Берцимас та інші [4] описують ймовірнісну задачу маршрутизації транспортного засобу (ЙЗМТЗ) як стандартну задачу комівояжера, але з вимогами, які мають ймовірнісний характер, а не детермінований. ЙЗМТЗ є надзвичайно складною проблемою для вирішення. Берцимас надає рекурсивний вираз для знаходження об'єктивного значення, що також є дуже складною проблемою. Bertsimas також надає межі та асимптотичний аналіз і кілька політик повторної оптимізації для ЙЗМТЗ.

В роботі [4] автори пропонують дві різні стратегії обслуговування клієнтів. Відповідно до стратегії А АТЗ відвідує всіх клієнтів у тому ж фіксованому порядку, що й у апріорній послідовності клієнтів, які потребують обслуговування в цей день.

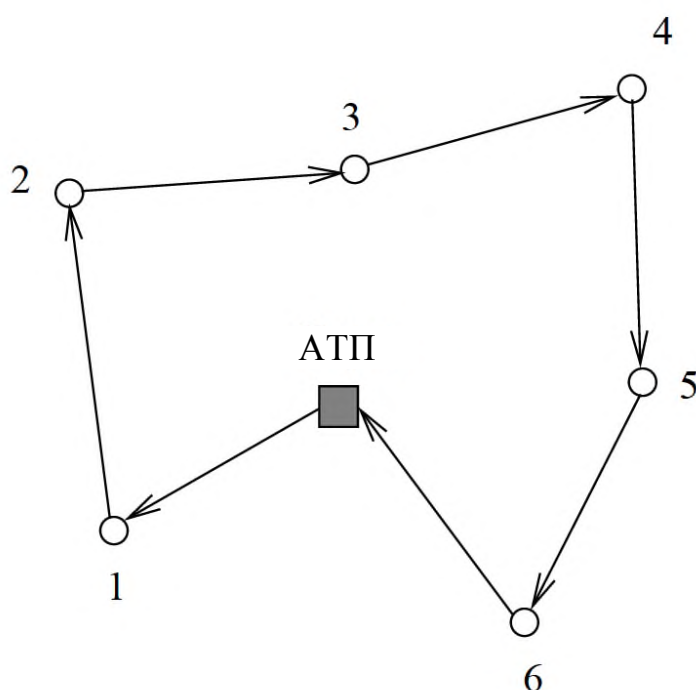


Рисунок 1.1 – Апріорний маршрут

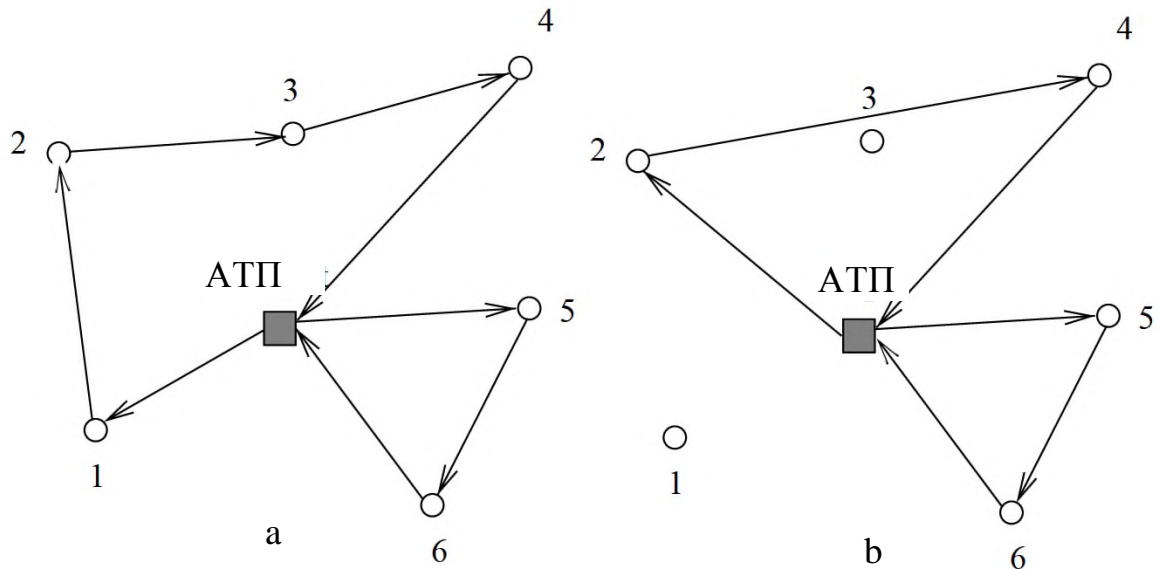


Рисунок 1.2 – (а) Фактичний маршрут, коли використовується стратегія А.  
 (б) Фактичний маршрут, коли використовується стратегія Б

Загальна очікувана пройдена відстань відповідає фіксованій довжині апріорного маршруту плюс очікувана довжина додаткових обходів, що виникають внаслідок відвідувань депо, коли пропускна здатність перевищена. Використовуючи стратегію Б, клієнти без попиту просто пропускаються. На рисунку 1.2 показаний простий приклад ЙЗМТЗ, у якому транспортний засіб місткістю 2 має обслуговувати 6 потенційних клієнтів кожен із попитом 0 або 1). У прикладі клієнти 1 і 3 виявляють нульовий попит, і хоча стратегія Б просто пропускає цих клієнтів, стратегія А дозволяє відвідати всіх 6 клієнтів. У роботі [5] автори відзначають, що ці два методи відрізняються тим фактом, що стратегія А моделює ситуації, в яких попит стає відомим, коли транспортний засіб прибуває до клієнтів, тоді як для стратегії Б фактичний попит відомий раніше, транспортний засіб прибуває до клієнта. Дослідники у роботі [16] досліджують менш обмежувальне формулювання ЙЗМТЗ, оскільки воно допускає повні або роздільні потуги. ЙЗМТЗ вирішується шляхом знаходження маршрутів мінімальної очікуваної довжини. В роботі [17] пропонують точний алгоритм для ЙЗМТЗ на основі цілочисельного L-

подібного методу. Автори вирішують приклади з кількістю до 46 вершин. Вони також показують, що зі стохастичними клієнтами працювати набагато складніше, ніж зі стохастичними вимогами.

У проблемі статичної маршрутизації часовий вимір може бути важливим або неважливим. У динамічному аналогу час – завжди важливий. Диспетчер повинен як мінімум знати положення всіх АТЗ у будь-який момент часу, особливо коли диспетчер отримує запит на обслуговування або іншу інформацію.

Процес часто обмежений у часі в статичній задачі. Маршрути починаються і закінчуються в місці паркування (депо). У динамічному середовищі процес цілком може бути необмеженим. Замість маршрутів розглядаються шляхи, якими слідують транспортні засоби.

У статичній задачі передбачається, що вся інформація відома і має однакову якість. У реальній задачі динамічного маршрутизації майбутнє майже ніколи не відоме з упевненістю. У кращому випадку може бути відома ймовірнісна інформація про майбутнє.

У цьому розділі нами буде усно визначена проблема динамічної маршрутизації транспортного засобу і представлено приклади сценаріїв ЙЗМТЗ.

У роботі [11] автор використовує таку класифікацію проблеми статичної маршрутизації: «якщо результатом певної формулювання є набір заздалегідь запланованих маршрутів, які не оптимізовані повторно та обчислюються на основі вхідних даних, які не розвиваються в реальний час». Хоча він називає проблему динамічною, якщо «результат не є набір маршрутів, а радше політику, яка визначає, як маршрути мають розвиватися залежно від тих вхідних даних, які розвиваються в реальному часі».

У наведеному вище визначенні часовий вимір відіграє життєво важливу роль для категоризації проблеми маршруту АТЗ. Коли відповідна інформація стає відомою планувальнику, він тоді відрізняє динамічну проблему маршруту транспортного засобу від статичної.

Через однорідність якості інформації та відсутність оновлень вхідних даних усі події мають однакову вагу в статичній задачі маршрутизації. Тоді як у динамічному середовищі було б нерозумно відразу виділяти ресурси транспортних засобів на довгострокові потреби. Тому при вирішенні проблеми динамічної маршрутизації диспетчер повинен зосередитися на найближчих подіях.

Майже всі вхідні дані для задачі динамічної маршрутизації підлягають змінам протягом дня роботи. Тому важливо, щоб механізми оновлення інформації були інтегровані в метод рішення. Природно, механізми оновлення інформації нерелевантні в статичному контексті [17].

Може вимагатися зміна послідовності та перепризначення рішень. У динамічній маршрутизації новий вхід може означати, що рішення, прийняті диспетчером, стають неоптимальними. Це змушує диспетчера змінювати маршрут або навіть перепризначати транспортні засоби, щоб реагувати на нову ситуацію.

Необхідні швидші обчислення. У статичних умовах диспетчер може дозволити собі почекати кілька годин, щоб отримати якісне рішення, в деяких випадках навіть оптимальне. У динамічних налаштуваннях це неможливо, тому що диспетчер бажає якнайшвидше знати рішення поточної проблеми (бажано протягом хвилин або секунд). Обмеження часу виконання означає, що зміна маршруту та перепризначення часто виконуються за допомогою локальної евристики.

Відстрочка на невизначений термін означає можливість того, що послуга певного попиту буде відкладена на невизначений термін через несприятливі географічні характеристики щодо інших попитів. Цю проблему можна, наприклад, пом'якшити за допомогою обмежень часового вікна або використання нелінійної цільової функції, що штрафує за надмірне очікування.

Цільова функція може бути різною. Традиційні статичні цілі, такі як мінімізація загальної пройденої відстані або загальної тривалості розкладу,

можуть бути беззмістовними у динамічних умовах, оскільки процес може бути відкритим. Якщо немає інформації про майбутні вхідні дані, доцільно оптимізувати лише відомі вхідні дані. Деякі системи також використовують нелінійні цільові функції, щоб уникнути небажаних явищ, таких як згадана вище невизначена відстрочка.

Часові обмеження, такі як час останнього прийому, мають тенденцію бути м'якшими в динамічній проблемі маршрутизації, ніж у статичній. Це пояснюється тим фактом, що відмова в обслуговуванні негайного запиту, якщо часове обмеження не виконується, зазвичай є менш привабливим, ніж порушення тимчасового обмеження.

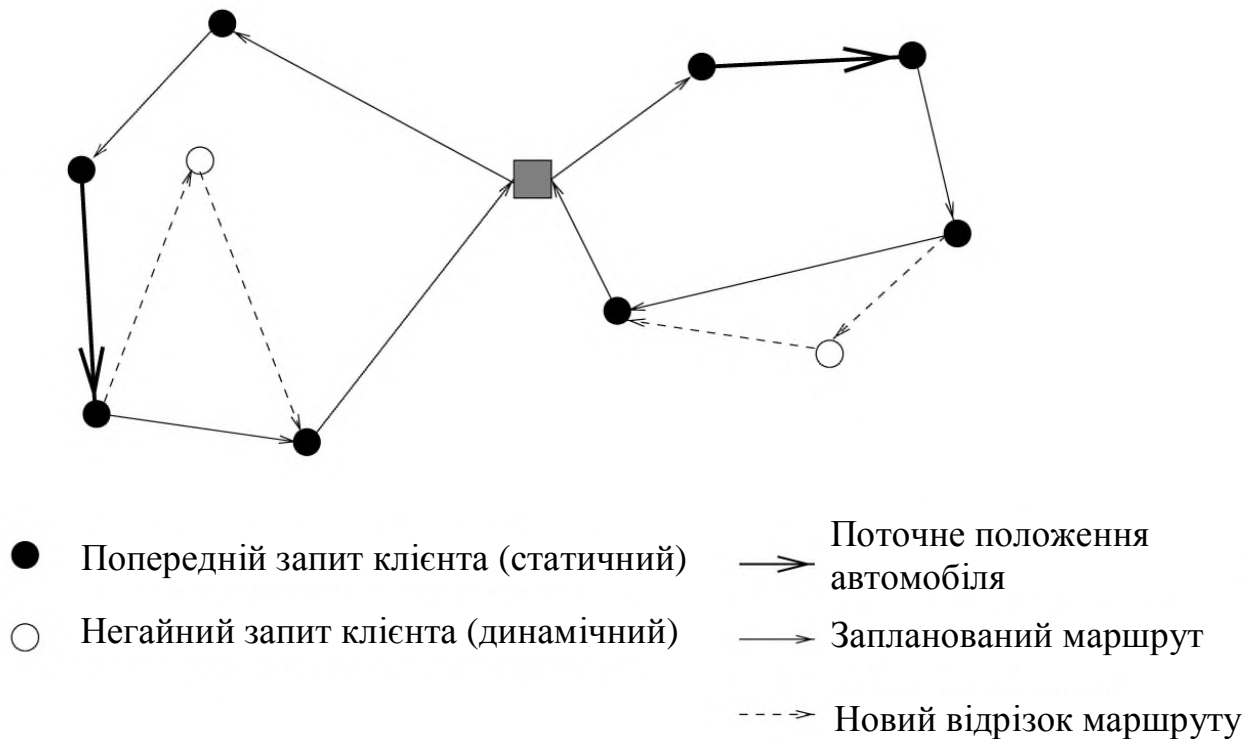
У статичних налаштуваннях часовий проміжок між виконанням алгоритму та виконанням маршрутів зазвичай дозволяє коригувати парк транспортних засобів. Однак у динамічних налаштуваннях диспетчер може не мати миттєвого доступу до резервних транспортних засобів. Наслідки цього можуть означати, що деякі клієнти отримують нижчу якість обслуговування.

Можуть стати важливими міркування щодо черги. Якщо рівень попиту споживачів перевищує певний поріг, система стане перевантаженою, і алгоритми неминуче дадуть безглузді результати. Незважаючи на те, що теорія маршрутизації транспортних засобів і теорія черги є двома добре вивченими дисциплінами, спроб об'єднати їх було мало [14].

На рис. 1.3 показаний простий приклад динамічної ситуації маршруту автомобіля. У прикладі два транспортні засоби без місткості повинні обслуговувати клієнтів як на попередній, так і на негайний запит без часових вікон. Клієнти з попередніми запитами представлені чорними вузлами, тоді як ті, які є негайними запитами, зображені білими вузлами. Суцільні лінії позначають два маршрути, які диспетчер запланував до виходу транспортних засобів із АТП. Дві товсті дуги вказують на положення автомобіля під час отримання динамічних запитів. В ідеалі нових клієнтів слід додавати до вже запланованих маршрутів без зміни порядку невідвіданих клієнтів і з мінімальною затримкою. Це – випадок, зображений на правій стороні



маршруту. Однак на практиці введення нових клієнтів зазвичай буде набагато складнішим завданням і означатиме перепланування невідвіданої частини маршрутної системи. Це проілюстровано маршрутом з лівого боку, де обслуговування нового клієнта створює великий об'їзд.



