

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему Обґрунтування схем доставки паливо-мастильних матеріалів для умов Дніпропетровської області

Виконав:

студентка 4 курсу, групи ТТ-18 _____ Л.С. Победря
(шифр групи) (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент _____ В.О.Сістук
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис)
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри:

д.т.н., професор _____ Ю.А. Монастирський
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище та ініціали)

Кривий Ріг – 2022 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 – «Транспорт»

Спеціальність: 275 – «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
автомобільного транспорту

_____/_____
./_____"_____" 2022 р

ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Победрі Лілії Сергіївні

1. Тема Обґрунтування схем доставки паливо-мастильних матеріалів для умов Дніпропетровської області

керівник проекту Сістук В.О., к.т.н., доцент

затверджені наказом університету від 27.04.2022 року №280с

2. Строк подання студентом роботи для перевірки на плагіат 16.06.2022

3. Вихідні дані до роботи: Керівництво з програми OptimoRoute.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз методів вирішення задачі поповнення запасів нафтопродуктів автозаправних станцій. 2. Вибір схеми доставки нафтопродуктів для умов Дніпропетровської області 3. Визначення витрат доставки палива для маршрутів Дніпропетровської області. 4. Охорона праці при перевезенні палива в бензовозах.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графіки та діаграми по результатам досліджень у вигляді презентації в програмі Microsoft Office Power Point, на компакт диску з шістьма екземплярами роздруковки презентації для членів ДЕКу.

6. Дата видачі завдання 27.04.2022.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Аналіз методів вирішення задачі поповнення запасів нафтопродуктів автозаправних станцій	27.04-5.05	
2	Вибір схеми доставки нафтопродуктів для умов Дніпропетровської області	5.05 – 12.05	
3	Визначення витрат доставки палива для маршрутів Дніпропетровської області	12.05-15.05	
4	Охорона праці при перевезенні палива в бензовозах	15.05-16.05	
5	Оформлення пояснювальної записки і презентації	16.05-26.05	

Студент

(підпис)

Л.С. Победря

Керівник роботи

(підпис)

В.О. Сістук

РЕФЕРАТ

Роботу присвячено обґрунтуванню схеми доставки палива у мережі автозаправних станцій Дніпропетровської області відповідно до існуючих обмежень у період воєнного часу.

Розглянуті математична постановка та алгоритми розв'язання задачі поставки палива між автозаправними станціями, задачі типу PPSRP із попитом, який періодично повторюється. Задача може бути зведена до проблеми пошуку оптимального шляху.

Представлена математична модель розподілу нафтопродуктів між автозаправними станціями, яка враховує обмеження щодо виду палива та типу бензовозу.

Розв'язання задачі пошуку оптимальних схем доставки палива на мережу автозаправних станцій виконано за допомогою програмного забезпечення OptimoRoute (транспортна логістика «останньої мілі») на прикладі мережі з 14 автозаправних станцій «ОККО» в межах Дніпропетровської області. При цьому маршрути руху автотранспорту сформовано із можливістю розвезення одним бензовозом палива на декілька заправних станцій за один рейс та із відсутністю опції такого розвезення.

Розраховані витрати на доставку палива для різних варіантів маршрутів по мережі автозаправних станцій «ОККО» при використанні парку бензовозів з 5 та 12 машин. У другому випадку, вартість доставки збільшиться на 95% за рахунок збільшення холостого пробігу автомобілів.

Зміст

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РІЗНОВИДІВ ТА МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПОПОВНЕННЯ ЗАПАСІВ НАФТОПРОДУКТІВ АВТОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЙ	8
1.1. Огляд літератури з питання поповнення запасів заправних станцій	8
1.2. Аспекти моделювання задачі поповнення запасів заправних станцій.....	12
1.3. Математична постановка задачі.....	15
1.4. Точні методи розв’язання задачі	21
1.5. Евристичні методи розв’язання задачі	22
1.6. Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2. ВИБІР СХЕМИ ДОСТАВКИ НАФТОПРОДУКТІВ ДЛЯ УМОВ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	26
2.1 Основні умови та постановка задачі	26
2.2. Особливості програмного забезпечення для управління транспортною логістикою.....	30
2.3. Приклад вирішення задачі пошуку оптимального шляху доставки нафтопродуктів	40
2.4. Висновки до розділу 2	44
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ДОСТАВКИ ПАЛИВА ДЛЯ МАРШРУТІВ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	45
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕНІ ПАЛИВА В БЕНЗОВОЗАХ	47
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	51

ВСТУП

Актуальність теми. З початку бойових дій на території України внаслідок збройної агресії росії автозаправні станції у пріоритетному порядку постачають паливо на потреби Збройних Сил України та Державній службі з надзвичайних ситуацій. Для приватних клієнтів та суб'єктів господарювання встановлені обмеження на відпуск продукції, які, в залежності від компанії-мережі автозаправних станцій, становлять 20 л, 50 л. Нафтопереробні заводи (НПЗ), такі як Кременчуцький НПЗ (ПАО «Укрнафта»), зазнали атаки та були зруйновані, що унеможливлює використання їх виробничих потужностей для потреб економіки та приватного сектора як мінімум до кінця року, при цьому ланцюги поставок сировини на НПЗ були порушені ще на початку війни внаслідок неможливості її імпорту через морські порти, які заблоковані окупаційними військами. За таких умов, гостро постає питання можливості постачання палива та мастильних матеріалів через західний кордон бензовозами. Однак дане питання підлягає чіткого врегулювання у частині митного оформлення поставок нафтопродуктів автомобільним транспортом.

Збільшення попиту на паливо збоку приватних споживачів спостерігається по всіх областях країни, у тому числі, у прифронтових областях, таких як Дніпропетровська, для яких характерно зростання кількості жителів внаслідок внутрішньої міграції із зон бойових дій та тимчасово окупованих територій.

Пошук альтернативних схем поставок нафтопродуктів на автозаправні станції із значним збільшенням попиту збоку клієнтів стає актуальною задачею.

Мета і задачі дослідження. Аналіз та вироблення схем доставки нафтопродуктів у мережі автозаправних станцій Дніпропетровської області.

Основні задачі дослідження:

1. Огляд алгоритмів вирішення різновидів задачі поповнення запасів нафтопродуктів автозаправних станцій (Petrol Station Replenishment Problem - PSRP).

2. Математичне формулювання задачі розподілу нафтопродуктів між автозаправними станціями у відповідності до існуючих обмежень.

3. Розробка маршрутів доставки палива у мережі автозаправних станцій Дніпропетровської області.

4. Оцінка витрат на доставку палива для різних варіантів маршрутів по мережі автозаправних станцій у Дніпропетровській області.

Об'єкт дослідження – процес постачання палива від нафтобази до мережі автозаправних станцій.

Предмет дослідження – математичні формулювання та обмеження процесу поставок палива у мережі автозаправних станцій.

Методи дослідження. Аналіз, лінійне програмування, евристичний алгоритм, автоматизація логістики останньої мілі, геоінформаційні системи.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені маршрути доставки палива на автозаправні станції із використанням програмного забезпечення автоматизації останньої мілі OptimoRoute дозволяють дистриб'юторам врахувати існуючі обмеження в логістиці поставок палива при плануванні виконання замовлень.

Структура і обсяг роботи. Дипломна робота містить такі основні частини: реферат, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи – 52 с, включаючи 10 рисунків та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РІЗНОВИДІВ ТА МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПОПОВНЕННЯ ЗАПАСІВ НАФТОПРОДУКТІВ АВТОЗАПРАВНИХ СТАНЦІЙ

1.1. Огляд літератури з питання поповнення запасів заправних станцій

Проблема фізичного розподілу товарів або доставки послуг до місця розташування клієнтів є необхідною в більшості галузей, де витрати на логістику становлять майже 30% загальної вартості [1]. У цьому випадку вирішальне значення має правильна маршрутизація та планування, оскільки навіть незначне покращення використання автомобільного парку може призвести до значного збільшення прибутку [2]. В останні роки було проведено багато досліджень щодо оптимізації планування та управління розподілом вантажів. Основними міркуваннями при плануванні поставок товарів є задоволення споживачів і витрати на розподіл [4]. Ті самі міркування мають місце і у випадку проблеми доставки паливо-мастильних матеріалів (ПММ), нафтопродуктів. У задачі поповнення запасів нафтопродуктів заправних станцій (Petrol Station Replenishment Problem - PSRP) метою є оптимізація доставки нафтопродуктів на набір заправних станцій (АЗС) за допомогою обмеженого парку бензовозів. Точніше, необхідно визначити віднесення нафтопродуктів до наявних бензовозів, маршрутів доставки та розкладів. Проблема посилюється з практичної точки зору, коли наймається автопарк, тобто бензовози не є активами компанії [5]. У таких випадках ефективне планування є критичним фактором успіху для операційної ефективності та для кінцевого рівня обслуговування, оскільки за фізичний інтерфейс з кінцевим клієнтом відповідають ресурси, які не належать компанії [6].