*Рисунок 1.3 – Динамічний сценарій маршрутизації транспортного засобу з 8 попередніми та 2 негайними клієнтами*

Під час дослідження динамічних систем маршрутизації транспортних засобів часто використовуються випадково згенеровані дані, а не дані реального життя. На це є дві основні причини. По-перше, використання випадково згенерованих даних часто дозволяє проводити більш глибокий аналіз, оскільки набори даних можна сконструювати таким чином, щоб можна було вирішити інші проблеми. По-друге, переважна більшість реальних динамічних проблем маршрутизації транспортних засобів наразі не охоплює всіх даних, необхідних для поглибленого аналізу конкретної проблеми маршрутизації. Географічне розташування всіх АТЗ кожного разу,

коли надходять нові негайні запити, є одним із найбільш часто відсутніх елементів даних у вивченні проблем реального життя.

Якщо хтось вирішить використовувати випадково згенеровані дані, необхідно вирішити кілька дуже актуальних питань. Нижче ми коротко обговорюємо два з цих питань.

По-перше, слід розглянути метод, який використовується для генерації часу прибуття клієнтів із негайним запитом. Це важливе питання, оскільки розробники систем використовують таку інформацію для розробки методів вирішення. Традиційно для цієї мети передбачається процес Пуассона [11]. Тоді параметр швидкості надходження, який зазвичай позначається як  $\lambda$ , описує «перевантаженість» системи. Для імітації сценаріїв у більш складних системах процес надходження може бути сумішшю кількох різних стохастичних процесів. Як правило, чим більше обмеженою та складною є проблема маршрутизації, тим складнішою буде вставка нових динамічних клієнтів. Наприклад, введення нових клієнтів у проблему маршрутизації з обмеженим часовим вікном зазвичай буде набагато складнішим, ніж у задачі без обмежень у часі. При цьому, в онлайн-системі маршрутизації клієнтам може навіть бути відмовлено в обслуговуванні, якщо неможливо знайти зручне місце для їх вставки. Часто така політика відмови клієнтів включає пропозицію обслуговувати клієнтів наступного дня роботи. Однак у деяких системах, як, наприклад, отримання кур'єрської пошти на великі відстані, постачальник послуг (дистриб'ютор) повинен буде перенаправити клієнта до конкурента, якщо він не зможе його обслуговувати.

По-друге, під час дослідження динамічних систем маршрутизації транспортних засобів часто використовуються випадково згенеровані дані, а не дані реального життя. На це є дві основні причини. Перша: використання випадково згенерованих даних часто дозволяє проводити більш глибокий аналіз, оскільки набори даних можна сконструювати таким чином, щоб можна було вирішити інші проблеми.

Друга: переважна більшість реальних динамічних проблем маршрутизації транспортних засобів наразі не охоплює всіх даних, необхідних для поглибленого аналізу конкретної проблеми маршрутизації. Географічне розташування всіх АТЗ кожного разу, коли надходять нові негайні запити, є одним із найбільш часто відсутніх елементів даних у вивченні проблем реального життя.

## 1.2 Зміст задачі в теорії планування перевезень

Класично, динамічна маршрутизація полягає в тому, що впродовж деякого періоду  $T_{pr}$  зроблено прогноз замовлень на перевезення вантажів на заданій транспортній мережі. При відомих параметрах виконання замовлень складають розклад їх реалізації, тобто встановлюють моменти прибуття у пункт завантаження і розвантаження, враховуючи випадкове розташування парку автопоїздів на мережі. Якщо у плановому періоді замовлень є більше, ніж наявних автомобілів, то розклад повинен передбачати наступний пункт завантаження після виконання попередньої доставки вантажів. Маршрут кожного транспортного засобу планується в часі й з урахуванням ефективності роботи усього парку. Застосовуються такі критерії оптимального розкладу як: мінімальна сумарна гарантована тривалість перевезення усіх вантажів (найчастіше – для вантажів, які швидко псуються), мінімальні витрати коштів на перевезення, максимальні грошові надходження. Але для міжміських великогуртових перевезень останнім часом використовують критерії мінімального пробігу та мінімального простою транспортних засобів. Магістральна транспортна мережа автомобільних вантажних перевезень є такою, що пункти відправлення одних вантажів можуть бути і пунктами призначення для інших. Це трапляється у випадкові моменти часу. Тому досить часто вантажівки довго простоюють в очікуванні можливих замовлень, уникаючи при цьому марного пробігу. Останні два показники для одного процесу не є суперечними. Якщо кількість і розмір планових перевезень на горизонті планування є сталими, то таку задачу

вважають статичною. Її розв'язують уже згаданими методами математичного програмування, евристичними, або метаевристичними методами. Замовлення, які планується виконати, характеризуються пунктом відправлення і доставки вантажів. Тривалість виконання кожного із них є випадкова величина, яку оцінено математичним сподіванням  $\bar{t}_i$  та відомим відхиленням. Також кожне замовлення має допустимі часові відхилення їх виконання – часові вікна. Межі часового вікна –  $t_{b,i}$ , найбільш ранній момент часу, до якого його неможливо виконати і  $t_{e,i}$  – найбільш пізній момент часу, не пізніше якого це замовлення повинно бути виконане. Розмір часового вікна є, переважно, значно більшим, ніж максимальні відхилення часу виконання самого замовлення. Знайдені розв'язки статичної задачі раніше задовольняли диспетчерські служби перевізника за точністю і надійністю. На практиці максимальна кількість запланованих замовлень не перевищує 100-120, що дає змогу побудувати наближений до оптимального розклад з оцінкою його відхилення. Отже, попередній оптимальний розклад – це множина  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , для  $N_a$  автомобілів, з яких у транспортному процесі задіяно кількість  $N_{a1}$ . Інші транспортні засоби є у резерві. Мінімальний час виконання проекту –  $T_1$ ,  $T_{pr} > T_1$ . При виконанні проекту у деякий момент часу від нульового відліку  $0 < t < T_{pr}$  виникають непередбачені обставини, серед яких можливі такі:

- a) надійшли нові замовлення з часовими вікнами, які перетинаються з горизонтом планування;
- b) відмінено прогнозоване замовлення;
- c) збільшився / зменшився прогнозований час транспортування  $t_{ij}$ , де  $i, j$ , відповідно, пункт відправки і приймання вантажу;
- d) транспортний засіб вийшов з ладу і зійшов з маршруту.

Наявність таких подій переводить статичну задачу маршрутизації в динамічну. Такі події мають випадковий характер і згідно з дослідженнями, підпорядковуються Пуассонівському закону [7]. Реакція на такі події перевізників може бути такою, що приймається, або відхиляється одне з можливих рішень:

- а) відмовити у виконанні нових замовлень;
- б) проігнорувати скасовані замовлення;
- в) змінити послідовність виконання замовлень;
- г) змінити кількість транспортних засобів на маршрутах, у тому числі, з врахуванням резерву.

У цій роботі ми намагались вирішити два актуальні питання. По-перше, чи вплинуть зміни до попереднього замовлення на його якість, яка досягнута раніше? По-друге, як може вплинути на процес побудови/корекції оптимального розкладу і маршрутів наявність інформації про властивості планових та нових замовлень.

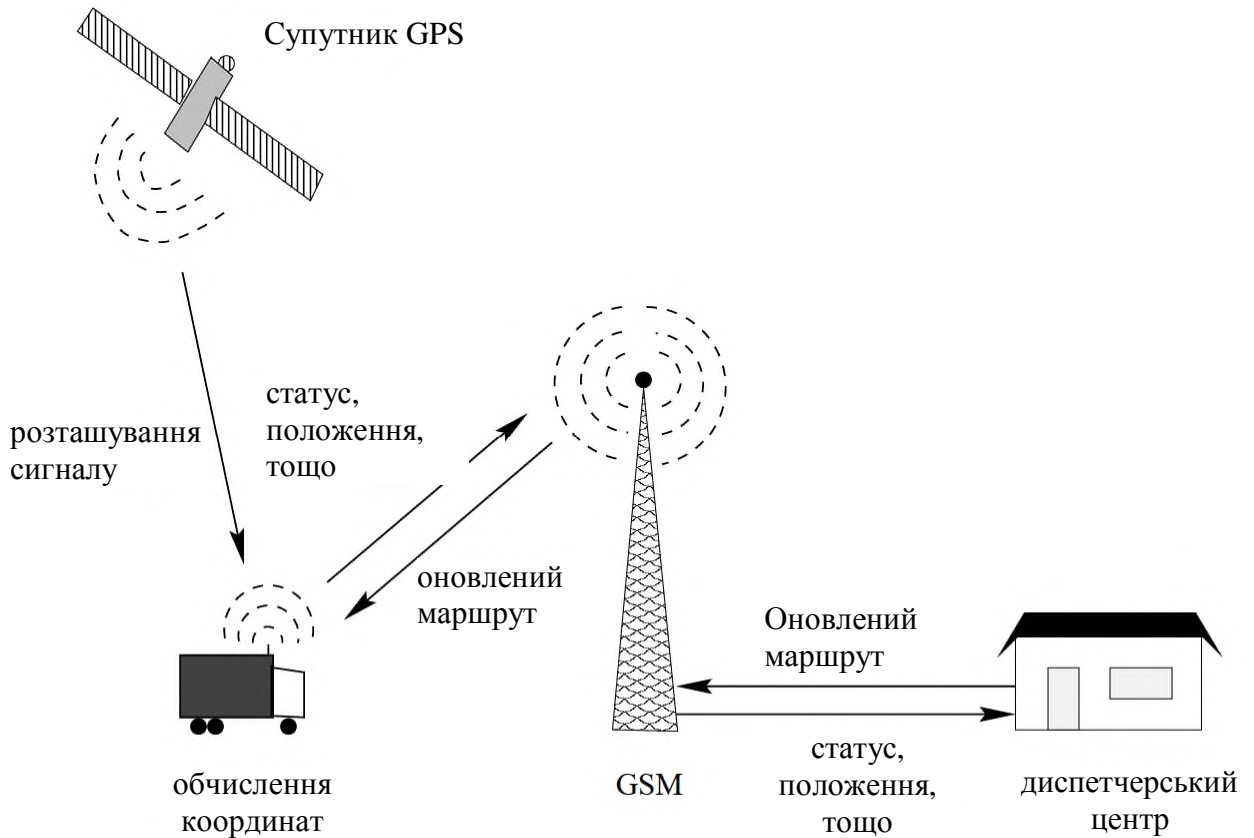
### **1.3 Важливість інформаційного забезпечення для динамічної маршрутизації**

Зв'язок між водіями АТЗ і диспетчерським центром важливий для передачі найновішої інформації в систему маршрутизації. Нами було зроблено огляд і аналіз обладнання для визначення поточного положення транспортних засобів та комунікаційне обладнання для передачі інформації між диспетчерською станцією та водіями транспортних засобів.

Звісно, таке обладнання позиціонування, як GPS (система глобального позиціонування), має важливе значення для динамічної системи маршрутизації автомобіля. GPS — це сузір'я з 24 супутників, що обертаються навколо Землі, які постійно надсилають сигнали, вказуючи своє положення та час. Сигнали від трьох або чотирьох різних супутників у будь-який момент часу можуть надати наземним приймачам достатньо інформації, щоб обчислити їхнє точне місцезнаходження з точністю до кількох метрів залежно від того, яка версія системи GPS використовується [10]. Ціни на GPS-приймачі впали з кількох тисяч доларів кілька років тому до 100 доларів за найпростіші моделі, які використовуються для походів у віддалені райони тощо.

Комунікаційне обладнання між транспортним засобом і диспетчерським центром має важливе значення для структури системи маршрутизації. Системи мобільного телефонного зв'язку є одним із прикладів технології, здатної надавати цю інформацію. Іншою технологією є спеціальна система радіозв'язку. Головною відмінністю цих технологій є різниця в початкових і експлуатаційних витратах. Система мобільного телефонного зв'язку є відносно дорогою в експлуатації, але має низькі початкові витрати, оскільки базову технологію надають телефонні компанії, а система GSM сьогодні пропонує майже повне покриття в більшості західних промислово розвинених країн. Наприклад, надсилання SMS (системи коротких повідомлень) коштує приблизно \$0,07. Це означає, що річні витрати на мобільний зв'язок становлять приблизно \$800 на машину, якщо позиції потрібно надсилати кожен другу хвилину протягом 8-годинного робочого дня. Початкові витрати на впровадження системи радіозв'язку, з іншого боку, дуже високі, тому що потрібно буде поставити передавальні щогли та відносно дороге радіообладнання має бути встановлено в кожному транспортному засобі. Загалом система зв'язку на основі радіозв'язку має дуже високі початкові витрати, тоді як експлуатаційні витрати майже незначні. Крім того, система на основі радіозв'язку не пропонує такої ж гнучкості, як система мобільного телефонного зв'язку.

На рис 1.4 показані основні інформаційні потоки між транспортним засобом і диспетчерським центром. В ідеалі диспетчерський центр знатиме, в якому стані перебувають транспортний засіб і водій у будь-який момент часу. Однак, як вказує наведений вище опис, це може виявитися неможливим для деяких програм через експлуатаційні витрати цього методу. Однак у реальних умовах інформація про місцезнаходження передається через фіксовані проміжки часу, а для оцінки положення транспортних засобів використовується схема інтерполяції. Крім того, водій АТЗ надсилає повідомлення про свій поточний статус і позицію до диспетчерського центру кожного разу, коли він завершує обслуговування у клієнта.



*Рисунок 1.4 – Ескіз інформаційного потоку в системі динамічної маршрутизації транспортних засобів на основі GPS*

Очевидно, що цей підхід не пропонує диспетчеру такий самий рівень інформації, щоб підтвердити її рішення щодо того, який транспортний засіб відправити наступному клієнту, який буде обслуговуватися. Якщо нова інформація, надана незадіяним водіям / транспортним засобам, змусить диспетчера передумати щодо поточного запланованого маршруту, їй доведеться вручну зателефонувати іншим водіям, щоб повідомити їх про зміни в поточних маршрутах.

Однак висновок повинен бути таким, що ретельний аналіз повинен показати, який підхід вибрати при проектуванні системи. Звичайно, історія показує, що ціни на зв'язок з роками стрімко падають. Це може бути мотивацією для переходу на телекомунікаційну систему.

## 1.4 Приклади задачі динамічної маршрутизації на практиці

Проаналізуємо декілька типових прикладів практичного застосування задачі динамічної маршрутизації [15].

1.4.1 Мандрівний ремонтник. Розглянемо ситуацію, яка виникає, наприклад, коли банківський касовий апарат ламається і його повинен ремонтувати технік з обслуговування. Маршрут, яким повинен слідувати технік, може бути визначений за допомогою цільової відстані, або він може брати до уваги терміновість виклику (банкомат розташований у зоні високої інтенсивності чи у віддаленій зоні?). Цю проблему часто називають «проблемою динамічного мандрівного ремонтника» і є однією з найбільш добре вивчених проблем динамічної маршрутизації транспортного засобу. Подібним прикладом є ремонтник з електроенергетичної компанії, який подорожує від будинку до будинку, щоб усунути раптові збої в електропостачанні.