Нині багато компаній передають свої операції з розповсюдження ПММ на субпідряд приватним дистриб'юторам [7]. Для компаній, які мають велику кількість поставок, оренда транспортних засобів може бути дорожчою за одиницю транспортної роботи, але при цьому не виникатимуть витрати на технічне обслуговування [8]. Останнє є основною причиною, чому все більше компаній використовують найманий автопарк або розподіляють функцію

розподілу стороннім постачальникам логістики (3PL) [5]. Основним завданням є вирішення проблеми доставки ПММ автозаправних станцій (PSRP) для кількох продуктів, депо, роздільних поставок та часових вікон. Основною відмінністю PSRP від більшості проблем маршрутизації транспортних засобів є компонент завантаження; у PSRP необхідно одночасно проектувати маршрути транспортних засобів і призначати нафтопродукти до ємностей вантажівок для кожної поїздки [9].

Завдання часто полягає в тому, щоб побудувати маршрути та розклади для парку бензовозів для максимізації прибутку, розробці системи підтримки прийняття рішень (DSS) для доставки ПММ. Маршрутизація та планування призначень виконується за складних обмежень та з отриманням актуальної інформації в реальному часі. DSS зазвичай є комп'ютерною інтерактивною системою, що використовує дані та вбудовані моделі у процесі прийняття рішень з різних проблем [10].

На практиці компанія-постачальник має щодня визначати маршрут і розклад руху автопарку, що має виконуватися на початку кожного дня, куди замовлена продукція повинна бути доставлена протягом наступних робочих годин. Наразі призначення та плани маршрутизації часто встановлюються за допомогою досвіду та переваг індивідуального планувальника. Тому потрібен алгоритмічний підхід. Він міг би стати обчислювальним механізмом системи підтримки прийняття рішень, призначеної для ефективного вирішення проблеми.

Протягом останніх десятиліть завдання PSRP у щоденному режимі привертає інтерес науковців у частині розробки кількох оптимізаційних моделей та алгоритмічних підходів до її вирішення. Розглядаються різні аспекти прийняття рішень PSRP, такі як розмір автотранспортного парку, визначаючи маршрут кожного бензовозу, призначаючи автозаправні станції до відповідних бензовозів, приписуючи ємності до нафтопродуктів тощо.

Розглянемо завдання PSRP у контексті тривалого періоду часу доставки в кілька днів. Це пов'язано з тим, що на більшості автозаправних станцій ПММ не потрібно поповнювати кожен день, а лише певну кількість разів у період

горизонту планування t -днів. Таким чином, у PSRP горизонт планування може бути розширений до багатоденного періоду з метою забезпечення важливої економії на доставці для компанії. Розглянемо особливості моделювання та методи розв'язання, пов'язані саме з такою задачею поповнення АЗС за тривалий період часу (MP-PSRP).

Вважаємо, що, визнаючи багатоперіодний характер проблеми, компанії можуть досягти найвищої ефективності в мінімізації витрат на доставку і їм неминуче доведеться зіткнутися з більш складними проблемами управління. Відомо, що у науковій літературі є лише кілька спроб до визнання розширеного характеру PSRP і вирішення багатоперіодного варіанту цього завдання. Деякі роботи належать до широкого сімейства проблем маршрутизації та інвентаризації (inventory-routing problem - IRP), при цьому лише в одному випадку розглядається періодичність постачання бензину та вирішується проблему періодичного поповнення АЗС (periodic petrol station replenishment problem - PPSRP), яка є окремим варіантом IRP-PSRP. Наявні роботи можна узагальнити в хронологічному порядку наступним чином:

Белл та ін. [4]: автори зосередили увагу на маршрутизації і складання графіків розподілу промислових газів, а не нафтопродуктів. Проте, слід відмітити, що ці дві проблеми багато у чому подібні. Автор запропонував модуль оптимізації на основі формулювання змішаного цілочислового програмування, який може охоплювати від двох до п'яти днів. На цьому горизонті планування клієнт розглядається як суб'єкт, який отримує одну або декілька поставок. Проблема була вирішена за допомогою рівнянь Лангранжа як центральної концепції модуля вибору маршруту.

Така Ала [12]: розглянуто необмежений однорідний парк бензовозів, які починають та закінчують поїздки в депо. За одну поїздку дозволяється поповнювати лише одну АЗС, а потім кількість відвідувань може бути розширена. Автори запропонували пошукові алгоритми та вдосконалення для вирішення обох варіантів задачі на багатоперіодному горизонті планування.

Корнільє та ін. [8]: запропонували багатофазовий евристичний маршрут

процедури заповнення бензовозів та створення маршруту доставки ПММ. Кількість станцій, які потрібно відвідати на кожному маршруті обмежена лише двома станціями. Запропоновано два підходу, що дозволяють очікувати або відстрочити поставки.

Трікі [13, 14]: вирішив конкретний варіант MP-PSRP, враховуючи періодичний характер планування поповнення (тобто PPSRP). Періодичність означає, що кожна станція повинна обслуговуватися п'ять разів протягом горизонту планування, вибравши дні поповнення серед можливих розкладів станції з метою мінімізації загальної відстані, яку проїхали бензовози. Трікі запропонував кілька підходів, заснованих на цілочисловому програмуванні, які спочатку призначають розклади обслуговування на кожній станції, потім визначається маршрут кожної цистерни на кожен день. Автор розробив техніку вдосконалення доставки зі подальшою спробою зменшити її вартість.

Порівняння вищенаведених підходів показано у таблиці 1.1.

Табл.1.1

Порівняльна характеристика методів вирішення MP-PSRP				
	Автор			
	Белл	Така Ала	Корніле	Трікі
Продукт	Промисловий газ	Декілька нафтопродуктів	Декілька нафтопродуктів	Один нафтопродукт
Розмір автопарку	Обмежений	Не обмежений	Обмежений	Обмежений
Склад автопарку	Змішаний	Змішаний	Змішаний	Змішаний
АЗС на одну поїздку	Багато	Одна/багато	Максимум дві	Не визначено
Маршрутизація та інвентаризація	Ні	Так	Так	Ні
Періодичність	Ні	Ні	Ні	Так
Підхід до вирішення	Рівняння Лагранжа	Покращений евристичний	Багатофазовий евристичний	Де-композиційний евристичний

1.2. Аспекти моделювання задачі поповнення запасів заправних станцій

Важливо ретельно проаналізувати всі питання моделювання, що стосуються конкретної MP-PSRP, оскільки не існує єдиної загальної методики, яка могла б відповідати всім аспектам, що можуть виникнути в реальному житті. Натомість характер і складність питань, які слід розглянути, встановлюють тип підходу, який буде використовуватися. Деякі з питань, головні з них, дозволяють використовувати різні класи методів оптимізації. Однак незначні за масштабом задачі можна об'єднати в основні PSRP або модель MP-VRP шляхом простого введення додаткових змінних та/або обмежень.

Розглянемо основні подібності між задачами планування маршруту (vehicle routing planning) MP-VRP і планування доставки нафтопродуктів –ПММ (MP-PSRP), а потім висвітлимо їх вплив на формулювання моделі оптимізації.

Незважаючи на практичну важливість та потенційний економічний ефект, задача MP-PSRP привертає інтерес лише у незначній кількості науковців, які визнали потенційні переваги розширення горизонту планування при плануванні доставки ПММ на АЗС. Цю прогалину у літературних джерелах можна частково виправити, розглянувши схожість між MP-PSRP і його аналогу для більш загального призначення, MP-VRP. В основному, MP-PSRP є частковим випадком MP-VRP, що включає в себе “побічні” характеристики врахування конкретних продуктів доставки. Декілька варіантів розв’язання MP-VRP інтенсивно використовувалися на практиці протягом останніх десятиліть [4].

Дуже часто MP-PSRP і MP-VRP мають однакову цільову функцію, що виражається в термінах мінімізації пройденої відстані або понаднормової роботи водіїв. Вони також мають багато операційних обмежень. Проте MP-PSRP може задіяти додаткові обмеження, які безпосередньо пов’язані з конкретними продуктами, які будуть доставлені, наприклад такі як:

Більшість бензовозів мають різні відсіки в одному баку для доставки різних нафтопродуктів в одній поїздці.

Деякі бензовози не обладнані витратоміром, що змушує спорожнити весь

відсік на станції призначення.

Деякі бензовози неможливо частково заповнити через вимоги динамічної стійкості, особливо при виконанні складних маршрутів.

Існують міркування безпеки, які часто є особливо обмежувальними під час транспортування легкозаймистих продуктів, таких як бензин.

Обмеження доступу, які забороняють рух деяких бензовозів на певних дорогах і заборону деяким водіям в'їжджати в певні зони (наприклад, недосвідченим водіям в аеропорти або військові зони).

Задачі моделювання MP-PSRP, які вимагатимуть різних оптимізаційних методів, можна підсумувати так:

1. Політика інвентаризації, якою керує постачальник або клієнт: якщо компанія з розподілу бензину може мати регулярний доступ до запасів АЗС, наявних у кожному резервуарі, проблема може бути змодельована як IRP. В іншому випадку замовлення на доставку плануватись як наслідок запитів станцій, і проблеми, таким чином, моделюється як задача маршрутизації.

2. Характер розширеного горизонту планування: охоплення розширеного горизонту під час вирішення задачі з поповненням запасу бензину може бути виконано з або без включення фактору періодичності обслуговування кожної станції. Перший випадок визначає загальний MP-PSRP, а другий визначає P-PSRP.