1.4.2 Послуги кур'єрської пошти. Компанії кур'єрської пошти по всьому світу пропонують забрати пошту та/або пакунки в одному місці та безпечно доставити товари в інше місце протягом певного терміну. Часто пошта/пакети, які потрібно доставити, не є місцевими, а доставляються з інших міст чи країн. Таким чином, поставки відправляються в центр, а потім розподіляються з цього центру до вантажівок. Доставка створює статичну проблему маршрутизації, оскільки всі одержувачі відомі водієві (і диспетчеру) до того, як АТЗ покине депо. Однак вибірка під час доставки має наслідком те, що проблема стає динамічною в тому сенсі, що водій і диспетчер не мають усієї інформації про те, коли та де мають відбутися самовивезення. Проблеми маршрутизації та відправлення при динамічному прийомі та доставці кур'єрської пошти та пакетів будуть досліджені більш детально в розділі 8 цієї дисертації.

1.4.3 Розподіл палива. Розподіл опалювального палива приватним домогосподарствам часто базується на так званих градус-днях, які є простою



мірою накопиченої зовнішньої температури. Нафтові компанії використовують градус-день, щоб відстежувати, скільки палива споживачі витратили на опалення своїх будинків. Щоразу, коли база даних повідомляє системі маршрутизації, що у клієнта закінчується мазут, клієнт включається до пулу клієнтів, які очікують на обслуговування. Незважаючи на те, що клієнти на градус-день можна розглядати як статичних клієнтів, проблема маршрутизації часто стає динамічною через те, що у підмножини клієнтів може закінчитися нафта до того, як база даних на градус-день включить клієнтів у список поповнення. Причини такої ситуації можуть полягати, наприклад, в тому, що раптова зміна погоди спричиняє високе використання масла безпосередньо перед поповненням або загальне збільшення використання масла через зміни в поведінці клієнта (наприклад, коли будинок власника запрошує людей залишитися і тому повинен опалювати приміщення, які зазвичай не опалюються). Досвід показує, що приблизно 20% клієнтів, яких відвідує нафтова компанія протягом дня, є динамічними клієнтами, які телефонують протягом дня з проханням негайного обслуговування. Іншим елементом, який робить цю проблему відмінною від звичайних статичних і детермінованих задач маршрутизації та значно складнішою для вирішення, є той факт, що градус-день не є точним показником фактичного використання мазуту, а лише оцінкою. Це означає, що проблема стає стохастичною по відношенню до попиту [20].

1.4.4 Динамічні системи Dial-A-Ride. Транспортні системи за телефоном є одним із застосувань загальної проблеми маршрутизації транспортних засобів для отримання та доставки, у якій один або кілька типів товарів потрібно забрати в одному місці та доставити в інше місце, де товари доставляються. Одним із прикладів динамічної системи dial-a-ride є перевезення людей похилого віку та людей з обмеженими можливостями.

## **1.5 Формулювання проблеми досліджень**

У цій роботі необхідно вирішити кілька дуже актуальних питань. Нижче ми коротко обговорюємо три з цих питань, маючи на увазі, що необхідно розглянути кілька інших питань.

По-перше, слід вибрати метод маршрутизації.

По-друге, треба розглянути розподіли, які характеризують попит клієнтів і час обслуговування на місці в місцях розташування клієнтів).

По-третє, слід згадати час реакції системи. Це визначається як час, що минув між отриманням запиту та закінченням часового вікна, що визначає останній можливий час для початку обслуговування. Час реакції кожного клієнта можна розглядати як міру терміновості обслуговування цього клієнта.

По-четверте, потрібно розглянути інформаційне забезпечення процесу маршрутизації.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Формулювання задачі

Формулювання задачі є таким. Задано плановий період  $T_{pr}$ , який можна змінювати залежно від бажаної дальності прогнозування. Є також відомою множина замовлень для автотранспортного підприємства  $P = \{1, 2, \dots, p\}$ , які потрібно виконати з мінімальними затримками часу одним, або декількома вантажівками з множини  $M_k$ ,  $k=1..m$ , які спочатку періоду розташовані на транспортній мережі випадковим чином. Зміст кожного замовлення полягає в тому, щоб доставити унітарний гурт вантажів  $Q_{i,j}$  від деякого пункту  $g_i$  до іншого  $g_j$ ,  $i,j=1..n$ ,  $n < p$ . Прийнято, що між будь-якими двома пунктами на заданій транспортній мережі існує шлях (мережа – сильно зв’язана), отже відстань між ними відома, але для зручності вона оцінюється опосередковано – часом руху  $t_{i,j}$  при відомій сталій середній експлуатаційній швидкості. Оскільки задача стосується магістральних перевезень (міжміських, міжнародних), то головним критерієм для перевізника тут, переважно, є максимальний пробіг з вантажем впродовж заданого періоду. В даному випадку – це мінімальний час марних пробігів.

Оскільки тривалість  $\bar{t}_i \ll T$ , то впродовж планового періоду кожен з автомобілів може виконати декілька замовлень. Щоб розпочати перше з них, транспортний засіб потрібно подати в той пункт, де замовлення є сформоване не пізніше директивного моменту часу  $t_{e,i}$ . Отже, потрібно врахувати тривалість нульових пробігів, а також час руху між  $i$  та  $j$  пунктами –  $t_{i,j}$ . Для виконання кожного наступного замовлення транспортний засіб потрібно подати для завантаження в сусідній транспортний пункт, де є відповідний запит, або ж завантажити у тому ж таки пункті, де відбулося попереднє розвантаження.

Особливостями даної задачі є те, що у ній відсутня необхідна вимога виконання усіх замовлень множини  $P$  за період  $T_{pr}$ . Ця задача пов’язана з часовим впорядкуванням робіт (замовлень) і розподілом їх між наявними

АТЗ. Тому її можна віднести за відомими класифікаційними ознаками до задач складання циклічних унітарних розкладів для потокового виконання операцій проекту декількома засобами [4]. Плануючи виконання перевезень, потрібно розробити, з одного боку, найкоротший за марним пробігом маршрут руху для кожного транспортного засобу, який буде задіяний в процесі, а з іншого – найкращий розклад виконання замовлень для сукупності автопоїздів з мінімальними непродуктивними простоями при наявності часових обмежень, тобто без затримок. Враховуючи структуру і властивості типового транспортного процесу у середніх і великих транспортних системах, таку задачу потрібно віднести до оптимізаційних [3, 14]. За складністю алгоритму пошуку оптимального розв'язку вона відноситься до NP складних задач у сильному змісті, тобто для неї існує недетермінований алгоритм пошуку успішного точного, або наближеного розв'язку за поліноміальний час [15]. Для його розроблення використано метод впорядкування змішаних графів [22]. Згідно нього, усю множину  $P$  відомих замовлень відображає орієнтований змішаний граф  $A(G, U, V)$ , де  $G$  – множина вершин,  $\{g_1 \dots g_p\}$ , в якій  $g_2 \dots g_{p-1}$  символізують моменти початку їх виконання. Вершина  $g_1$  – фіктивна, представляє формальний момент початку усього проекту. Вершина  $g_p$  – фіктивна, символізує кінець планового циклу тривалістю  $T_{pr}$ .  $U$  – множина дуг, кожна з яких відображає часовий зв'язок  $a_{i,j}$  між моментами початку виконання  $i$ -го та  $j$ -го замовлення одним і тим ж транспортним засобом. Дуги графа  $A$  – зважені. Якщо існує замовлення, то воно відображається у графі  $A$  дугою ваги  $a_{i,j} > 0$ .

Дуги  $a_{1,i}$  – це найбільш ранні моменти можливого початку виконання кожного  $i$ -го замовлення.

$$- a_{j,i} \leq t_{o,j} - t_{o,i} \leq a_{i,j}, \quad (2.1)$$

де  $t_{o,j}, t_{o,i}$  – моменти початку виконання, відповідно,  $i$ -го та  $j$ -го замовлень.

Кожна дуга  $a_{i,p}$  – це часовий зв'язок, «чиста» тривалість виконання  $i$ -го замовлення так, що ніби транспортний засіб до початку завантаження перебував у  $i$ -му пункті уже, і на марний, чи нульовий пробіги не витрачено часу. Очевидно, що:

$$a_{i,p} \leq a_{i,j} \quad (2.2)$$

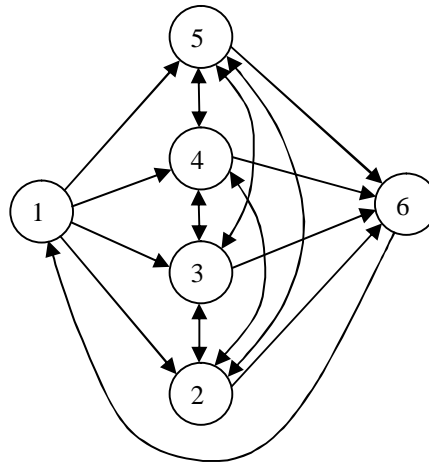
Умова (2.2) має виконуватися для будь-яких  $i$  та  $j$ .

Дуга з від'ємною вагою,  $-a_{i,j}$  відображає часове обмеження для виконання замовлення. Наприклад,  $-a_{p,1}$  – це дозволений час для виконання усіх відомих замовлень (як правило, він збігається з періодом  $T$ ). Усі дуги  $-a_{p,i}$  відображають директивні моменти найбільш пізнього закінчення  $i$ -х замовлень. Усі ж інші неіснуючі, або несуттєві зв'язки відображені дугами з вагою  $-\infty$ .

У моделі диз'юнктивного (змішаного) графа  $A$  задана, також, множина  $V$  – ребер, кожному  $[i,j]$  з яких поставлена у відповідність пара ваг  $a_{i,j}$ ,  $a_{j,i}$ . Якщо між вершинами  $i$ ,  $j$  є ребро, то це означає їх часову незалежність і відповідні операції по виконанню  $i$ -го та  $j$ -го замовлень виконуватимуться одночасно, або з частковим перекриттям у часі.

До процесу перевезення може бути задіяно  $k$  АТЗ. Вони повинні працювати синхронно, кожен виконуючи по декілька замовлень послідовно. Це означає, що у графі  $A$  потрібно знайти  $k$  ланцюгів, які починаються у вершині  $g_1$ , проходять через деякі вершини графа, які стосуються наявних замовлень і закінчуються у вершині  $g_p$ . У даному варіанті задачі шукаємо мінімальний марний пробіг з найменшими часовими затримками процесу. Тому шукані ланцюги мають проходити по тих вершинах, для яких  $q_{x,y} > 0$ . Якщо ланцюг доходить до вершини  $u$ , а далі нема жодного шляху у графі  $A$  з невід'ємною, або ненульовою вагою, то ланцюг при цьому прямує до вершини  $g_p$ . Транспортний цикл для цього автомобіля вважатимемо завершеним, незважаючи на те, що резерв часу на виконання інших, ще не

виконаних замовлень  $\epsilon$ . Задача в такому формулюванні  $\epsilon$  схожа на типову задачу декількох комівояжерів. Алгоритм розв'язування цієї задачі для відносно невеликої кількості замовлень базується на методі гілок і меж і його розроблення описано в попередніх дослідженнях [21]. Якщо розглянути деякий змішаний граф то зміст задачі полягає у заміні, або видаленні усіх його ребер і дуг, які спричиняють наявність контурів додатної ваги (рис. 2.1).



*Рисунок 2.1 – Тестова модель складання розкладу виконання замовлень на перевезення вантажів:  $a_{i,j}$  – ваги відповідних дуг*

Якщо замовлення  $\epsilon$  незалежні, то, насамперед, ребра  $\epsilon$  між кожною парою вершин. Тому складність алгоритму комбінаторного пошуку вимірюється кількістю варіантів перебору від  $2^{2n-1}$ , де  $n$  – кількість вершин початкового графа. При 100 вершинах алгоритм тривалість виконання алгоритму перевищує допустимі сподівання і пошук повним перебором ускладнений.

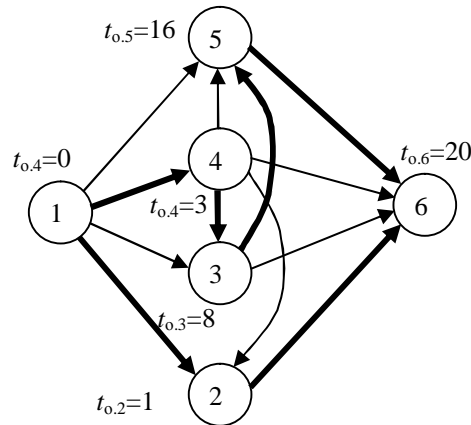


Рисунок 2.2 – Результати впорядкування змішаного початкового графа при наявності обмежень на директивні терміни завершення виконання замовлень, кількість автомобілів  $m=2$

Тому застосовано евристику, яка базується на виразі і служить для вибору конфліктного ребра з усієї множини заданих [17]:

$$h_{ij} = t_{e,j}(G,U) + J_j(G,U) + a_{i,j} - J(G,U) \quad (2.3)$$

де  $J_j(G,U)$  – максимальна вага шляху в графі  $A(G,U)$ , що починається у вершині  $g_j$ ;

$J(G,U)$  – найдовший шлях у графі  $A(G,U)$ .

Вибираючи найконфліктніше ребро з усіх конфліктних множини  $V(a_i)$ , керуємось величиною  $\min(h_{i,j}, h_{j,i})$ . Для якого ребра знайдена величина буде найбільшою, те й назвемо найконфліктнішим. Впорядкування змішаного графа приводить до побудови орієнтованого (рис. 2.3), у якому нема контурів додатньої ваги, і який однозначно представляє оптимальний за швидкодією розклад і маршрути, у даному випадку – для двох автомобілів. Біля вершин орієнтованого графа показано величини  $t_{0,i}$  – моменти часу, коли має бути розпочато виконання  $i$ -ї операції.

Однак, коли кількість замовлень збільшується внаслідок додаткової оперативної інформації, то представлена модель буде містити тільки ребра, які пов'язують нові вершини з наявними. Тому оптимальне рішення буде локальним і якість нового розкладу може бути гіршою. Тому для удосконалення алгоритму ми застосували групування замовлень, яке виконується на основі запропонованої класифікації.

Для класифікації застосовано декілька ознак, окремі з них є більш суттєвими для впорядкування часової графічної моделі.

За частотністю відрізнятимемо одноразові, періодичні і постійні замовлення. Ця класифікаційна ознака стосується замовлень між сталими двома пунктами, один з яких є відправником, інший споживачем вантажів. Одноразові виникають один раз за усі періоди планування. Періодичні відрізняються тим, що між моментами їх надходження існує час паузи, який є, в загальному випадку, випадковою величиною. Постійні замовлення характерні тим, що вони завжди існують у пункті відправлення вантажів, незалежно від моменту прибуття туди транспортного засобу під завантаження.

За сумісністю замовлення  $Z_1$  і  $Z_2$  поділятимемо на цілком сумісні, частково сумісні і несумісні. Цілком сумісними назвемо такі замовлення  $i, j$ , виконання яких у послідовності  $i \rightarrow j$  одним транспортним засобом характеризується повною відсутністю марних пробігів і простоїв в очікуванні завантаження (рис. 2.3). Частково сумісними є такі замовлення, виконання яких приводить до необхідності марного пробігу і/або простою в очікуванні наступного завантаження (рис. 2.4). Несумісність замовлень означає неможливість їх виконання в одному потоці одним транспортним засобом. Несумісність замовлень  $Z_1$  і  $Z_2$  виключає їх виконання в одному потоці одним автомобілем через наявність часових вікон, які перекриваються. Моделі цілком сумісних і частково сумісних замовлень на перевезення показано на рис. 2.3, 2.4.