3. Кількість станцій за поїздку: якщо на станціях достатньо потужності підземних резервуарів, тоді може бути реалізована політика «одна поїздка – одна станція», що означає зведення задачі до моделі призначення-планування. Інакше, якщо за одну поїздку автомобіля можна відвідати кілька АЗС, тоді довжина маршруту має бути одним з рішень поставленої задачі.

4. Детермінована та стохастична задача: у деяких випадках точний попит на обслуговування на деяких станціях не може бути відомим апріорі (тобто на момент розв'язування MP-PSRP). Цей аспект визначить, чи слід розв'язувати детерміновану задачу чи задачу стохастичної оптимізації.

5. Статична та динамічна задача: всі запити на обслуговування від станцій можуть бути відомі на початок горизонту планування (статична проблема) або

можуть бути повністю або частково виявлені лише протягом часу обслуговування (динамічна проблема), що вимагає, таким чином, постійного коригування маршрутів.

Підсумуємо найважливіші питання моделювання, які можуть бути включені в оптимізаційну модель шляхом простим введенням додаткових обмежень та/або змінних:

1. Кількість продуктів: якщо має бути розподілений тільки один продукт (наприклад, лише бензин), то ми стикаємося з задачею доставки одного продукту. В іншому випадку задача описується як проблема розподілу кількох продуктів одночасно (наприклад, звичайний бензин, не етилований бензин, дизельне паливо тощо). Особливий випадок, коли компанія вирішує обслуговувати кожен продукт за допомогою спеціального парку вантажних автомобілів, тоді задача зводиться до кількох однопродуктових проблем.

2. Кількість відсіків: у випадку багатотоварних бензовозів можуть бути різні відсіки в одному баку, щоб забезпечити доставку різних нафтопродуктів за одну поїздку.

3. Кількість бензовозів: у випадку, коли автопарк належить компанії, кількість транспортних засобів може бути зафіксованою апріорі та обмежуватись наявними автомобілями. Коли компанія може найняти додаткову кількість бензовозів (через аутсорсинг), то ця кількість може становити одну із змінних рішення задачі.

4. Тип бензовозів: вантажні автомобілі можуть бути ідентичними (однорідним парком), що мають, наприклад, всі однакові ємності, або можуть мати різні характеристики (неоднорідний автопарк), що дозволяє приймати рішення щодо призначення вантажного маршруту.

5. Кількість складів: проблеми з поповненням бензину стають більш складними, коли має бути розглянуто більше ніж одне депо, а точніше, якщо є можливість призначення автотранспортного засобу будь-якому з депо.

6. Структура маршрутів: можуть бути обмеження щодо пріоритету АЗС, обмеження щодо максимальної кількості АЗС, які обслуговуються за

день/маршрут або обмеження, пов'язані з максимальною відстанню/тривалістю руху на один транспортний засіб.

7. Обмеження часових вікон: АЗС можуть встановлювати часові рамки, в межах яких надаються послуги. Ці додаткові обмеження можуть призвести у подальшому до зміни позицій або політики очікування бензовозів.

Задача MP-PSRP зменшується до P-PSRP щоразу, коли може бути представлений запит АЗС, пов'язаний з періодичністю надання послуг. Для кожної АЗС, дійсно, може бути вказані різні допустимі альтернативи, які визначатимуть набір графіків, відповідно до яких має відбуватися поповнення ПММ, і особа, яка приймає рішення, повинна вибрати лише одну з них. Крім того, відповідна АЗС може вказати кількість відвідувань на обслуговування f_i протягом періоду планування t -дня, і потім цю АЗС потрібно поповнювати кожні t/f_i днів. Наприклад, якщо $f_i = 2$ для заданої станції i протягом шестиденного робочого тижня, необхідно періодично відвідувати кожні $t/f_i = 3$ дні до кінця горизонту планування.

Отриманий набір графіків обслуговування для станції i буде $C_i = \{(1, 4), (2, 5), (3, 6)\}$. Для кожної станції i виникає набір можливих розкладів C_i , які будуть включені в оптимізаційну модель для опису фактору періодичності.

1.3. Математична постановка задачі

Важко охарактеризувати всі задачі MP-PSRP за типовим формулюванням оптимізації, оскільки кожен випадок має свої особливості, які мають бути спеціально розглянуті для визначення математичної моделі, яка більш підходить. Узагальнимо математичні моделі, які до цього часу обговорювалися в літературі, класифікуючи їх на дві різні сімейства: моделі на основі VRP і моделі на основі IRP. Більше того, щоб охопити різні парадигми моделювання, ми свідомо обрали представлення модель на основі VRP із врахуванням фактору періодичності (P-PSRP) і на основі IRP-моделі як загальну MP-PSRP.

Обидві роботи, запропоновані Беллом та Трікі належать до класу задач на

основі VRP з тією різницею, що в першій використовуються маршрути на основі уявлення про транспортну мережу, тоді як у другій задачі використовуються показники дуг. Для точності зазначимо, що робота Трікі [13], яка враховує лише один тип ПММ, не охоплює всю модель оптимізації, а включає лише підзадачі, які виявляються корисними для опису евристичних методів.

Першу задачу розглянемо через набір вузлів $\{1, 2, \dots, N\}$, з'єднаних через набір ребр. Вузол 1 представляє депо, тобто вузол, де є розташований різномірний парк автоцистерн і звідки починаються і закінчуються всі маршрути. Решта вузлів представляють собою АЗС, які потрібно поповнити протягом t -дня. Кожному ребру призначена відстань d_{ij} для переміщення від вузла i до вузла j . Крім того, кожній станції $i = 2, \dots, N$ відповідає невід'ємний попит Q_{ip} продукту p і частота обслуговування f_i , що вказує точну кількість днів обслуговування на протязі горизонту планування. Отже, до кожної станції i призначений набір розкладів C_i дійсних днів обслуговування, визначених за допомогою однієї з методик, проаналізованих вище.

З метою вирішення задачі визначимо бінарну константу a_{rl} , яка приймає значення 1, якщо день l належить певному графіку обслуговування r і 0 - в інакшому випадку. Решта позначень узагальнено таким чином:

c – вартість транспортування за кілометр;
 l – день відвідування, де $l = 1, 2, \dots, t$;
 k – індекс бензовозу, де $k = 1, \dots, K$;
 o – індекс можливої подорожі (або маршруту), де $o = 1, \dots, O$;
 i, j, h – індекси вузла, де $i, j, h = 1, \dots, N$ (депо позначається як 1);
 p – індекс типу товару, де $p = 1, \dots, P$;
 v – індекс відсіку, де $v = 1, \dots, V$;
 V_k – загальна кількість відсіків у бензовозі k ;
 D_v – об'єм відсіку v (припускається, що всі відсіки мають однаковий об'єм).

Щодо змінних рішення моделі, визначаємо три набори змінних. Перший набір описує аспект маршрутизації наступним чином:

$$Z_{ijkl o} = \begin{cases} 1, & \text{якщо транспортний засіб } k \text{ виконує подорож } o \text{ від } i \text{ до } j \text{ у день } l \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

Другий набір умов описує призначення вантажівки-продукту-відсіку наступним чином:

$$Y_{ipkov} = \begin{cases} 1, & \text{якщо транспортний засіб } k \text{ виконує подорож } o \\ & \text{для перевезення продукту } p \text{ до } i - \text{ї АЗС} \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

Останній набір змінних визначає розклад, призначений кожній станції:

$$X_{ir} = \begin{cases} 1, & \text{якщо періодичний розклад } r \text{ призначено для станції } i \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

З визначень вищезгаданих змінних зрозуміло, що модель повинна працювати одночасно на вирішення трьох завдань. По-перше, вона визначає найкращі графіки, які слід призначити кожній станції, вона вирішує завдання призначення “вантажівка-продукт-відсік” для кожної станції i , нарешті, вона будує маршрути кожного бензовозу для кожного дня горизонту планування. Можливе математичне формулювання MP-PSRP із закономірностями періодичності попиту представляється таким чином:

$$(1.1) \quad \text{мінімізувати } \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^t \sum_{o=1}^O Z_{ijkl o} \cdot c \cdot d_{ij}$$

при обмеженнях

$$\sum_{r \in C_i} X_{ir} = 1 \quad \forall i = 2, \dots, N \quad (1.2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{o=1}^O Z_{ijkl o} - \sum_{r \in C_i} a_{rc} \cdot X_{ir} = 0 \quad \forall (i, l) \quad (1.3)$$

$$\sum_i^N \sum_k^K \sum_o^O Z_{ijkl o} = 1 \quad \forall (j, l) \quad (1.4)$$

$$\sum_i^N \sum_k^K \sum_o^O Z_{ijklo} = \sum_h^N \sum_k^K \sum_o^O Z_{ihklo} \quad \forall(j, l) \quad (1.5)$$

$$\sum_j^N Z_{1jklo} = \sum_i^N Z_{i1klo} \quad \forall(k, o, l) \quad (1.6)$$

$$\sum_i^N Z_{i1klo} \geq \sum_j^N Z_{ihkl(o+1)} \quad \forall(i, k, o, l) \quad (1.7)$$

$$Z_{ijklo} + Z_{jiklo} = 1 \quad \forall(i, j, k, o, l) \quad (1.8)$$

$$\sum_j^N \sum_k^K Z_{1jkl1} \leq K \quad \forall(l) \quad (1.9)$$

$$\sum_k^K \sum_o^O \sum_v^V V_k \cdot D_v \cdot Y_{ipkov} = Q_{ip} \quad \forall(i, p) \quad (1.10)$$

$$\sum_i^N \sum_p^P \sum_v^V Y_{ipkov} \leq V_k \quad \forall(k, o) \quad (1.11)$$

$$\sum_i^N \sum_j^N Z_{ijklo} \leq V_k + 1 \quad \forall(i, k, o, l) \quad (1.12)$$

$$\sum_i^N \sum_j^N Z_{ijklo} \geq \sum_i^N \sum_p^P \sum_v^V Y_{ipkov} \quad \forall(i, k, o, l) \quad (1.13)$$

$$Z_{ijklo} \in \{0,1\} \quad \forall(i, j, k, o, l) \quad (1.14)$$

$$Y_{ipkov} \in \{0,1\} \quad \forall(i, p, k, o, v) \quad (1.15)$$

$$X_{ir} \in \{0,1\} \quad \forall(i, r) \quad (1.16)$$

Цільова функція (1.1) мінімізує суму витрат на розподіл бензину для всіх маршрутів, які виконують усі транспортні засоби протягом усіх днів горизонту планування.

Набір з обмежень (1.2) гарантує, що кожній станції призначено лише один графік серед можливих (без урахування, звичайно, депо, тобто $i = 1$).

Обмеження (1.3) гарантує, що кожен станцію відвідують тільки в дні, що відповідають встановленому розкладу.

Обмеження (1.4) означає, що є лише одна станція j , яку з різних джерел i відвідає бензовоз k для виконання поїздки o .

Обмеження (1.5) означає, що кожний транспортний засіб, який прибуває до пункту призначення j , залишає той самий вузол в той же день.

Обмеження (1.6) гарантує, що транспортний засіб, який виїжджає з депо, має повернутись в те саме депо.

Обмеження (2.7) показує, що вантажний автомобіль k може почати поїздки $o + 1$ тільки після досягнення поїздки o .

Обмеження (1.8) не дозволяє транспортному засобу повернутися до попереднього вузла.

Обмеження (1.9) гарантує, що кількість транспортних засобів, які відправляються з депо у першу поїздки, не може перевищувати кількість наявних транспортних засобів.

Обмеження (1.10) гарантує, що кількість продукту p , доставленого на станцію i , дорівнює запиту станції (Q_{ip}).

Обмеження (1.11) гарантує, що кількість використаних відсіків (або еквівалентно кількість продуктів, доставлених під час кожної поїздки) має бути меншою або рівною до кількості вільних відсіків бензовозу k .

Обмеження (1.12) обмежує кількість відвідувань, які можуть відбутися за одну поїздки, має бути не більше ніж кількість відсіків $+ 1$.

Обмеження (1.13) гарантує, що кількість поїздок з бензином не може перевищувати кількість відсіків, заповнених бензином.

Нарешті, обмеження (1.14), (1.15) і (1.16) означають, що всі змінні рішення мають бути бінарними.

У результаті формулювання (1.1) – (1.16) отримуємо масштабну модель цілочисельного програмування, кількість бінарних змінних і обмежень якої залежить від кількості АЗС, транспортних засобів, поїздок, продуктів, відсіків, графіків, періодичності та періоду планування.

Моделі IRP показали, що вони є дуже потужним інструментом, коли інвентаризація та проблеми маршрутизації можуть бути інтегровані в рамках однієї оптимізації.

Обидві моделі у авторів [5, 15] сформульовані на основі IRP за припущення, що запаси кожної станції визначаються компанією централізовано. Дві моделі в основному подібні та мають кілька функцій моделювання, але їх цільові функції різні. Зокрема, тоді як у роботі Така Ала мінімізуються загальні витрати на маршрути та понаднормові витрати транспорту, Корнільє максимізує загальний прибуток, що враховує дохід, отриманий від поставлених літрів палива. Перша робота відноситься до класу задач MP-PSRP, де попит на бензин не передбачає конкретної моделі, пов'язаної з періодичністю. Кожен бензовоз може здійснити певну кількість поїздок щодня протягом регулярної або понаднормової зміни.

Оскільки модель включає багато наборів, параметрів, індексів, змінних і обмежень ми обмежимо її представлення схематичною формою.

“Мінімізувати витрати на понаднормове транспортування + витрати на маршрути

З метою:

Для кожної станції, транспортного засобу та дня:

Завантаження + розвантаження + час у дорозі $\leq$ Регулярні + понаднормові зміни;

Різниця в складі між 2 послідовними днями = кількість поставок – попит;

Для кожної станції, продукту, відсіку та дня:

Кількість, що поставляється $\leq$ Місткість відділення;

Для кожної станції, продукту та дня:

Поставлена кількість $\leq$ Залишкова ємність у резервуарі станції;

Для кожної станції, продукту та дня:

Запас доступний до поповнення $\geq$ попит станції;

Для кожної станції, продукту, відсіку та дня:

Доставка продукту може відбуватися лише за умови відвідування

пов'язаної з ним станції;

Для кожної станції та дня:

Якщо станцію відвідують, необхідно доставити принаймні один продукт;

Жодну станцію не відвідують більше одного разу на день;

Для кожної станції, транспортного засобу, поїздки та дня:

Рівно одна станція призначається як попередня для кожної станції під час поїздки;

Рівно одна станція призначається як наступна кожній станції під час поїздки;

Для кожного транспортного засобу, поїздки та дня:

Кількість відвіданих станцій $\leq$ Кількість відсіків транспортного засобу;

Не допускаються рейси без залучення депо;

Для кожного відсіку, транспортного засобу, поїздки та дня:

До відсіку призначається максимум один продукт.”

1.4. Точні методи розв'язання задачі

Задача PSRP характеризується масштабістю оптимізаційної моделі, що ускладнює її вирішення точними методами. Якщо додатково врахувати фактор періодичності, що виникає у зв'язку з розширеним горизонту планування, за допомогою точних методів розв'язати задачу стає дуже важко. Так, у автора [1] рішення задачі із такими вихідними даними, які складаються із автопарку з 14 автоцистерн, 38 АЗС та горизонту планування на шість днів, не вдалось дістатись за допомогою програмного забезпечення. Після понад 30 годин процесорного часу та величезної кількості ітерацій вирішувач дав помилку пам'яті і зміг створити лише можливе рішення з верхньої межі. Отже, наскільки відомо, нечіткі алгоритми, доступні в літературі, спеціально розроблені для вирішення проблеми MP-PSRP. Однак, знову ж таки, деякі ідеї можуть впливати з точних підходів, розроблених для вирішення P-VRP або PSRP. Справді, лише нещодавно автори [3] запропонували точний алгоритм і кілька нижніх меж для P-VRP. Авторам вдалося вирішити випадково згенеровані тестові задачі, маючи до 199 клієнтів і

охоплюючи часовий горизонт у п'ять днів. Крім того, точне рішення 1-денної PSRP було представлено в [8]. Автори розклали проблему на дві підпроблеми: проблема завантаження бензовозу, а потім – задачу про пошук оптимального маршруту, яку вони успішно інтегрували для особливого випадку обслуговування двох станцій за поїздку. Експериментальні результати, про які вони повідомили, включають рішення реального прикладу, що передбачає доставку на 42 станції за один день.

1.5. Евристичні методи розв'язання задачі

Оскільки розв'язати MP-PSRP точно дуже важко, автори багатьох робіт присвячують увагу розробці евристичних підходів. Стратегія рішення, яка здається більш прийнятною в цьому контексті, належить до класу «група-до, маршрут-після» (або «кластер-перший, маршрут-другий»). Цей клас алгоритмів розщеплює вирішення PPSRP на дві окремі фази. У першій фазі кожній станції призначається можливий графік, що враховує необхідну періодичність обслуговування. У другій фазі, алгоритм будує оптимальний маршрут для кожного бензовозу, враховуючи, для кожного дня горизонт планування, лише підграф, що включає станції, призначені для цього дня.

У [12] було запропоновано чотири дещо змінені жадібні евристики PSRP з повторенням ітерацій для кожного періоду планування. Підхід цієї евристики полягає в тому, щоб планувати відвідування станцій можливо якомога пізніше, але без того, щоб станція вийшла із запасу для відповідного продукту. Автори спочатку припускали, що кожен транспортний засіб відвідує лише одну станцію за кожен поїздку, потім узагальнено на випадок відвідування кількох станцій в одній поїздки. Чотири запропоновані евристики реалізується в сім кроків. Потім ці кроки повторюються для кожного періоду часу. В підсумку, кроки починаються з визначення станцій, які потрібно відвідати за певний період t . Потім розподіляються наявні бензовози під час регулярних змін на найвіддаленіші станції та на станції, що залишилися протягом дозволеного понаднормового часу. Після цього вимога на обслуговування для станцій, що залишилися,

задовольняється додатковими (аутсорсинговими) бензовозами. Якщо є ще деякий доступний час обслуговування на бензовоз, то можна використовувати деякі станції, які були заплановані для відвідування на наступні періоди. Останній крок – обчислення кількості продукту, що має бути доставлена, і пов’язаною з цим загальною вартістю.