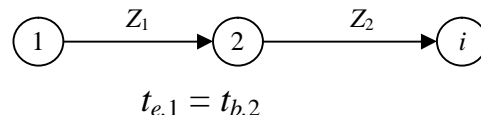


Рисунок 2.3 – Модель цілком сумісних замовлень

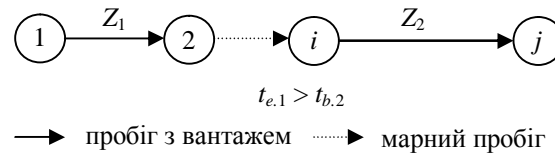


Рисунок 2.4 – Модель частково сумісних замовлень

Відношення сумісності, або часткової сумісності не є оберненим. Більш того, якщо позначити вказані відношення *com* – цілком сумісні, *inc* – несумісні, *pc* – частково сумісні, то можна записати наступні логічні вирази, які слідують з означень для замовлень *a*, *b*, *d* [12]:

1. Якщо *a com b*, то *b inc a*.
2. Якщо *a com b*, і *b com d*, то *a pc d*.
3. Якщо *a com b*, і *a com d* то *b pc d*.
4. Якщо *a pc b*, і *a inc d*, то *d pc b*.

Це є початкові логічні залежності, на основі яких, використовуючи алгебру логіки, можна записати й інші логічні вирази, які поєднують замовлення у логістичні ланцюги.

Якщо замовлень, які можна включити в єдиний потік в загальній сукупності є декілька, то усю сукупність можна оцінити кількісними показниками, такими як:

- коефіцієнт сумісності замовлень, який визначаємо так:

$$K_{com} = \frac{n_{com}}{n_S}, \quad (2.4)$$

де  $n_{com}$  – кількість сумісних замовлень (подій) в множині, які впорядковуюється;

$n_{\Sigma}$  – загальна кількість подій.

Відповідно до означення сумісності, максимальне значення  $K_{com}=0,5$ . Тобто якщо максимум половина замовлень має сумісну другу половину, то це відношення не є дзеркальним;

- коефіцієнт часткової сумісності визначаємо з виразу:

$$K_{p.com} = \frac{n_{\Sigma} - n_{max.flows}}{n_{\Sigma}}, \quad (2.5)$$

де  $n_{max.flows}$  – максимальна кількість потоків (з розривами), які можна побудувати в початковому графі.

Числове значення коефіцієнта часткової сумісності може лежати в межах [0..1];

- коефіцієнт несумісності замовлень (подій) визначаємо з виразу:

$$K_{inc} = \frac{n_{inc}}{n_{\Sigma}}, \quad (2.6)$$

де  $n_{inc}$  – кількість несумісних подій у множині.

Цей коефіцієнт може досягати максимального значення 1,0, оскільки замовлення можуть бути розташовані на мережі так, і затребуване тоді, що жодне з них не може бути виконано одним і тим ж автомобілем.

Використовуючи ознаки сумісності, можна ще на стадії складання початкового розкладу згрупувати замовлення в такі, які будуть виконуватись в одному потоці. Повертаючись до попереднього прикладу статичної задачі, можемо відмітити на початковому графі дугами відношення повної сумісності між вершинами, або відсутністю дуги чи ребра – повної несумісності (рис. 2.5).

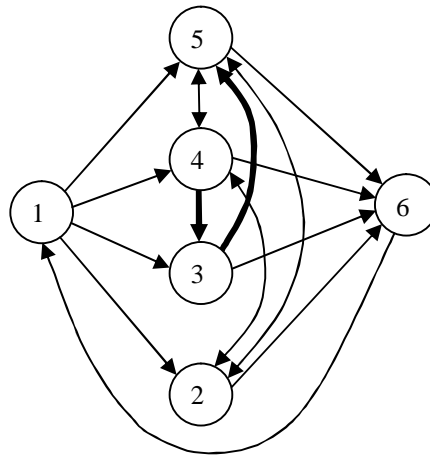


Рисунок 2.5 – Модель для складання розкладу із відміченими на ній відношеннями повної сумісності замовлень (суцільна потовщена стрілка)

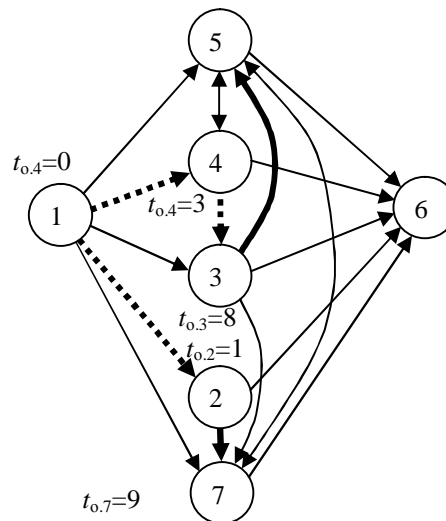


Рисунок 2.6 – Модель для коригування розкладу виконання замовлень після надходження незапланованого замовлення 7, кількість автомобілів  $m=2$ .

Якщо порівняти дану на рис. 2.6 модель з початковою на рис. 2.1, то можемо помітити повну сумісність замовлень 4-3 і 3-5, а також несумісність замовлень 2-3 і 3-2. Таке групування значно спростило оптимізацію побудови розкладу і привело до того ж результату, що на рис. 2.6. Якщо кількість замовлень збільшиться, то можна припустити, що якість побудованого

розкладу буде кращою, ніж при застосуванні описаного вище евристичного алгоритму без класифікації і групування об'єктів.

Якщо впродовж планового горизонту надходять незаплановані замовлення, то, враховуючи їх часові параметри, їх також можна класифікувати. Для того, щоб виробити оптимальне рішення про порядок виконання незапланованих завдань, потрібно знову побудувати невпорядкований змішаний граф з врахуванням того, що у ньому вже будуть відсутні ребра, які з'єднували вершини, які у момент надходження нових замовлень уже є виключеними з поточного розкладу, бо події, які вони представляють, відбулись. Складність впорядкування нового графа не буде вищою, ніж попереднього, оскільки нові вершини мають встановлені зв'язки сумісності, а частина вершин вже є вилученими з розгляду. Розглянемо для прикладу приведену вище модель з чотирма замовленнями і двома автомобілями. Раніше вона була впорядкованою і мала вигляд, як на рис. 2.2. В момент часу  $t_{0,7}=9$  год. від початку реалізації плану перевезень два автомобілі розпочали рух по мережі. Один з них в момент  $t_{0,4}=3$  год. уже виконав замовлення 4 і відправлений до наступного пункту для виконання завдання 3, яке, згідно з розкладом, завершилось в момент  $t_{0,3}=8$  год. Інший транспортний засіб виконав уже замовлення 2 і згідно попереднього розкладу мав би завершити план перевезень. Нове замовлення 7 за параметрами є цілком сумісним із замовленням 2. Тому наступна реоптимізація призводить до змін у розкладі, за якими другий автомобіль після виконання замовлення 2 має виконати нове замовлення 7. При цьому загальна тривалість проекту не збільшується, отже продуктивність обох автомобілів зростає.

Класично, динамічна маршрутизація полягає в тому, що впродовж деякого періоду  $T_{pr}$  зроблено прогноз замовлень на перевезення вантажів на заданій транспортній мережі. При відомих параметрах виконання замовлень складають розклад їх реалізації, тобто встановлюють моменти прибуття у пункт завантаження і розвантаження, враховуючи випадкове розташування парку автопоїздів на мережі. Якщо у плановому періоді замовлень є більше,

ніж наявних автомобілів, то розклад повинен передбачати наступний пункт завантаження після виконання попередньої доставки вантажів. Маршрут кожного транспортного засобу планується в часі й з урахуванням ефективності роботи усього парку. Застосовуються такі критерії оптимального розкладу як: мінімальна сумарна гарантована тривалість перевезення усіх вантажів (найчастіше – для вантажів, які швидко псуються), мінімальні витрати коштів на перевезення, максимальні грошові надходження. Але для міжміських великогуртових перевезень останнім часом використовують критерії мінімального пробігу та мінімального простою транспортних засобів. Магістральна транспортна мережа автомобільних вантажних перевезень є такою, що пункти відправлення одних вантажів можуть бути і пунктами призначення для інших. Це трапляється у випадкові моменти часу. Тому досить часто вантажівки довго простоюють в очікуванні можливих замовлень, уникаючи при цьому марного пробігу. Останні два показники для одного процесу не є суперечними. Якщо кількість і розмір планових перевезень на горизонті планування є сталими, то таку задачу вважають статичною. Її розв'язують уже згаданими методами математичного програмування, евристичними, або метаевристичними методами. Замовлення, які планується виконати, характеризуються пунктом відправлення і доставки вантажів. Тривалість виконання кожного із них є випадкова величина, яку оцінено математичним сподіванням  $\bar{t}_i$  та відомим відхиленням. Також кожне замовлення має допустимі часові відхилення їх виконання – часові вікна. Межі часового вікна –  $t_{b,i}$ , найбільш ранній момент часу, до якого його неможливо виконати і  $t_{e,i}$  – найбільш пізній момент часу, не пізніше якого це замовлення повинно бути виконане. Розмір часового вікна є, переважно, значно більшим, ніж максимальні відхилення часу виконання самого замовлення. Знайдені розв'язки статичної задачі раніше задовольняли диспетчерські служби перевізника за точністю і надійністю. На практиці максимальна кількість запланованих замовлень не перевищує 100-120, що дає змогу побудувати наближений до оптимального розклад з оцінкою його

відхилення. Отже, попередній оптимальний розклад – це множина  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , для  $N_a$  автомобілів, з яких у транспортному процесі задіяно кількість  $N_{a1}$ . Інші транспортні засоби є у резерві. Мінімальний час виконання проекту –  $T_1$ ,  $T_{pr} > T_1$ . При виконанні проекту у деякий момент часу від нульового відліку  $0 < t < T_{pr}$  виникають непередбачені обставини, серед яких можливі такі:

- а) надійшли нові замовлення з часовими вікнами, які перетинаються з горизонтом планування;
- б) відмінено прогнозоване замовлення;
- в) збільшився / зменшився прогнозований час транспортування  $t_{ij}$ , де  $i, j$ , відповідно, пункт відправки і приймання вантажу;
- г) транспортний засіб вийшов з ладу і зійшов з маршруту.

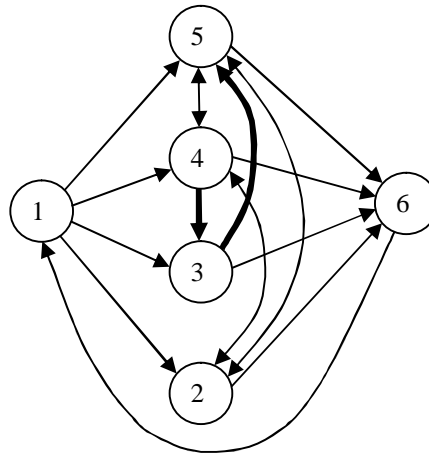
Наявність таких подій переводить статичну задачу маршрутизації в динамічну. Такі події мають випадковий характер і згідно з дослідженнями, підпорядковуються Пуассонівському закону [20]. Реакція на такі події перевізників може бути такою, що приймається, або відхиляється одне з можливих рішень:

- а) відмовити у виконанні нових замовлень;
- б) проігнорувати скасовані замовлення;
- в) змінити послідовність виконання замовлень;
- г) змінити кількість транспортних засобів на маршрутах, у тому числі, з врахуванням резерву.

У цій роботі ми будемо намагатись вирішити два актуальні питання. По-перше, чи вплинуть зміни до попереднього замовлення на його якість, яка досягнута раніше? По-друге, як може вплинути на процес побудови/корекції оптимального розкладу і маршрутів наявність інформації про властивості планових та нових замовлень.

Використовуючи ознаки сумісності, можна ще на стадії складання початкового розкладу згрупувати замовлення в такі, які будуть виконуватись в одному потоці. Повертаючись до попереднього прикладу статичної задачі, можемо відмітити на початковому графі дугами відношення повної сумісності

між вершинами, або відсутністю дуги чи ребра – повної несумісності (рис. 2.7).



*Рисунок 2.7 – Модель для складання розкладу із відміченими на ній відношеннями повної сумісності замовлень (суцільна потовщена стрілка)*

Якщо порівняти дану на рис. 2.7 модель з початковою на рис. 2.1, то можемо помітити повну сумісність замовлень 4-3 і 3-5, а також несумісність замовлень 2-3 і 3-2. Таке групування значно спростило оптимізацію побудови розкладу і привело до того ж результату, що на рис. 2.1. Якщо кількість замовлень збільшиться, то можна припустити, що якість побудованого розкладу буде кращою, ніж при застосуванні описаного вище евристичного алгоритму без класифікації і групування об'єктів. Якщо впродовж планового горизонту надходять незаплановані замовлення, то, враховуючи їх часові параметри, їх також можна класифікувати. Для того, щоб виробити оптимальне рішення про порядок виконання незапланованих завдань, потрібно знову побудувати невпорядкований змішаний граф з врахуванням того, що у ньому вже будуть відсутні ребра, які з'єднували вершини, які у момент надходження нових замовлень уже є виключеними з поточного розкладу, бо події, які вони представляють, відбулись.

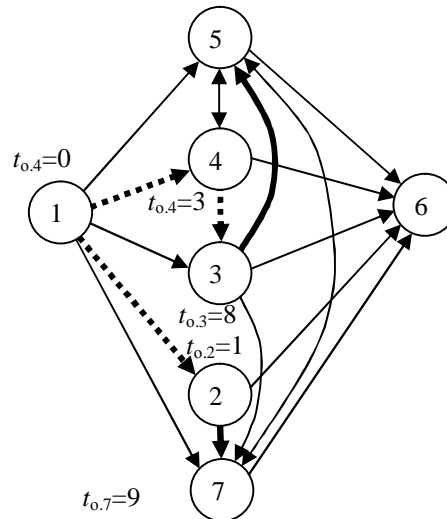


Рисунок 2.8 – Модель для коригування розкладу виконання замовлень після надходження незапланованого замовлення 7, кількість автомобілів  $m=2$

Складність впорядкування нового графа не буде вищою, ніж попереднього, оскільки нові вершини мають встановлені зв'язки сумісності, а частина вершин вже є вилученими з розгляду. Розглянемо для прикладу приведену вище модель з чотирма замовленнями і двома автомобілями. Раніше вона була впорядкованою і мала вигляд, як на рис. 2.2. В момент часу  $t_{0,7}=9$  год. від початку реалізації плану перевезень два автомобілі розпочали рух по мережі. Один з них в момент  $t_{0,4}=3$  год. уже виконав замовлення 4 і відправлений до наступного пункту для виконання завдання 3, яке, згідно з розкладом, завершилось в момент  $t_{0,3}=8$  год. Інший транспортний засіб виконав уже замовлення 2 і згідно попереднього розкладу мав би завершити план перевезень. Нове замовлення 7 за параметрами є цілком сумісним із замовленням 2. Тому наступна реоптимізація призводить до змін у розкладі, за якими другий автомобіль після виконання замовлення 2 має виконати нове замовлення 7. При цьому загальна тривалість проекту не збільшується, отже продуктивність обох автомобілів зростає.