Корнільє та ін. [8] запропонували багатофазну жадібну евристику, за якою слідує проста фаза вдосконалення, яка ітеративно створює плани доставки для кожного періоду. Запропонована евристика обмежена двома зупинками (станціями, які обслуговуються) на маршрут. Евристика починається з побудови маршруту та призначення бензовозів для кожної станції, яку потрібно відвідати. Ця процедура може призвести до трьох можливих сценаріїв. Перший сценарій полягає в тому, що можна мати можливе рішення з використанням принаймні одного транспортного засобу понаднормово. Таким чином, рішення вважається задовільним, і алгоритм переходить до наступного періоду. У другому сценарії виходить нездійсненне рішення через порушення максимального робочого часу щонайменше одним транспортним засобом. У цьому випадку застосовується процедура «огляду назад», щоб спробувати відновити доцільність. Останній сценарій відбувається, коли можливе рішення виробляється без понаднормового часу. Тут застосовується процедура попереднього перегляду для збільшення кількості можливих станцій, які потрібно відвідати на поточний період, передбачаючи майбутні поставки.

Трікі [14] описав чотири евристичні методи для вирішення MP-PSRP на горизонті планування t -днів. Ці евристики починаються з призначення графіків періодичності кожній станції, а потім використовують загальне точне рішення відповідних VRP.

Мета – створити набір маршрутів бензовозів для кожного дня l горизонту планування. Застосовується процедура оптимізації, за якої є спроба покращити загальне рішення за допомогою процедури локального пошуку, переключаючись на дві станції, призначені на два різні дні обслуговування. Перша та друга евристики збалансовують робоче навантаження, або мінімізують загальний

попит на обслуговування за кожен день (перша), або мінімізують загальну кількість обслуговуваних станцій на день (друга).

Однак обидві евристики ігнорують географічне положення станцій. Цей недолік може бути подоланий за рахунок двох додаткових евристик. У третій евристиці загальна відстань між депо та станціями мінімізується, тоді як четверта евристика мінімізує відстань між станціями та набором віртуальних депо. Ці дві останні евристики вирішують, дійсно, дві релаксації формулювання, подібного до PVRP, які виявляються більш складними, але більш ефективними щодо першої евристики.

Метаевристику також можна розглядати як перспективний підхід до вирішення задачі маршрутизації з розширеним часом. Проте не знайдено метаевристичного методу, який був би спеціально розроблений для вирішення MP-PSRP. Знову ж таки, ми можемо покладатися на актуальні досягнення в контексті MP-VRP, для якого метаевристика базується, наприклад, на пошуку табу [7], генетичному алгоритмі [15], створенні штучної бджолиної сім'ї [16].

1.6. Висновки до розділу 1

Проведено огляд літератури, у якій висвічується питання специфічного варіанту задачі доставки паливо-мастильних матеріалів у контексті поповнення запасів заправних станцій (MP-PSRP), а саме PPSRP, яка виникає, коли попит відповідає певним шаблонам, які мають періодичність. Обидві проблеми характеризуються високим рівнем складності, головним чином через характер продуктів, що розповсюджуються (бензин, дизельне паливо), що може пояснити причину того, що стан досліджень, пов'язаних з названими задачами, все ще знаходяться на початковому етапі. Тим не менш, це відкриває нові можливості дослідження як з точки зору моделювання, так і з методологічного підходу.

З точки зору моделювання, багато варіантів MP-PSRP, які були розглянуті в даній роботі, ще мають бути введені та вирішені. Наприклад, ми можемо очікувати в майбутньому проробки стохастичних або динамічних варіантів задачі.

Деяке розуміння стохастичних параметрів можна запропонувати з роботи [10], в якій використовується підхід моделювання для аналізу IRP для стохастичної проблеми доставки палива. Автори поділяють горизонт планування на кілька більш коротких періодів, щоб зменшити складність, що виникає під час вирішення проблеми на розширеному горизонті. Потім застосовується техніка розв'язання, заснована на детермінованій змішаній моделі цілочисельного програмування та евристичного алгоритму, який усереднює щоденне споживання палива. Щоразу, коли розглядається PPSRP, цікавий варіант проблеми полягає в розгляді частоти обслуговування кожної станції як змінної рішення, а не лише як заданого параметра задачі. Таким чином, кількість відвідувань кожної станції буде отримано лише після розв'язання оптимізаційної моделі на основі критеріїв мінімізації. Хоча цей варіант проблеми вже було вирішено в контексті PVRP (так звана проблема маршрутизації транспортних засобів з вибором маршруту), він все ще представляє можливий напрямок дослідження для вироблення у подальшому програмних додатків для доставки бензину. Нарешті, аспект, пов'язаний з безпекою, що виникає при транспортуванні легкозаймистих продуктів, може заслуговувати певної уваги, щоб включити явні обмеження в оптимізаційну модель.

Завжди, коли розглядається методологічний аспект, варто відзначити, що жоден з метаевристичних підходів досі не досліджувався для вирішення MP-PSRP. Враховуючи зрілість, досягнуту у використанні цих методів у вирішенні складних проблем маршрутизації, можна очікувати задовільних результатів при використанні представлених інноваційних методів. В літературі не було запропоновано точних методів, щоб вирішити MP-PSRP та PPSRP.

РОЗДІЛ 2. ВИБІР СХЕМИ ДОСТАВКИ НАФТОПРОДУКТІВ ДЛЯ УМОВ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1 Основні умови та постановка задачі

Планування оптимального запасу палива на АЗС потребує з'ясування попиту на заправку на заданий період часу. Чим коротшим буде період часу, тим простіше виконання поставленого завдання. Найменший період планування – на наступну добу. У мирний час критерій оптимальності запасів палива визначається рядом факторів впливу:

$$\sum_t Q_f = f(d_t, c, q_n, del, l_h) \quad (2.1)$$

Q_f – запас нафтопродуктів на АЗС, т, за період планування t ; d_t – прогнозований попит на нафтопродукти за період планування t , т; c – вартісні активи, які не отримує підприємство внаслідок надлишкового запасу палива на АЗС, грн.; q_n – залишок нафтопродуктів в бензовозі, який виникає внаслідок надлишкового запасу палива на АЗС, т; del – час простою бензовозу в очікуванні продаж, год.; l_h – пробіг бензовозу при виконання додаткових розвезень.

Параметри d_t , q_n , del , l_h можуть бути представлені у вартісному вигляді.

Таким чином, надлишкові запаси палива на АЗС для бізнесу – це, з одного боку, заморожені активи, а з іншого – додаткові обмеження на розвантаження бензовозу. При високих запасах у резервуарах частіше можуть виникати ситуації простою бензовозів на станціях в очікуванні продажу, а також необхідності додаткових розвезень, що збільшують пробіг транспортних засобів. У той же час, запаси палива на станціях повинні відповідати попиту d_t на нафтопродукти у регіоні.

У воєнний час попит на паливо збоку споживачів стає таким високим, що

надлишкових запасів палива на АЗС не виникає, тобто вплив факторів c, q_n, del, l_h стає малоімовірним.

З одного боку, це спрощує задачу планування запасу, з іншого – залишається ряд специфічних вимог, які необхідно враховувати.

1. Вид палива. АЗС реалізує різні види палива – бензин АІ-92, 95, 98, дизельне паливо, попит на які відрізняється. На стандартній АЗС представлено близько п'яти видів палива, і під кожен із них виділено окремий резервуар. Ситуація, коли всі резервуари опиняються на межі вичерпання одночасно, трапляється досить рідко. Закріплювати окремий бензовоз під кожен вид палива неефективно, оскільки обсяг монобензовозу перевищує обсяг резервуару на АЗС, тому використовують бензовози із відсіками. Функція (2.1) розрізняється на r -функцій окремо для кожного виду палива:

$$\sum_t \sum_r Q_{tr} = f(d_{tr}, c, q_{nr}, del, l_h) \quad (2.2)$$

d_{tr} – прогнозований попит на паливо r -го виду за період планування t , q_{nr} – залишок палива r -го виду у відсіку бензовоза, який виникає внаслідок надлишкового запасу палива на АЗС, т.

2. Види бензовозу. У розпорядженні зазвичай є різні типи бензовозів, які відрізняються за обсягом цистерни та кількістю відсіків. Призначення бензовозу до відповідної АЗС зводиться до задачі лінійного програмування (транспортної задачі).

Умовимось, що в m пунктів відправлення (нафтобаз) $A_1, A_2, \dots, A_m$ зосереджені запаси нафтопродуктів в обсягах відповідно $a_1, a_2, \dots, a_m$. АЗС у кількості n , а саме $B_1, B_2, \dots, B_m$ подають заявки на доставку $b_1, b_2, \dots, b_m$ обсягів нафтопродуктів.

Сума всіх заявок дорівнює сумі всіх запасів (задача збалансована):

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Відомі вартість c_{ij} перевезення обсягу нафтопродукту від кожної нафтобази A_i до кожної АЗС B_j ($i=1,2,\dots, m; j=1,2,\dots, n$). Всі числа c_{ij} утворюють матрицю, задані:

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & c_{2n} \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{mn} \end{pmatrix}$$

Дану матрицю позначимо c_{ij} . Вартість перевезення однієї тони нафтопродукту пропорційна відстані доставки.

Потрібно скласти такий план перевезень, щоб всі заявки були виконані, а загальна вартість усіх перевезень мінімальна.

Позначимо x_{ij} – обсяг нафтопродуктів, що відправляється з i -ї нафтобази A_i в j -ту АЗС B_j . Невід’ємні змінні x_{ij} теж можна записати у вигляді матриці:

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{2n} \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{mn} \end{pmatrix}$$

яку будемо позначати (x_{ij}) . Сукупність чисел X_{ij} називається «планом перевезення, а самі величини x_{ij} – перевезеннями. Дані змінні повинні задовольняти наступним умовам:

1. Сумарний обсяг, що направляється з кожної нафтобази має бути рівним запасам палива на АЗС, що дає m умов рівностей:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + \dots x_{1n} = a_1 \\ x_{21} + x_{22} + \dots x_{2n} = a_2 \\ x_{m1} + x_{m2} + \dots x_{mn} = a_m \end{cases}$$

2. Сумарний обсяг вантажу, що доставляється на кожну з всіх АЗС, має відповідати обсягу заявок, поданих АЗС, що дає n умов рівностей:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} + \dots x_{m1} = b_1 \\ x_{12} + x_{22} + \dots x_{m2} = b_2 \\ x_{1n} + x_{2n} + \dots x_{mn} = b_n \end{cases}$$

3. Сумарна вартість всіх перевезень, тобто сума величин x_{ij} , помножених на відповідні вартості c_{ij} повинна бути мінімальною

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min$$

Дана функція є цільовою функцією задачі.

Оскільки видів палива для відправлення декілька, різні продукти з однієї бази можуть йти до різних споживачів, задача є багатопродуктовою транспортною задачею. Такі завдання найкраще розбити на однопродуктові підзадачі, кожну з яких вирішувати окремо.

Враховуючи умову 2.2, баланс задачі можна представити

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_t \sum_r Q_{tr} = \sum_{j=1}^n q_j$$

Тоді

$$\left. \begin{aligned} F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min \\ x_{1n} + x_{2n} + \dots + x_{mn} = a_m \\ x_{1n} + x_{2n} + \dots + x_{mn} = q_n \\ x_{ij} \geq 0 \\ c_{ij} \geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

3. Розвезення. Як показує практика, так званих «розвезень», коли бензовоз об'їжджає кілька АЗС за рейс, краще уникати. Маршрути слід призначати так, щоб за один рейс кожен бензовоз обслуговував лише одну АЗС (максимум дві, якщо вони розташовані поруч одна з одною).

4. Заправка на нафтобазі. Пропускна здатність наливу нафтобази має обмежений ресурс у часі. Тому недоцільним буде відправлення всього автопарку на нафтобазу одночасно, що спричинятиме утворення черг.

5. Пошук найкоротшого маршруту доставки. Незважаючи на простоту формулювання задачі, знаходження оптимального шляху є по-справжньому складною проблемою. Кількість можливих маршрутів зростає експоненційно зі збільшенням числа АЗС.

2.2. Особливості програмного забезпечення для управління транспортною логістикою

Для вирішення задачі (2.3) на прикладі мережи АЗС в Дніпропетровській області, скористаємось програмним забезпеченням з управління транспортною логістикою (TMS) Optimo Route [17]. Програма дозволяє:

- планувати замовлення на доставку;
- імпортувати дані замовлень у вигляді листів Excel;
- призначати водіїв на транспортний засіб;
- планувати час роботи водія;
- визначати перерви у роботі водія;
- планувати вікна часу доставки/обслуговування;
- враховувати вантажопідйомність автомобіля;
- враховувати навички водія та особливості транспортного засобу.

Отриманий план маршруту відображається на карті. Кожен маршрут відображається різним кольором, а цифри на маркерах показують послідовність зупинок. Результати також можна переглянути в таблиці замовлень – для кожного замовлення система відображає діючого водія/транспортний засіб, номер зупинки, запланований час прибуття водія до місця розташування клієнта.

На вкладці «Маршрути» можна побачити таку інформацію:

- відстань, яку проїде кожен водій/транспортний засіб,
- тривалість руху для кожного маршруту;
- завантаження транспортного засобу.

Транспортні засоби, які використовуються для доставки, обмежені своєю вантажопідйомністю, наприклад:

- кількість ємкостей, які можуть поміститися в автомобіль;
- вага замовлень, які можна завантажити на транспортний засіб;
- обсяг замовлень, який може поміститися в транспортний засіб;
- кількість піддонів, які можна завантажити на транспортний засіб.

За замовчуванням використовуються показники ваги та об'єму. Після того,

Для завандання параметрів завантаження під час імпорту з MS Excel, вводяться значення в стовпці «Завантажити №1» до «Завантажити №5». У цьому прикладі ми використовуємо лише завантаження №1 (кількість блоків), тому стовпці завантаження №2-№5 порожні.

	L	M	N	O	P	Q	R
TW to		Load #1	Load #2	Load #3	Load #4	Load #5	Vehicle Features
		1					
13:00		2					
		1					
		1					
		3					
		1					
		2					
		1					
		1					

Load #1 (number of boxes)

Load #2-5 (not used)

Програма дозволяє вносити дані по кожному водію. Створити та змінити водія можна у меню «Адміністрування» → «Драйвери». При натисканні «Додати драйвер», з'явиться вікно «Додати драйвер» з проханням визначити деталі драйвера:

Серійний номер (необов'язково) – необов'язковий серійний номер, який можна використовувати під час імпорту замовлень для попереднього призначення певних замовлень певним водіям.

Номер мобільного телефону (необов'язково)

Електронна пошта (необов'язково)

Навігаційна програма (опціонально) – навігаційна програма, яка буде використовуватися для навігації на смартфоні, коли маршрути надсилатимуться на електронну пошту водія.

Транспортний засіб за замовчуванням (необов'язково) – якщо створено у системі транспортні засоби, можна призначити автомобіль водія за замовчуванням.

Час роботи – час, коли водій починає і закінчує роботу. Це важливий параметр для планування маршруту.

Дозволений овертайм – максимально дозволені надгодини у хвилинах.

Обмежити відстань маршруту – водієві дозволено/планується їздити на максимальну відстань.

Заплануйте перерву для цього водія – створюється часове вікно, щоб запланувати перерву на маршруті водія.

Щоб змін властивостей водія, треба двічі натиснути на «драйвер» у сітці або і обрати кнопку «Редагувати драйвер» (рис.2.2).

The screenshot shows a web-based form for editing driver details. The form is titled 'Edit driver' and has a sidebar with tabs: Details, Skills, Cost, Start Location, End Location, Service Areas, Speed, and Mobile App. The 'Details' tab is selected. The form contains several input fields: Name (Sarah Reid), Serial number, External identifier, Email (sarah@acme.com), Cell phone # (+1 111 222 4444), Navigation application (Default), Default vehicle (Search vehicle...), Work time (08:00 to 20:00), Allowed overtime (min) (0), Limit route distance? (checkbox), and a checkbox for 'Schedule a break for this driver'. At the bottom right, there are 'Save' and 'Cancel' buttons.

Рис.2.2. Редагування властивостей водія

Оплату праці водія можна налаштувати у вкладці «Вартість». Доступні такі варіанти:

Фіксовані витрати для водія – фіксована вартість, якщо водій виконує транспортну роботу;

Вартість за км/милю – вартість за кожен кілометр/милю, яку проходить водій;

Вартість за годину – вартість роботи водія за годину;

Вартість за годину понаднормової роботи – вартість кожної години понаднормової роботи водіїв;

Заробітна плата водія впливає на результат оптимізації. Ось кілька прикладів:

Якщо необхідно використовувати один з драйверів тільки в разі потреби – його вартість має бути підвищена.

Якщо час роботи важливіший за пройдену відстань – збільшується вартість години.

The image shows a web interface for editing driver costs. On the left is a sidebar with a menu: 'Details', 'Skills', 'Cost' (highlighted), 'Start Location', 'End Location', 'Service Areas', and 'Speed'. The main area is titled 'Edit driver' and contains a 'Cost' section. This section has four rows, each with a label and a text input field:

Cost	
Fixed cost for driver:	0
Cost per kilometer:	1
Cost per hour:	20
Cost per hour for overtime:	30

Рис.2.3. Параметри оплати праці водія

За замовчуванням усі водії починають і закінчують свої маршрути в місці депо (на складі). Для визначення початкового розташування водія, яке відрізняється від розташування депо, обирається вкладка «Початкове розташування», вимкніть прапорець «Використовувати депо як початкове розташування» та встановіть місце розташування.

Щоб визначити кінцеве розташування водія, яке відрізняється від його

початкового розташування, виберіть вкладку «Кінцеве розташування», вимкніть прапорець «Використовувати початкове розташування як кінцеве розташування» та встановіть місце розташування на карті.

У програмі можна налаштувати швидкість водія на вкладці «Швидкість».

Визначаючи дані водія, можна також призначити навички водія, щоб відрізнити одних водіїв від інших.