## **2.2 Застосування комп'ютерної програми побудови оптимального розкладу роботи вантажних автопоїздів на магістральній транспортній мережі**

2.2.1 Призначення програми та основні її можливості. Комп'ютерна програма "Schedule-14" призначена для використання в галузі диспетчерського керування парком автомобільних транспортних засобів, які здійснюють вантажні магістральні перевезення. Вона дає можливість вказати моменти відправлення і прибуття автомобілів з транспортних пунктів, враховуючи тривалість їх руху по магістралях, тривалість вимушеного простою, а також наявну інформацію про ймовірні замовлення на перевезення при наявності часових обмежень. Побудований програмою за використанням алгоритмом розклад роботи автопоїздів є найкоротшим за тривалістю для групи автомобілів. Розроблений під програмою алгоритм побудови спільного циклічного унітарного розкладу з часовими вікнами, дає наближений розв'язок задачі побудови розкладів з достатньою точністю оцінки відхилення за прийнятний час для малих і великих масивів даних, які оперативно поновлюються.

2.2.2. Системні характеристики програми і способи її застосування. Програма написана кодами мови програмування Delphi 10.2. Програмний код скомпільовано в машинний, який представлено у вигляді застосунку Schedule14.exe, який може виконуватись на платформах Win-32, Win-64. Об'єм файлу – 11850 КБ. Програма використовується в інтерактивному режимі, однак може бути застосована із збереженими пакетними даними у вигляді зовнішнього txt-файла, який можна незалежно редагувати і вводити. В інтерактивному режимі в довільному порядку вводяться дані щодо відомих замовлень. Введені дані перевіряються програмою на коректність і видається, при наявності, інформація про фатальну помилку, через яку бажаний результат не може бути досягнуто. В режимі пакетного виконання програма використовує збережені дані із зовнішнього файлу, також перевіряє можливість їх застосування і видає результат. В обох випадках результати

моделювання і обчислення параметрів оптимального розкладу представляються у вікні результатів і, одночасно, записуються у зовнішній файл, для якого вказується його розташування на жорсткому диску.

2.2.3 Опис алгоритму. Формулювання задачі, яка розв'язується програмним продуктом “Schedule-14” є таким. Задано: 1) тривалість деякого планового періоду  $T$  (періоду прогнозування; 2) множина замовлень для автотранспортного підприємства  $P = \{1, 2, \dots, p\}$ , які потрібно виконати з мінімальними затримками часу одним, або декількома транспортними засобами різних типів; 3) зміст кожного замовлення, який полягає в тому, щоб доставити унітарний гурт вантажів  $Q_{i,j}$  від деякого пункту  $g_i$  до іншого  $g_j$ ,  $i, j = 1 \dots n$ ,  $n < p$ ; 4) множина транспортних засобів  $M_k$ ,  $k = 1 \dots m$ , де  $k$  – тип автомобіля за вантажністю які спочатку періоду  $T$  розташовані на транспортній мережі випадковим чином. Прийнято, що між будь-якими двома пунктами на заданій транспортній мережі існує шлях (мережа – сильно зв'язана), отже відстань між ними відома, але для зручності вона оцінюється опосередковано – часом руху  $t_{i,j}$  при відомій сталій середній експлуатаційній швидкості. До програми входять внутрішні дані про транспортну мережу у вигляді матриці середніх тривалостей сполучень між заданими пунктами  $t_{i,j}$ . Кожен з пунктів мережі може бути водночас відправником, і/або споживачем вантажів. Оскільки завдання побудови розкладів стосується магістральних перевезень (міжміських, міжнародних), то головним критерієм для перевізника тут, переважно, є максимальний пробіг з вантажем впродовж заданого періоду. В даному випадку задача розв'язується з критерієм мінімального часу марних пробігів. Звичайною умовою таких доставок є і те, що кожен готовий гурт вантажів не може бути перевезений частинами. Прийнято також, що  $Q_{i,j} \leq q_k$ , де  $q_k$  – номінальна вантажність  $k$ -го транспортного засобу для будь-якого  $k = 1, \dots, m$ . Це означає, що усі наявні транспортних засобів можуть обслуговувати лише одне замовлення за одну поїздку водночас. Тривалість виконання замовлення є випадковою величиною

з відомою оцінкою розподілу та, відповідно, математичним сподіванням часу  $\bar{t}$ , який складається з величин:

$$\bar{t} = t_{i,j} + t_u + t_{m.x.} + t_{org.}, \quad (2.7)$$

де  $t_{i,j}$  – час руху при доставці вантажу від пункту  $g_i$  до  $g_j$  при виконанні даного замовлення;

$t_u$  – час вантажних робіт в  $g_i$  пункті,

$t_{m. x.}$  – час на марний пробіг до  $g_i$  пункту, необхідний для початку виконання замовлення;

$t_{org.}$  – час організаційних простоїв.

Кожне  $i$ -те замовлення має такі характеристики: 1) момент часу  $t_{b,i}$ , не раніше якого його потрібно розпочати виконувати у пункті його відвантаження; 2) момент початку виконання  $i$ -го замовлення  $t_{o,i}$ ; 3) момент часу  $t_{e,i}$ , до якого його потрібно завершити, 4) момент його фактичного завершення  $t_{f,i}$  у кінцевому пункті його доставки. Параметри  $t_{b,i}$  і  $t_{e,i}$  є вхідними, заданими, а параметри  $t_{o,i}$  і  $t_{f,i}$  – такими, які потрібно знайти. Оскільки тривалість  $\bar{t}_i \in T$ , то впродовж планового періоду кожен з автомобілів може виконати декілька замовлень. Щоб розпочати перше з них, транспортний засіб потрібно подати в той пункт, де замовлення є сформоване не пізніше директивного моменту часу  $t_{e,i}$ , до якого воно має бути виконане. Отже, алгоритм враховує тривалість нульових пробігів, а також час руху  $t_{i,j}$ . Для виконання кожного наступного замовлення транспортний засіб потрібно подати для завантаження в сусідній транспортний пункт, де є відповідний запит, або ж завантажити у тому ж таки пункті, де відбулося попереднє розвантаження.

Алгоритм видає, з одного боку, найкоротший за марним пробігом маршрут руху для кожного транспортного засобу, який буде задіяний в процесі, а з іншого – найкращий розклад виконання замовлень для сукупності

автопоїздів з мінімальними непродуктивними простоями при наявності часових обмежень, тобто без затримок. Алгоритм є недетермінованим, дає наближений оптимальний розв'язок з нижньою оцінкою досягнення глобального значення критерію за поліноміальний час [1]. Для його розроблення використано метод впорядкування змішаних графів [2].

2.2.4 Структура і виконання програми “Schedule-14”. Константи програми (у кожній версії програми вони мають різне числове значення):

$T$  – максимальний дозволений час виконання проекту (максимальна тривалість прогнозованого періоду), год.;

$N$  – загальна кількість замовлень, які потрібно виконати за період  $T$ ;

$P$  – загальна кількість транспортних пунктів, між якими здійснюється перевезення вантажів;

$L_m$  – масив тривалостей руху транспортних засобів, розміром  $P * P$ .

Програма “Schedule-14” може мати декілька версій, залежно від перелічених вище констант.

Змінні програми:

1)  $Zb, Ze$  – вектори номерів транспортних пунктів, відповідно, відправлення і призначення вантажів для кожного замовлення;

2)  $V, t\_begin, t\_end$  – вектори, відповідно, найдовшого ланцюга, моментів початку виконання, моментів закінчення виконання, які стосуються кожного окремого замовлення;

3)  $t\_early\_begin, t\_latest\_end$  – вектори, відповідно, моментів найбільш раннього початку і найбільш пізнього завершення виконання замовлень;

4)  $A, A_0, A_1, A_2$  – двохвимірні масиви часових зв'язків між замовленнями, відповідно, які відображають дуги і ребра, які відображають тільки дуги і не містять контурів, копії попередніх двох;

5)  $H_1, H_2$  – допоміжні масиви, які відображають допоміжний неорієнтований граф  $H_k(G_k, V_k)$ , залежно від того, які операції над ним здійснюються.

Також використані інші допоміжні змінні цілочисельного та дійсного типу. Змінні груп 1, 3 – це початкові дані програми “Sceduling-14”. Інші змінні створюються і використовуються в програмі згідно її алгоритмом. Механізм виконання програми можна відобразити на такій моделі.

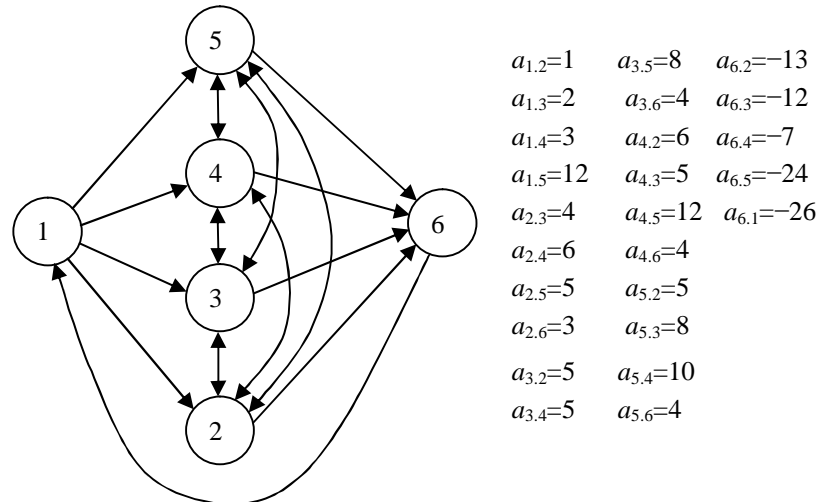


Рисунок 2.6 – Тестова модель складання розкладу виконання замовлень на перевезення вантажів:  $a_{i,j}$  – ваги відповідних дуг

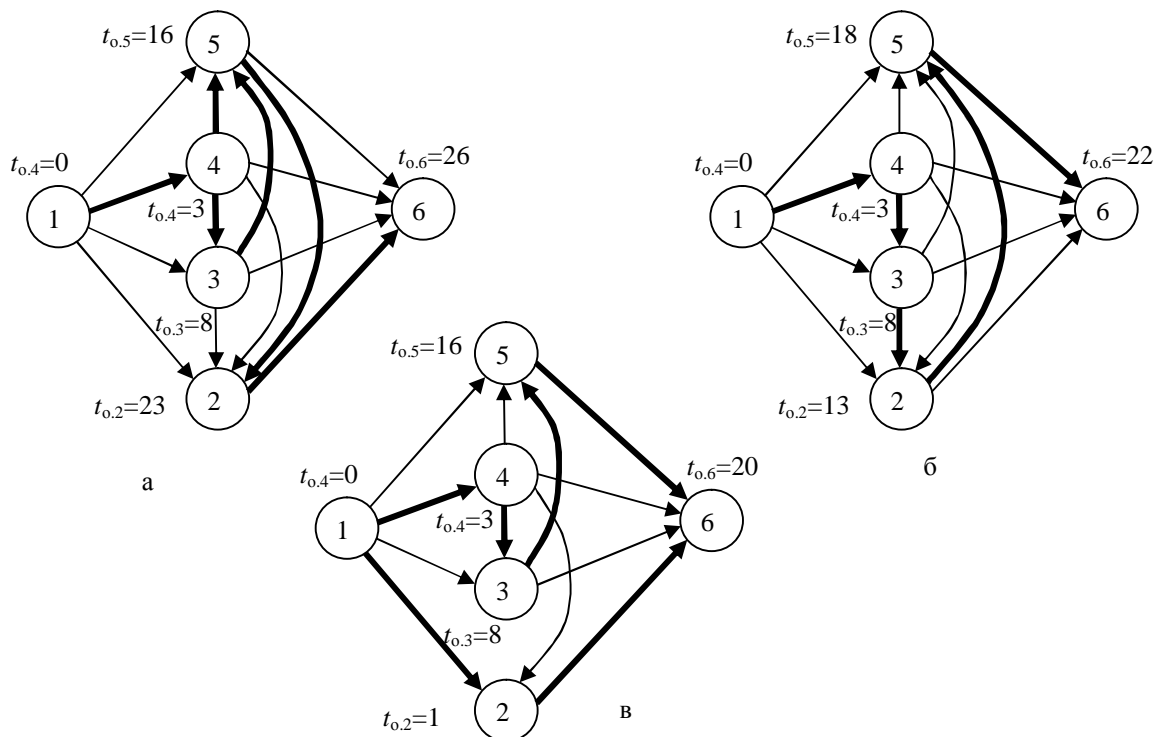


Рисунок 2.7 – Результати впорядкування змішаного початкового графа: а) при відсутності обмежень на директивні терміни завершення виконання замовлень, кількість автомобілів  $m=1$ ; б) при наявності обмежень на директивні терміни завершення виконання замовлень, кількість автомобілів  $m=1$ ; в) при наявності обмежень на директивні терміни завершення виконання замовлень, кількість автомобілів  $m=2$

Приклад початкової невпорядкованої моделі замовлень подано на рис. 2.7. Окремі результати оптимізації за розробленим алгоритмом подано на рис. 2.8. Потовщеними стрілками показані дуги на результуючих графах, які входять до критичного шляху, тобто такі, за якими обчислюються моменти ранніх закінчень виконання замовлень  $t_{o,i}$ .

№ замовлення	Найбільш ранній початок, год	Найбільш пізніє закінчення	Пункт завантаження	Пункт розвантаження	Тип автомобіля
2	2	12	2	4	1
3	12	18	1	4	1
4	5	26	5	3	1
5	0	12	3	2	1

Рисунок 2.8 – Вигляд початкової форми програми

На рис. 2.8 показано форму для введення початкових даних програми. В даному випадку програма має виконати впорядкування і побудову розкладу для 4-х замовлень (перше вважається фіктивним – нульовий пробіг автомобілів). Дані стосовно найбільш раннього початку і найбільш пізнього закінчення відображають час від початкового моменту складання проекту у годинах. Код кожного типу автомобіля стосується його максимальної вантажності. Усі поля даної форми мають бути заповнені. Якщо цього не буде зроблено, а програма буде запущена на старт з допомогою кнопки «Старт програми», у вікні результатів буде відображено відповідне повідомлення. Після введення усіх даних у поля форми їх можна зберегти у зовнішній файл Orient.txt, структуру якого показано нижче.