Наприклад, якщо всі водії/техніки здійснюють установку, але лише деякі можуть виконувати технічне обслуговування та ремонт, з'являється можливість створити ці два навички в системі. Призначення навички водіям відбувається в адмініструванні водіїв, де вказуються необхідні навички під час створення замовлень. Таким чином, OptimoRoute Planner буде знати, що замовлення, які вимагають цих навичок, будуть призначені лише водіям з цими навичками.

Навички можна створити в розділі «Навички» в області «Адміністрування», натиснувши кнопку «Додати навички». Вводиться код навики (необов'язково, використовується для імпорту замовлень з MS Excel), ім'я (обов'язково) та опис (необов'язково).

Після визначення навичок і призначення їх водіям необхідно пов'язати їх із замовленнями. Для задавання необхідних навичок для обслуговування замовлення використовують вікно «Редагувати замовлення», додавши необхідні навички в розділ «Навички». Щоб указати необхідні навички під час імпорту з MS Excel, вводяться коди навичок, розділені крапкою з комою; у стовпці «Навички».

Транспортні засоби можна створювати та змінювати в розділі «Транспортні засоби» налаштувань адміністрування.

При натисканні «Додати транспортний засіб», з'являється вікно «Додати транспортний засіб», і тоді буде запропоновано визначити деталі транспортного засобу:

Номерний знак* (обов'язковий) – номер транспортного засобу;

Етикетка (опціонально) – етикетка або опис транспортного засобу;

Деталі (необов'язково) – обмеження вантажопідйомності автомобіля, у

цьому розділі можна вибрати кількість одиниць у завантаженні вашого автомобіля (наприклад, ящики тощо);

Транспортний засіб (опціонально) – особливості транспортного засобу.

Визначаючи деталі транспортного засобу, також можна призначити характеристики автомобіля, щоб відрізнити одні транспортні засоби від інших.

Наприклад, якщо лише певні транспортні засоби можуть доставляти заморожені продукти, можна створити дану функцію автомобіля в системі, призначивши її рефрижераторам і вказавши під час створення замовлень. Таким чином, OptimoRoute Planner буде знати, що замовлення, які вимагають цих функцій автомобіля, будуть призначені лише для певних транспортних засобів, які мають цю функцію.

Функції транспортного засобу можна створити в розділі «Особливості транспортного засобу» в області адміністрування, натиснувши кнопку «Додати функцію автомобіля». Вводиться код функції (необов'язково, використовується для імпорту замовлень з MS Excel), назву (обов'язково) та опис (необов'язково).

Після визначення функцій і призначення їх транспортним засобам, потрібно пов'язати їх із замовленнями. Щоб вказати необхідні характеристики автомобіля для обслуговування замовлення, має бути відкрите вікно «Редагувати замовлення», після чого додано необхідні функції в розділ «Особливості транспортного засобу». Для вказання необхідних характеристик автомобіля під час імпорту з MS Excel, як і минулого разу для характеристик водія, вводяться коди функцій автомобіля, розділивши їх крапкою з комою; у стовпці «Характеристики транспортного засобу».

Замовлення можуть бути визначені відповідно до представлених особливостей та обмежень (табл.2.1).

Програма передбачає функцію відстеження замовлень в реальному часі, щоб переконатися, що клієнти точно знають, коли очікувати прибуття своїх замовлень.

Властивості замовлень

Параметри	Описання	Імпорт в MS Excel
Ідентифікатор замовлення	Унікальний ідентифікатор для кожного замовлення	Вільна форма
Тип замовлення	Доставка, Самовивезення або Завдання	Встановіть значення D для доставки, P для самовивезення або T для завдання.
Дата	Дата доставки	ДД/ММ/РРРР, наприклад 30.05.2022
Пріоритет	Низький, Середній, Високий або Критичний. Замовлення з вищим пріоритетом плануються раніше.	L (низький), M (середній), H (високий), C (критичний)
Призначено	Для водія, якому це замовлення має бути примусово призначено. Встановлення цього поля означає, що його обслуговуватиме визначений водій	Серійний номер водія, якому присвоєно дане замовлення.
Місцезнаходження	Місце доставки/обслуговування	Визначається: Ідентифікатор місцезнаходження Унікальний ідентифікатор місця, що вже існує в системі або за адресою Повна адреса, включаючи країну, або комбінацією адресного рядка, міста/міста, області, поштового індексу та країни/регіону або за широтою та довготою Ім'я місцезнаходження необов'язкове, якщо його залишити порожнім, назву місцезнаходження буде встановлено на значення поля адреси.
Часове вікно від	Найраніший час для початку обслуговування (якщо водій прибуде занадто рано, він буде змушений чекати).	24-годинний формат часу, наприклад 08:00
Часове вікно до	Останній час завершення служби	24-годинний формат часу, наприклад 15:00

Параметри	Описання	Імпорт в MS Excel
Тривалість	Час на місці, необхідний для розвантаження товару або виконання завдання (у хвилинах).	Числове значення
Параметри навантаження	Вимоги до навантаження замовлення, тобто скільки одиниць навантаження (кількість ящиків, кілограми, фунти, літри тощо) має бути доставлено.	Визначається: навантаження №1 ...навантаження №5
Особливості транспортних засобів	Характеристики транспортних засобів, які використовуються для відмінності одних транспортних засобів від інших.	Коди функцій транспортних засобів, розділені «;»
Навички	Навички водія використовуються, щоб відрізнити одних водіїв від інших.	Коди навичок, розділені ;
Примітки	Додаткова примітка, яка буде відображатися в інструкціях водія. Примітки не впливають на процес оптимізації.	Вільна форма

Для обмеження максимальної кількості замовлень на одного водія, спочатку потрібно встановити нове обмеження потужності в розділі «Адміністрування-Налаштування-Потужність». Нове обмеження потужності виставляється на вкладці «Максимальні замовлення».

Далі встановлюються значення за замовчуванням для транспортних засобів у «Адміністрування→ Транспортні засоби». На вкладці «Деталі» вікна редагування транспортного засобу встановлюється значення за замовчуванням для максимальної кількості замовлень у полі «Максимальні замовлення».

Перед плануванням замовлень необхідно переконатись, що для всіх замовлень встановлено значення «Макс. замовлень 1». Це можна встановити під час імпорту в стовпці «Навантаження №3» або змінити вручну шляхом редагування замовлень.

Максимальну кількість замовлень на одного водія можна змінювати щодня у вікні «Параметри планування», яке відображається при натисканні «Планувати маршрути».

Замовлення можливо імпортувати, натиснувши кнопку «Імпорт

замовлень». У вікні «Замовлення на імпорт» можна скопіювати вибрані адреси зі свого файлу та вставити їх у текстове поле. У цьому ж вікні можна вибрати дату та тривалість обслуговування.

Перш ніж завершити імпорт, є можливість переглянути всі нещодавно імпортовані замовлення. Перед збереженням необхідно перевірити стовпець «Точність розташування». Можливі статуси:

Узгодження ідентифікатору місцезнаходження – у системі знайдено існуюче місцезнаходження з таким самим ідентифікатором місцезнаходження;

Узгодження місця розташування – у системі знайдено існуюче місце з такою ж адресою та назвою;

Геокодування – нове розташування створюється за допомогою наданої адреси;

Геокодування, знайдено кілька результатів – нове розташування створюється за допомогою вказаної адреси, але для вказаної адреси знайдено декілька результатів – слід перевірити перед збереженням;

Геокодування, часткова відповідність – нове розташування створюється з використанням наданої адреси, але знайдений результат є лише частковим збігом з наданою адресою – слід перевірити перед збереженням;

Координати GPS – нове місцезнаходження створюється з використанням наданих координат широти та довготи;

Не знайдено – не вдалося знайти адресу, місце розташування потрібно виправити вручну.

Всі успішно імпортовані замовлення відображатимуться в таблиці «Замовлення та на карті». Якщо імпортовані замовлення у таблиці «Замовлення» та на карті не відображаються, то дату планування слід змінити на ту, яка була встановлена під час імпорту замовлень.

Після завершення імпорту замовлень наступним кроком є планування маршрутів. Крім того, після планування маршрутів клієнти можуть відстежувати всі свої замовлення в режимі реального часу, як тільки буде ввімкнута функція відстеження замовлень в реальному часі OptimoRoute.

Щотижневе планування ідеально підходить, коли у вас є гнучкі часові рамки для виконання замовлень. Наприклад, вони використовуються для створення оптимізованих та ефективних маршрутів для замовлень, які мають відбутися протягом певного тижня або місяця.

Програма дозволяє спланувати маршрути до 5 тижнів одночасно, але при цьому необхідно врахувати кілька обмежень у плануванні.

Обмеження «час-день-дата» для замовлень. Ці обмеження можна додати двома способами: у полі «Редагувати порядок» або у файлі імпорту.

Обмеження водія: час початку та закінчення та призначення транспортного засобу. Після натискання кнопки «Планувати маршрути» з'явиться поле «Параметри планування». Вкладка «Основний вигляд» дозволяє налаштовувати обмеження по одній даті за раз.

Визначається водій(і) та дата(и), до яких застосовуватимуться обмеження:

Обираються клітинки драйвера/дати окремо, натиснувши на них безпосередньо. Після вибору вони стануть синіми.

Обираються усі дати для водія, натиснувши прапорець біля імені водія.

Обираються усі водії на відповідні дати, натиснувши прапорець над датою.