№ зам.	Найбільш ранній поч.	Найпізніше закінчення	Поч. пункт	Кінц. пункт	Код типу автомоб.
2	2	18	2	4	1
3	12	20	5	4	1
4	5	25	3	1	1
5	0	10	4	3	1

6                    2                    40                    1                    1                    1

Якщо такий файл було створено раніше і збережено у папці, де міститься програма, то ці дані можна попередньо відредагувати, завантажити з допомогою кнопки «Завантажити дані із файла», вказавши його розташування.

Результати виконання програми записуються у зовнішній файл “Message.txt”. Приклад результатів подано нижче.

Замовлення 2 початок = 2.00 завершення 7.5 виконується автомобілем №1  
 Замовлення 3 початок = 14.00 завершення 17.5 виконується автомобілем №1  
 Замовлення 4 початок = 20.50 завершення 25.5 виконується автомобілем №1  
 Замовлення 5 початок = 9.50 завершення 12.0 виконується автомобілем № 1  
 Мінімальна тривалість цього проекту = 25.5 год.

Запропонована програма оптимізації та відповідний алгоритм дає змогу отримати бажані часові параметри унітарного циклічного розкладу парку АТЗ, розподіленого на магістральній мережі. На відміну від відомих, він послідовно наближує до локальних оптимальних значень моментів початку виконання замовлень і забезпечує дотримання часових вікон. Також алгоритм передбачає можливість моделювати початкові умови оптимізації, перш за все – зі змінним парком транспортних засобів, який застосовується.

## 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Початкові дані для розрахунку

Найбільш відомий описаний алгоритм було застосовано і для більшого масиву даних. На транспортній мережі, яка відображає Львівську область тобто розміром, приблизно 150\*150 км, розглядались замовлення на перевезення вантажів між містами. Середня тривалість поїздки між містами становить  $6,5 \pm 3,5$  год. Парк транспортних засобів початково розташований в обласному центрі. Його чисельність становить 40 автомобілів. Такою ж є максимальна початкова кількість замовлень. Іншими словами, є можливість розподілити наявні замовлення між наявним парком так, що кожен транспортний засіб буде зайнятий. Перевезення вантажів виконуються маятниковими маршрутами, однак, якщо пункт споживання і пункт відправлення вантажів співпадає, то можлива версія кільцевого маршруту з розривом вантажопотоку. Максимальний горизонт планування становив 195 годин безперервного часу, тобто приблизно 8 діб. Кожне замовлення характеризується середньою тривалістю його виконання а також часовими вікнами. Таким чином, у множині замовлень були встановлені відношення сумісності між парами подій. Коефіцієнт їх повної сумісності становив  $K_{com}=0,1$ , часткової сумісності  $K_{p.com}=0,5$ , коефіцієнт несумісності –  $K_{inc}=0,2$ . Усі замовлення є періодичними і вони так розташовані на вказаній географічній території, що з усіх 44 міст області в проекті залучено 10, а з загальної протяжності доріг обласного і державного значення 31,5 тис. км для виконання усіх замовлень може бути використано, приблизно 20%. Упродовж планового періоду до перевізника надходять нові замовлення, які можна описати Пуассонівським процесом з інтенсивністю  $\lambda=0,09$  замовлень за годину [1].

### 3.2. Результати моделювання

Нові вимоги на перевезення є такими, що вони не змінюють прийняті раніше показники сумісності.



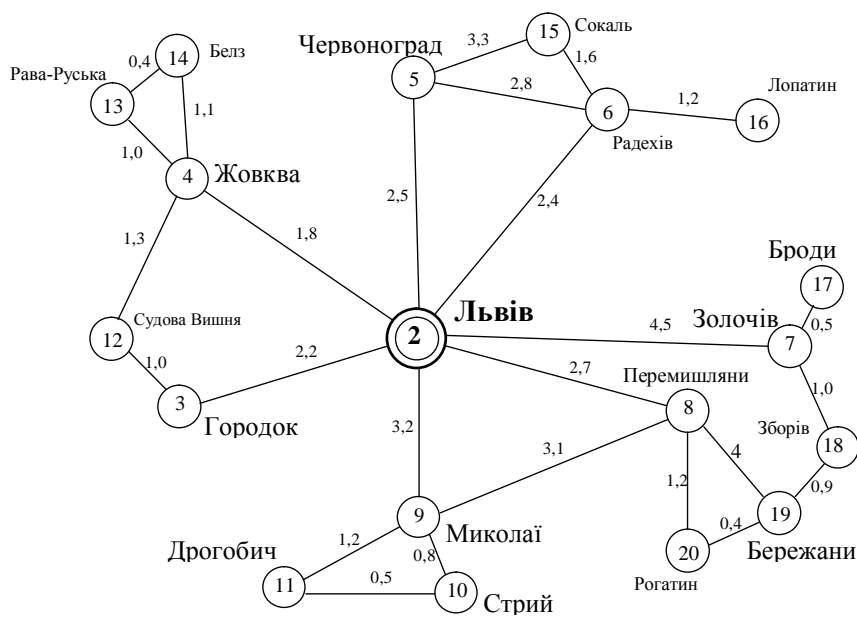


Рисунок 3.1 – Модель транспортної мережі

Приймалось, що обсяг перевезення відповідає вантажомісткості кожного з наявних транспортних засобів у парку.

Початкова оптимізація відомих замовлень виконувалась зі змінним горизонтом: 20...195 годин. Залежність кількості планових замовлень від тривалості прогнозування відображена на рис. 3.2. Ці дані отримано з транспортно-логістичного підприємства на основі відомості заявок.

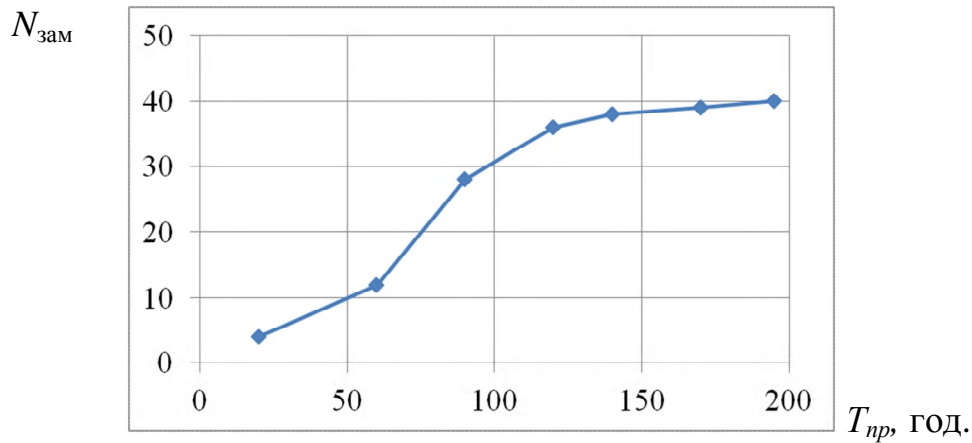


Рисунок 3.2 – Залежність кількості планових замовлень тривалості горизонту планування

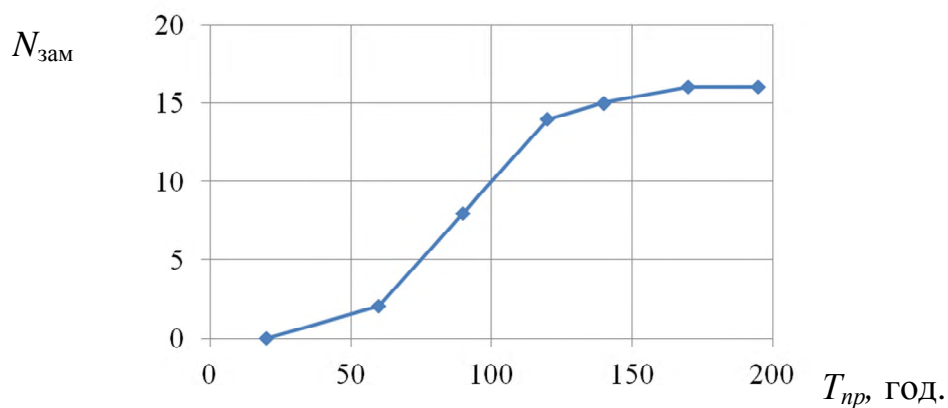


Рисунок 3.3– Залежність кількості позапланових замовлень тривалості горизонту планування

Кількість випадкових замовлень, які надходять у відведений період планування показано на рис.3.4.

При побудові розкладів і маршрутів з різним горизонтом планування властивості замовлень і розташування транспортних засобів у початковий момент залишались сталими. Це стосувалось їх часових вікон, середньої тривалості та інших. У таблицях 3.1-3.2 подано результати оптимізації за двома методиками: при застосуванні запропонованої класифікації замовлень і групуванні їх, і за евристичним алгоритмом «гілок і меж» [22].

**Таблиця 3.1 – Показники якості побудованих динамічних розкладів при початковій плановій кількості замовлень 40**

Показник, одиниця вимірювання	Методика побудови		Рівень нового алгоритму, %
	гілок і меж, без класифікації замовлень	гілок і меж з попередньою класифікацією замовлень	
Горизонт планування, годин	195	195	0,0
Кількість фактично виконаних планових замовлень	33	36	+9,1
Кількість фактично виконаних незапланованих замовлень	14	16	+14,3
Кількість фактично задіяних автомобілів	38	36	-5,3
Мінімальна гарантована тривалість проекту, годин	22,2	19,5	-12,2
Тривалість пробігу усіх автомобілів з вантажем, годин	312	346	+10,9
Тривалість марного пробігу усіх автомобілів, годин	112	94	-16,1
Тривалість простою усіх автомобілів, годин	84	47	-44,0

У першому випадку на початкову модель накладаються обмеження, але вони є такі, що приймаються завідома найкращі рішення.

Як видно з результатів та їх порівняння запропонований алгоритм показує вищий рівень якості розкладів і маршрутизації.

**Таблиця 3.2 – Показники якості побудованих динамічних розкладів при початковій плановій кількості замовлень 36**

Показник, одиниця вимірювання	Методика побудови		Рівень нового алгоритму, %
	гілок і меж, без класифікації замовлень	гілок і меж з попередньою класифікацією замовлень	
Горизонт планування, годин	120	120	–
Кількість виконаних замовлень	27	32	+18,5%
Кількість фактично виконаних незапланованих замовлень	12	14	+16,7%
Кількість автомобілів	30	26	–13,3%
Мінімальна тривалість проекту, годин	22,2	19,5	–12,2%
Тривалість пробігу автомобілів, годин	265	246	–7,2%
Тривалість марного пробігу усіх автомобілів, годин	87	84	–3,4%
Тривалість простою автомобілів, годин	24	17	–29,2%

Це особливо помітно за показником непродуктивного простою транспортних засобів, який має місце внаслідок того, що виконання замовлення є неузгоджене в часі. Простої відбуваються тоді, коли транспортний засіб уже виконав попереднє замовлення, а наступне ще не може бути розпочате, або тоді, коли усі актуальні замовлення вже виконані, або розподілені, а нових немає.

З трьох таблиць видно, що показник простою особливо актуальний при великому горизонті планування. При фактичній кількості 36 планових і 16 незапланованих замовлень застосування алгоритму з класифікацією дає до 44% зниження простою усіх транспортних засобів, які були задіяні в проекті.

Таблиця 3.3 – Показники якості побудованих динамічних розкладів при початковій плановій кількості замовлень 4

Показник, одиниця вимірювання	Методика побудови		Рівень нового алгоритму, %
	гілок і меж, без класифікації замовлень	гілок і меж з попередньою класифікацією замовлень	
Горизонт планування, годин	20	20	–
Кількість фактично виконаних планових замовлень	4	4	0
Кількість фактично виконаних незапланованих замовлень	0	0	0
Кількість фактично задіяних автомобілів	2	2	0
Мінімальна гарантована тривалість проекту, годин	19,6	19,4	–1,0%
Тривалість пробігу усіх автомобілів з вантажем, годин	30,2	30,2	0
Тривалість марного пробігу усіх автомобілів, годин	5,2	4,4	–15,4%
Тривалість простою усіх автомобілів, годин	1,4	1,2	–14,3%

При меншому плановому горизонті 120 годин кількість фактично виконаних запланованих замовлень становить 32, а незапланованих – 14. Хоча обсяг виконання замовлень зменшився незначно, але у цьому випадку тривалість простою була скорочена не так багато – 29,2%. Це пов'язано, у першу чергу, з тим, що тривалість проекту в цілому не змінилась, отже алгоритм привів до ущільнення розкладу при незначному зменшенні фактично виконаних робіт. Зменшення планового горизонту не впливає суттєво на якість розкладу. Адже співвідношення періоду планування  $T_{pr}$  і гарантованої тривалості проекту становить 1:8,8 та 1:5,4, тобто прогнозований час перевищує проектний щонайменше в 5,5 раз. Якщо

проаналізувати дані таблиці 2.3, то тут стає очевидним, що алгоритм оптимізації з попередньою класифікацією є неефективним. Але у цьому випадку маршрутизація і складання розкладів – це, фактично, статичний процес, оскільки незапланованих замовлень немає.

Досліджено також вплив кількості залучених у процесі транспортних засобів на тривалість виконання фіксованої кількості замовлень. Серед замовлень є 40 планових і 12 – непланових. Якщо кількість транспортних засобів, які мають їх виконати, збільшити з 14 до максимальної 40 одиниць, то тривалість процесу зменшуватиметься, однак нелінійно. При дослідженнях встановлена умова, що усі 52 замовлення мають бути виконані. Як видно рис. 9, збільшення числа автомобілів понад 31 не приводить до скорочення тривалості проекту, оскільки роботи розподілятимуться між наявними автомобілями, а їх продуктивність зменшуватиметься.

## **4 РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ З ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ**

### **4.1 Архітектура інформаційної системи динамічної маршрутизації**

На рис. 4.1 показано запропоновану архітектуру системи для відстеження та моніторингу поставок свіжих продуктів у режимі реального часу. Основні апаратні та програмні компоненти запропонованої архітектури системи описані таким чином.

1) Сенсорний вузол: Сенсорні вузли розгорнуті в контейнері автомобіля, що транспортує вантаж, для моніторингу температури, вологості тощо.

2) Головний вузол: Головний вузол збирає дані датчиків із вузлів датчиків у контейнері та передає дані на пристрій Android за допомогою інтерфейсу USB або Bluetooth.

3) Пристрій Android: мобільний пристрій на базі операційної системи Android використовується для збору даних датчиків, зібраних головним вузлом, збору даних про місцезнаходження GPS за допомогою вбудованого датчика GPS і передачі даних через бездротову глобальну мережу (WWAN) до центр обробки даних.

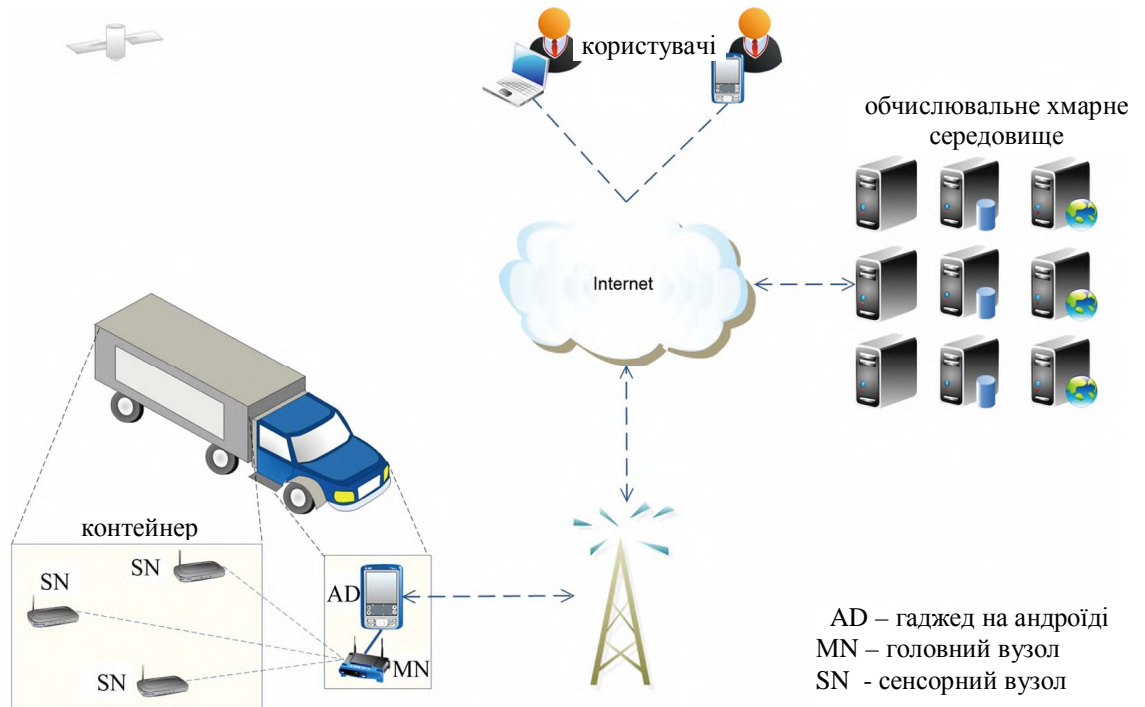
4) Інфраструктура зв'язку: пристрої Android використовують технології стільникової мережі, такі як WIMAX, GPRS, EDGE, 3G тощо, надані постачальником послуг бездротового зв'язку, який має національне чи навіть глобальне покриття.

5) Хмарна організація даних та інфраструктура аналізу: дані, що передаються пристроями Android, встановленими в транспортних засобах, збираються та організуються в обчислювальній хмарі.

Запропонована платформа CloudTrack використовується для організації та аналізу даних [19].

На рис. 4.1 показано архітектуру структури CloudTrack для відстеження та моніторингу поставок свіжих продуктів у режимі реального часу. CloudTrack базується на Hadoop [19], який є платформою для запуску

додатків у великих кластерах, побудованих із стандартного обладнання. Hadoop складається з двох основних компонентів.



*Рисунок 4.1 – Запропонована архітектура системи для відстеження та моніторингу поставок вантажів у режимі реального часу в межах міста.*

1) Розподілена файлова система Hadoop (HDFS): HDFS зберігає файли в колекції вузлів у кластері. Великі файли розбиваються на блоки (64 МБ за замовчуванням), і кожен блок записується на кілька вузлів (за замовчуванням три) для відмовостійкості [15].

2) MapReduce: MapReduce — це модель паралельної обробки даних, яка складається з двох фаз: Map і Reduce. На етапі карти дані зчитуються з розподіленої файлової системи (наприклад, HDFS), розподіляються серед набору обчислювальних вузлів у кластері та надсилаються до вузлів як набір пар ключ-значення. Завдання Map обробляють вхідні записи незалежно одна від одної та створюють проміжні результати як пари ключ-значення. Проміжні результати зберігаються на локальному диску вузла, на якому виконується завдання Map.



Коли всі завдання Map завершені, починається фаза Reduce, під час якої проміжні дані з однаковим ключем агрегуються.

Збирачі даних у структурі CloudTrack збирають поточкові дані часових рядів із головних вузлів транспортних засобів. Кожен вхідний потік даних відображається на одному з вузлів Data Collector, як показано на рис. 4.2.

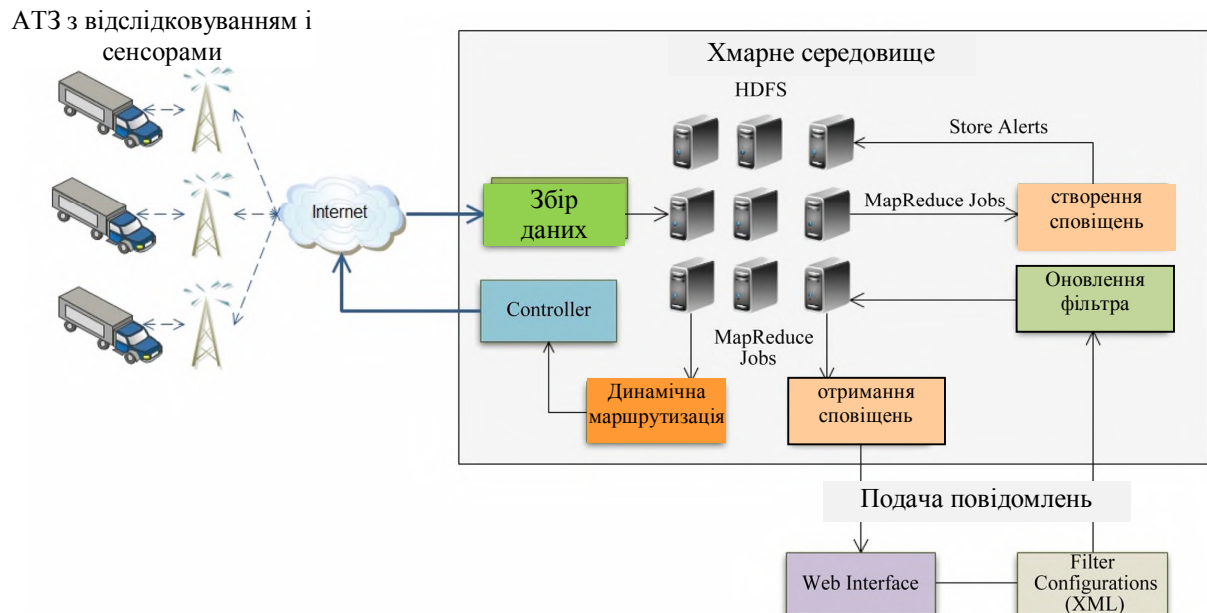


Рисунок 4.2 – Збирачі даних у структурі CloudTrack

Кожен вузол збирача даних має агрегатор даних, фільтр даних і модуль архіватора даних. Оскільки необроблені дані про місцезнаходження та датчики надходять із великої кількості транспортних засобів у формі потоків даних, дані потрібно попередньо обробити, щоб зробити аналіз даних за допомогою Hadoop ефективнішим. Модель обробки даних Hadoop MapReduce працює ефективніше з невеликою кількістю великих файлів, ніж з великою кількістю маленьких файлів. Збирачі даних буферизують, попередньо обробляють і фільтрують поточкові дані на більші фрагменти (які називаються файлами послідовності) і зберігають їх у HDFS. Збирачі даних використовують клас Hadoop Sequence File, який забезпечує постійну структуру даних і служить контейнером для кількох записів. Оскільки HDFS і

MapReduce оптимізовані для обробки великих файлів, упаковка записів у файл послідовності робить обробку даних більш ефективною. Агрегатор даних збирає потоки даних про місцезнаходження та датчиків у файли неструктурованої послідовності на локальному диску вузла збирача даних. Фільтр даних перетворює файли неструктурованої послідовності на структуровані записи шляхом аналізу записів (рядків) у файлах неструктурованої послідовності та вилучення показань датчиків. Фільтр даних також відфільтровує погані записи, у яких відсутні показання деяких датчиків. Архіватор даних переміщує структуровані записи до HDFS.

#### **4.2 Модуль створення сповіщень**

Зібрані дані обробляються для створення сповіщень на основі визначених користувачем фільтрів для створення сповіщень. Цей модуль створення сповіщень збирає сповіщення в базу сповіщень (базу даних сповіщень), яка організована в керовану структуру в HDFS. Сповіщення в реальному часі створюються з використанням даних про місцезнаходження та датчиків, зібраних у невеликому часовому вікні. Офлайн-сповіщення також можна створювати на основі минулих даних про місцезнаходження та датчиків. Модуль отримання сповіщень отримує сповіщення для відображення їх на інформаційній панелі CloudTrack. Користувач може шукати певний транспортний засіб за номером транспортного засобу, типом транспортного засобу, місцем прибуття або відправлення. Потім модуль отримання сповіщень отримує сповіщення для цього конкретного транспортного засобу з бази сповіщень. Модуль контролера надсилає нові маршрути, згенеровані динамічним планувальником, усім транспортним засобам. Крім того, транспортні засоби також можуть отримувати нові маршрути та додаткову інформацію про транспортні засоби поблизу з контролера.

Модуль Dynamic Vehicle Routing генерує маршрути для транспортних засобів на основі даних, зібраних у реальному часі, щоб мінімізувати

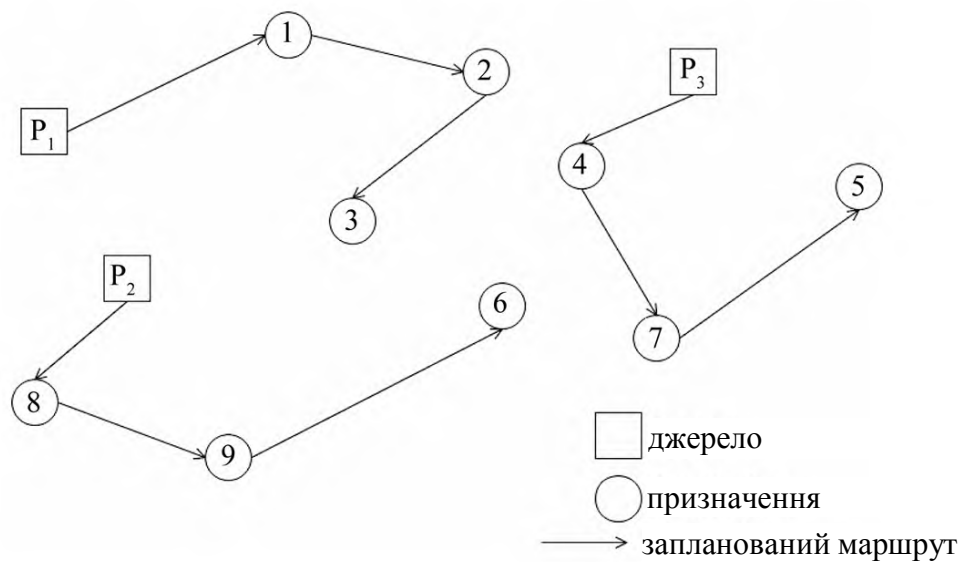
псування свіжих продуктів. Відхилення від запланованого графіка відбуваються через зміну умов руху. Крім того, можуть відбуватися зміни в умовах контейнера, наприклад підвищення температури через несправність системи охолодження тощо. За допомогою CloudTrack можна мати глобальний огляд усіх транспортних засобів у дорозі. Модуль Dynamic Vehicle Routing Module створює нові маршрути для транспортних засобів, коли надходять сповіщення. Наприклад, транспортний засіб, який неминуче пропустить крайній термін до запланованого пункту призначення та має обмежений проміжок часу до початку псування їжі, може бути перенаправлений до ближчого пункту призначення. Знання про змінні стану транспортного засобу (такі як місткість вантажівки, місцезнаходження, швидкість, температура контейнера тощо) і транспортних засобів поблизу є важливими для створення нових маршрутів. Маршрути створені для мінімізації псування їжі та витрат на транспортування. Економія досягається завдяки розподілу транспортних витрат на загальних маршрутах за рахунок кращого використання транспортних засобів і кращого перенаправлення транспортних засобів у разі затримок.

Замість того, щоб пропонувати нові алгоритми для маршрутизації транспортних засобів (що є загальноприйнятною областю досліджень у транспортних системах), ми намагалися створити хмарну структуру, яка підтримує широкий спектр алгоритмів маршрутизації транспортних засобів у хмарній архітектурі.

### **4.3 Застосування динамічної маршрутизації в межах міста**

Тепер ми опишемо типовий випадок використання динамічного маршрутизації транспортного засобу в межах міста. Для прикладу використання ми використали алгоритм Tabu Search [16]. CloudTrack є гнучким для підтримки інших алгоритмів динамічної маршрутизації. Для прикладу використання ми обрали Tabu Search, оскільки він широко

застосовувався для різних типів проблем оптимізації з дуже хорошими результатами.



*Рисунок 4.3 – Приклад маршруту АТЗ для доставки швидкокусувних вантажів в межах міста*

На рисунку 4.3 показано приклад маршруту транспортного засобу для постачання їжі. Проблема маршрутизації стосується набору точок доставки їжі (показаних як джерела) і точок доставки (показаних як пункти призначення). Джерелами можуть бути або центри збору свіжих харчових продуктів, або склади, де харчові продукти тимчасово зберігаються перед розподілом. Місцями призначення можуть бути роздрібні магазини, де продаються свіжі продукти, або склади, де продукти зберігаються в холодильнику перед транспортуванням в інші місця. Проблема, описана в цьому розділі, стосується кількох транспортних засобів, які можуть починати та закінчувати свій маршрут у різних місцях.

Кількість маршрутів у задачі дорівнює кількості транспортних засобів. Кожен транспортний засіб має обмежену місткість і може обслуговувати обмежену кількість точок доставки. Початковий розклад складається таким чином, що кожна точка доставки відвідується лише один раз одним із

транспортних засобів. Структура Cloud-Track використовується для моніторингу даних у реальному часі, отриманих від усіх транспортних засобів, і маршрути транспортних засобів оновлюються, якщо є зміни в умовах, які можуть призвести до псування харчових продуктів під час транзиту.

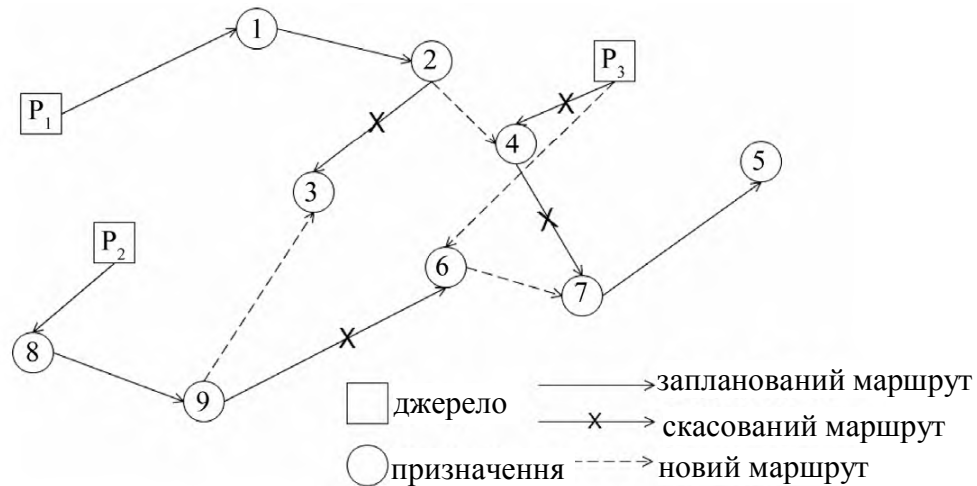


Рисунок 4.4 – Моделювання маршрутів з використанням он-лайн інформації

На рисунку 4.4 показаний приклад динамічного розкладу, який створюється після аналізу даних у реальному часі з АТЗ. У прикладі показано сценарій, коли транспортний засіб на маршруті №1 генерує сповіщення про затримку доставки до місця призначення №3. Це сповіщення запускає створення нових маршрутів, у яких транспортний засіб №1 перенаправляється до пункту призначення №4, транспортний засіб №2 перенаправляється до пункту призначення №3, а транспортний засіб №3 перенаправляється до пункту призначення №6.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1 Уможливлення безпеки руху**

Особливості липня місяця. Липень місяць характерний сталою теплою погодою, а також грозовими дощами. Керуючи автомобілем водій повинен пам'ятати про утворення на дорозі водоемульсійної плівки, що створює ефект гідроковзання на початку дощу і тому на проїзній частині в 2-3 рази збільшується гальмівний шлях.

Жарка погода швидко приводить до стомлення під час роботи. Рекомендується використовувати часи відстою для відпочинку. Водію потрібно бути уважним за кермом і обережним, володіти підвищеною увагою відноситись до виконання будь-якого маневру.

Застережні міри – при русі по об'їздах та в місцях проведення ремонтних робіт.

Значні перешкоди у дорожньому русі створюють місця проведення ремонту, тому і зменшується ширина проїзної частини, проїжджати такі місця, щоб не допустити наїзду на ремонтних робочих чи механізми, уникнути зіткнення з зустрічним транспортом. Потрібно зупинитись, увімкнути аварійну сигналізацію, поновлювати рух після звільнення проїзної частини.

Умови роботи при збільшенні інтенсивності руху транспорту та пішоходів. В літню пору значно збільшується кількість транспорту і пішоходів, і обстановка значно ускладнюється за рахунок таких учасників руху як мотоциклісти і велосипедисти.

Шини вантажного автомобіля. Згідно вимог п. 31.4.5 ПДР шини вантажного автомобіля повинні мати залишкову висоту протектора не менше як 1 мм. Забороняється установка на одну вісь шипів з малюнком протектора, а також радіальні разом з діагональними і шипи що мають пошкодження.

З настанням жаркої пори потрібно постійно контролювати тиск у шинах і підтримувати його в нормі. Завищений тиск може привести до розриву корту,

що може привести тяжких наслідків - виїзд на смугу зустрічного руху, з'їзд з проїзної частини.

## **5.2 Маневри і безпека руху транспортних засобів**

Всі вище зазначені фактори створюють певні труднощі для маневру і вимагають від водія бути обережним і уважним при виконанні маневру. Правила дорожнього руху України передбачають, що перед виконанням і кожен водій повинен впевнитись в тому, що маневр буде безпечним як для нього і інших учасників дорожнього руху. Впевнившись у безпечному для руху виконанні, чи об'їзду перешкоди, водій повинен вибрати безпечний боковий інтервал, або збільшити його під час атмосферних опадів. При перестроюванні в іншу смугу руху повинен пропустити транспортний засіб, котрий рухається у попутному напрямку на смузі, на яку водій має намір перестроюватись. Перевага в русі надається водію, який рухається у правій смузі, лише у разі одночасного перестроювання - водій у лівій смузі повинен пригальмувати, дати можливість водію з правої смуги перестроїтись у ліву і після цього зайняти праву смугу. При виконанні обгону чи перестроюванні забороняється "підрізати" напрямок руху транспортному засобу попутного напрямів, щоб не допустити ДТП - зіткнення транспортних засобів. При виконанні повороту направо чи ліворуч на перехресті водій завчасно повинен перестроїтись у потрібну смугу, ( крайню ліву чи крайню праву ), звернути увагу на сигнал світлофору чи на дорожній знак, розмітку, які надають перевагу в русі, впевнитись у безпечному виконанні повороту.

Дорожні умови в осінній період. Сукупність факторів, що характеризують дорожні умови в осінній період - наявність частих дощів, туманів, що чинять безпосередній вплив на стан автомобільних шляхів. При великих швидкостях руху особливо різко зменшується коефіцієнт зчеплення на мокрій, дорозі. Для досягнення доброго зчеплення коліс з дорогою необхідно, щоб плівка контакту швидко розходить при обертанні коліс. З зростанням швидкості руху плівка не встигає розсіятись. Внаслідок чого на

вологій ділянці дороги коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою може зменшитись у 5 раз. Тому водію треба знати дорогу перед виїздом у рейс. Першу інформацію про погодні умови водій одержує в АТП.

Для безпечного водіння дуже важливо вміти вірно обрати безпечну відстань між транспортними засобами: по довжині дороги - дистанцію, по ширині - інтервал. Залежно від швидкості руху, дорожньої обстановки, особливостей вантажу, що перевозиться і технічного стану транспортного засобу водій може додержуватись такої дистанції, щоб уникнути зіткнення в разі гальмування транспортного засобу, що рухається попереду.

Інтервал перебуває в прямій залежності від швидкості руху: чим вища швидкість, тим більший має бути інтервал. Однак інтервал, менший за 0,8 і більший за 2,5 м. не рекомендується. Інтервал понад 2,5 м може бути прийнятий водіями за вільний ряд руху. Що в разі-в'їзду між транспортними засобами, які рухаються, ускладнить ситуацію і може призвести до зіткнення кількох транспортних засобів.

У будь-якому випадку обрані дистанція та інтервал повинні забезпечувати безпеку для учасників руху.

### **5.3 Дії водія при дорожньо-транспортній пригоді**

Водій причетний до дорожньо-транспортної пригоди, повинен негайно зупинити транспортний засіб (за винятком випадків перекидання і деяких інших ситуацій, коли такі дії неможливі) і залишатися на місці її вчинення, увімкнути на транспортному засобі аварійну світлову сигналізацію і встановити на проїзній частині дороги в населеному пункті на відстані не ближче 20 м, а поза межами населеного пункту - 40 м від транспортного засобу знак аварійної зупинки або миготливий червоний ліхтар.



## ВИСНОВКИ

1. Аналіз відомих методик маршрутизації та складання розкладів транспортних засобів показав, що при зростанні кількості замовлень, особливо незапланованих, вони стають неефективними за якістю результатів.

2. Застосування попередньої класифікації є способом, який покращує результат. Відповідний алгоритм, який базується на впорядкуванні змішаних графів, використовує цілеспрямовані обмеження у вигляді орієнтованих зв'язків між замовленнями одного класу. Класифікація замовлень, власне, здійснена за ознаками часової сумісності з врахуванням часових вікон.

3. При застосуванні розробленої методики для динамічної маршрутизації і складання розкладів було виявлено, що вона дає суттєве покращення якості розкладу за показником простоювання. Але такий ефект досягається при великому горизонті планування і великих обсягах замовлень.

4. Враховуючи виконаний огляд, можна стверджувати, що адаптація вхідних даних і групування їх є кращим напрямком у вдосконаленні алгоритму динамічної оптимізації маршрутів парку транспортних засобів і може забезпечити вищу якість розв'язку.

5. Аналіз відомих методик маршрутизації та складання розкладів транспортних засобів показав, що при зростанні кількості замовлень, особливо незапланованих, вони стають неефективними за якістю результатів.

6. Застосування попередньої класифікації є способом, який покращує результат. Відповідний алгоритм, який базується на впорядкуванні змішаних графів, використовує цілеспрямовані обмеження у вигляді орієнтованих зв'язків між замовленнями одного класу. Класифікація замовлень, власне, здійснена за ознаками часової сумісності з врахуванням часових вікон.

7. При застосуванні методики для динамічної маршрутизації і складання розкладів було виявлено, що вона дає суттєве покращення якості розкладу за показником простоювання. Але такий ефект досягається при великому горизонті планування і великих обсягах замовлень.

8. У цій роботі ми пропонуємо CloudTrack як засіб і надаємо практичне дослідження того, як IT-інфраструктура може бути ефективно інтегрована в ланцюг постачання та операційні системи в межах міської зони.

9. Ми продемонстрували можливість використання CloudTrack як масштабованої платформи для інтелектуальних транспортних систем, що керуються даними, на основі нових хмарних моделей програмування та структур даних, Hadoop і MapReduce.

10. Застосування попередньої класифікації є способом, який покращує результат. Відповідний алгоритм, який базується на впорядкуванні змішаних графів, використовує цілеспрямовані обмеження у вигляді орієнтованих зв'язків між замовленнями одного класу. Класифікація замовлень, власне, здійснена за ознаками часової сумісності з врахуванням часових вікон.

11. При застосуванні розробленої методики для динамічної маршрутизації і складання розкладів було виявлено, що вона дає суттєве покращення якості розкладу за показником простоювання. Але такий ефект досягається при великому горизонті планування і великих обсягах замовлень.

12. Враховуючи виконаний огляд, можна стверджувати, що адаптація вхідних даних і групування їх є кращим напрямком у вдосконаленні алгоритму динамічної оптимізації маршрутів парку транспортних засобів і може забезпечити вищу якість розв'язку.

13. Аналіз відомих методик маршрутизації та складання розкладів транспортних засобів показав, що при зростанні кількості замовлень, особливо незапланованих, вони стають неефективними за якістю результатів.

14. Застосування попередньої класифікації є способом, який покращує результат. Відповідний алгоритм, який базується на впорядкуванні змішаних графів, використовує цілеспрямовані обмеження у вигляді орієнтованих зв'язків між замовленнями одного класу. Класифікація замовлень, власне, здійснена за ознаками часової сумісності з врахуванням часових вікон.

15. При застосуванні методики для динамічної маршрутизації і складання розкладів було виявлено, що вона дає суттєве покращення якості розкладу за

показником простоювання. Але такий ефект досягається при великому горизонті планування і великих обсягах замовлень.

16. У цій роботі ми пропонуємо CloudTrack як засіб і надаємо практичне дослідження того, як IT-інфраструктура може бути ефективно інтегрована в ланцюг постачання та операційні системи в межах міської зони.

17. Ми продемонстрували можливість використання CloudTrack як масштабованої платформи для інтелектуальних транспортних систем, що керуються даними, на основі нових хмарних моделей програмування та структур даних, Hadoop і MapReduce.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rodrigue J.-P., Comtois C., and Slack B. The geography of transport systems. Taylor & Francis. New York: 2006. 297 p.
2. Chausov M.; Maruschak P., Prentkovskis O., Karpets M. Risks associated with the use of high-strength titanium alloys in transportation systems. In: Kabashkin I., Yatskiv I., Prentkovskis O. (eds) *Reliability and Statistics in Transportation and Communication*. RelStat 2017. Lecture Notes in Networks and Systems, Springer, 2018, 36, 213-222. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74454-4\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74454-4_20)
3. Kapski D., Korzhova A. The analysis of various measures of the speed control of the traffic in the cities and settlements. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 2017. Vol. 2(2), P.26-34.
4. Chausov M.; Hutsaylyuk V., Maruschak P., Pylypenko A. Selection of the main controlling parameters of impact-oscillatory loading for maximum improvement of plastic properties of two-phase high-strength titanium alloys, Proc. of the 12-th Int. Sci. Conference "Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems", (April 26-27), Panevėžys, Lithuania, 2018, P. 55-64.
5. Golden B. L., Raghawan S., Wasil E. A. The Vehicle Routing Problem. *Springer*. 2008. P 28-46.
6. El-Sherbeny N.A. Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods N.A. *Journal of King Saud University*. 2010. vol. 22. P. 123–131.
7. Dorit S. Cyclical scheduling and multi-shift scheduling: Complexity and approximation algorithms. *Discrete Optimization*. 2006. Vol 3 (4), 327–340.
8. Hulianytskyi L., Sirenko S. Cooperative model-based metaheuristics. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*. 2010, Vol. 36. P. 33–40.
9. Azi N., Gendreau M., and Povin J.-Y. A dynamic vehicle routing problem with multiply delivery route. *Annals of Operations Research*. 2012. Vol. 103. <https://doi.org/10.1007/s10479-011-0991-3>

10. Vizvári B., Hashemian N. A method to schedule both transportation and production at the same time in a Special FMS. *RUTCOR Research Report* 2011. RRR03-2011.
11. Psaraftis H. N. Dynamic Vehicle Routing Problems. In: Golden B, Assad A (eds) *Vehicle Routing: Methods and Studies*, Elsevier Science Publishers B.V., 1988, P. 223–248.
12. Montemanni R. A New Algorithm for a Dynamic Vehicle Routing Problem Based on Ant Colony System. *Workshop on Freight* 2003. Available from: <http://people.idsia.ch/~luca/Montemanni%20et%20al..pdf>
13. Ritzinger U., Puchinger J., and Hartl Richard F. A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems. *International Journal of Production Research*. 2016. Vol. 54 (1), doi.10.1080/00207543.2015.1043403. Available from: <https://hal.inria.fr/hal-01224562>
14. Larsen A., Madsen O. B. G. The dynamic vehicle routing problem. Kgs. Lyngby, Denmark: Technical University of Denmark (DTU). IMM-PHD, 2000. No. 2000. P.73
15. Karsten L., Madsen O. B. G., and Rygaard J. M. Vehicle Routing Problems with Varying Degrees of Dynamism. Technical report, IMM, The Department of Mathematical Modelling, Technical University of Denmark. 1996.
16. Hanshar F., Ombuki-Berman B. Dynamic vehicle routing using genetic algorithms. 2007. *Appl Intell* 27: 89. <https://doi.org/10.1007/s10489-006-0033-z>.
17. Branke J., Middendorf M., Noeth G., Dessouky M. Waiting Strategies for Dynamic Vehicle Routing. *Transportation Science*. 2005. Issue 3. P. 298–312.
18. Potvina J-Y., Xua Y., Benyahiac I. Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times. *Computers & Operations Research*. 2009. Vol. 33. 1129–1137.
19. Bahga A., Vijay K. Madiseti. Cloud-Based information technology framework for data driven intelligent transportation systems. *Journal of transportation technologies*. 2013. Vol. 3. P. 131-141.

20. Flatberg T., Hasle G., Kloster O., Nilssen E.J., Riise A. Dynamic and stochastic vehicle routing in practice. *Operations Research/Computer Science Interfaces Series*. 2007., Vol. 38. P. 41–63.
21. Tanaev V. S., Sotskov Y. N., and Strusevich V. A. Theory of schedules. Multistage systems, Science, 1989.
22. D'Ariano A., Pacciarelli D., Pranzo M. A branch and bound algorithm for scheduling trains in a railway network. *European Journal of Operational Research*. 2007. Vol. 183. Issue 2. P. 643-657.
23. Rodrigue J.-P., Comtois C., and Slack B. 2006. The geography of transport systems. Taylor & Francis. New York: 297 p.