Для установки часу початку та завершення: вносяться коригування там, де є «Час роботи».

Для встановлення транспортного засобу: налаштуванню підлягає місце, де є транспортний засіб.

Щоб встановити статус доступності водія:

→ Вимкнути - означає, що водії недоступні для вибраних дат.

→ Увімкнути – вказує, що водії доступні на вибрані дати.

→ Блокування - вказує, що заплановані маршрути для цього водія та дати не можна змінити.

→ Скидання видалить наведені вище обмеження для вибраних водіїв і дат, а також відновить налаштування за замовчуванням.

2.3. Приклад вирішення задачі пошуку оптимального шляху доставки нафтопродуктів

Задачу оптимального планування маршрутів доставки ПММ в Дніпропетровській області розглянемо на прикладі мережі АЗС компанії «ОККО» [18].

Актуальний стан щодо кількості заправочних станцій мережі в межах Дніпропетровської області показано на рис.2.4 [18].

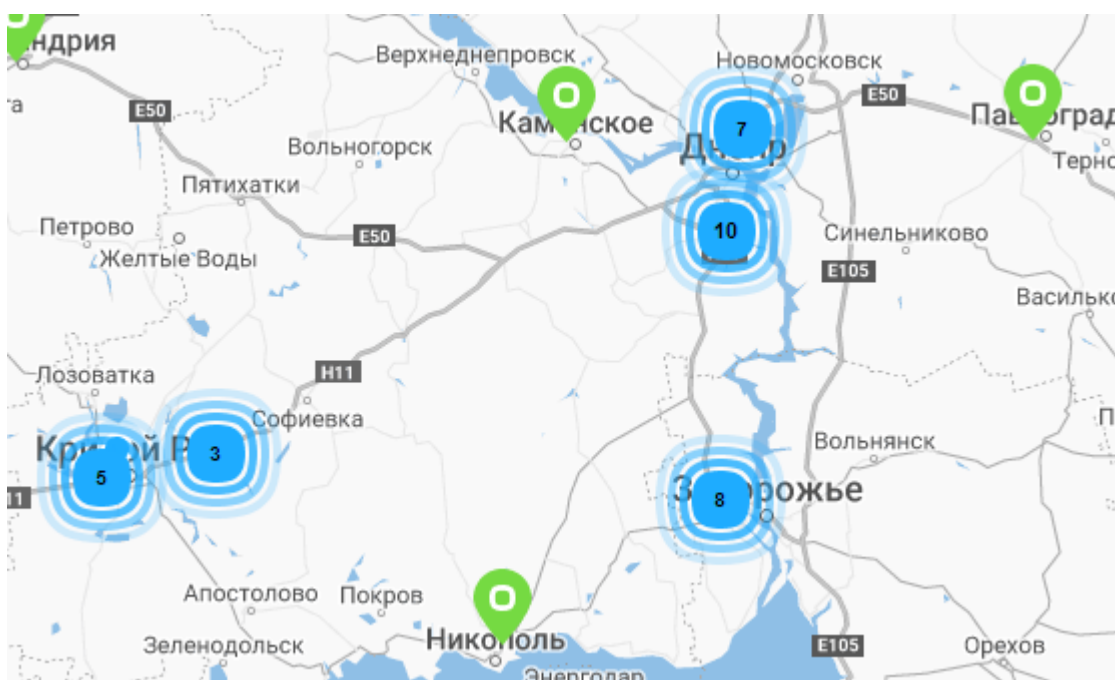


Рис.2.4. Кількість працюючих АЗС «ОККО» у Дніпропетровській області

Замовлення, які формуються АЗС, в OptimoRoute імпортовані на основі адрес кожної заправки (рис.2.6). Для кожної АЗС на ресурсі [18] доступний графік роботи, встановлені обмеження щодо реалізації палива, та види палива у наявності. Для щоденного планування до уваги взято 14 АЗС, адреси яких використані для формування замовлень (місто Кривий Ріг, Дніпро, Кам'янське, Павлоград, Нікополь, смт. Радужне). Нафтоперекачувальна станція “Широке” розташована у смт. Широке, виконуючи роль депо для бензовозів.

Парк бензовозів складається із 5 машин об'ємом 12 тис.л. Цілю

планування є мінімізація загальної вартості виконання замовлень АЗС, виходячи з критеріїв та обмежень математичної моделі 2.3.

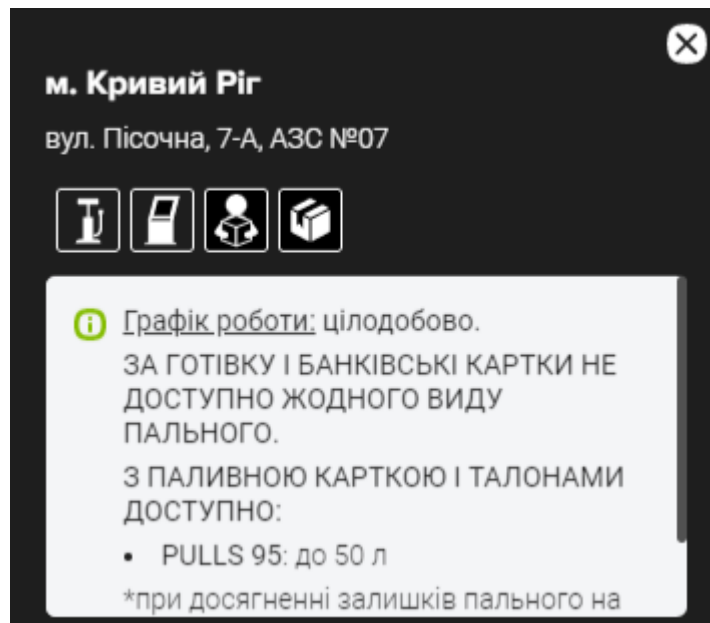


Рис.2.5. Графік роботи АЗС

Review Imported Orders						
Location Accuracy	Location	Address	Geocoded Address	Latitude	Longitude	Duration
✓ Geocoded	Pisochna St, 7A, Kryvyi ...	Pisochna St, 7A, Kryvyi Rih, Dni...	Pisochna St, 7A, Kryvyi Rih, Dni...	47.8888791	33.3740401	5
✓ Geocoded	Prorizna St, 67, Kryvyi Ri...	Prorizna St, 67, Kryvyi Rih, Dnipr...	Prorizna St, 67, Kryvyi Rih, Dnipr...	47.9079527	33.3054932	5
✓ Geocoded	Volhohradska St, 15, Kry...	Volhohradska St, 15, Kryvyi Rih, ...	Volhohradska St, 15, Kryvyi Rih, ...	47.928824	33.38905	5
✓ Geocoded	Nikopolske Shose St, 22,...	Nikopolske Shose St, 22, Kryvyi ...	Nikopolske Shose St, 22, Kryvyi ...	47.8882079	33.3821205	5
⚠ Geocoded, Partial Match	Edit вул. Стенова, 3А, Shyro...	вул. Стенова, 3А, Shyroke, Dnip...	Vul. Stepova, Shyroke, Dniprope...	47.6694851	33.2474623	5
⚠ Geocoded, Partial Match	Edit смт. вул. Нікопольська, ...	смт. вул. Нікопольська, 56, Rad...	смт. вул. Нікопольська, 56, Rad...	47.8120676	33.5115046	5
⚠ Geocoded, Multiple Results Found	Edit вул. Польова, 56, Prydni...	вул. Польова, 56, Prydniprovsk'k...	Prydniprovsk'ke, Dnipropetrovsk ...	47.6183158	34.4517576	5
✓ Geocoded	Anoshkina Ave, 8A, Kami...	Anoshkina Ave, 8A, Kamianske, ...	Anoshkina Ave, 8a, Kamianske, ...	48.517573	34.5913723	5
✓ Geocoded	Kosmichna St, 32E, Dnipr...	Kosmichna St, 32E, Dnipro, Dnipr...	Kosmichna St, 32, Dnipro, Dnipr...	48.4104436	35.0387343	5
✓ Geocoded	Naberezhna Peremohy S...	Naberezhna Peremohy St, 3M, ...	Naberezhna Peremohy St, 3M, ...	48.4529175	35.0778101	5
⚠ Geocoded, Partial Match	Edit Robocha St, 84, Dnipro, ...	Robocha St, 84, Dnipro, Dniprop...	Robocha St, 84, Dnipro, Dniprop...	48.4547466	35.0039926	5
✓ Geocoded	Romana Shukhevycha St...	Romana Shukhevycha St, 70, D...	Romana Shukhevycha St, 70, Д...	48.4745884	34.9956529	5
✓ Geocoded	Bogdan Khmelnitsky Ave,...	Bogdan Khmelnitsky Ave, 29 M, ...	Bogdan Khmelnitsky Ave, 29m, Д...	48.4264689	35.0132435	5

Рис.2.6. Формування замовлень АЗС

Рішення маршрутів руху та перерозподілу замовлень між водіями представлено на рис.2.7. Як видно, основна транспортна робота виконується водієм 1 із перевезенням нафтопродуктів у місто Дніпро та місто Кам'янське. Час роботи водія – 7 годин 35 хвилин, пройдена відстань – 390 км. Друге місце за

дальністю маршруту посідає водій 4, який здійснює розвіз у місто Нікополь.

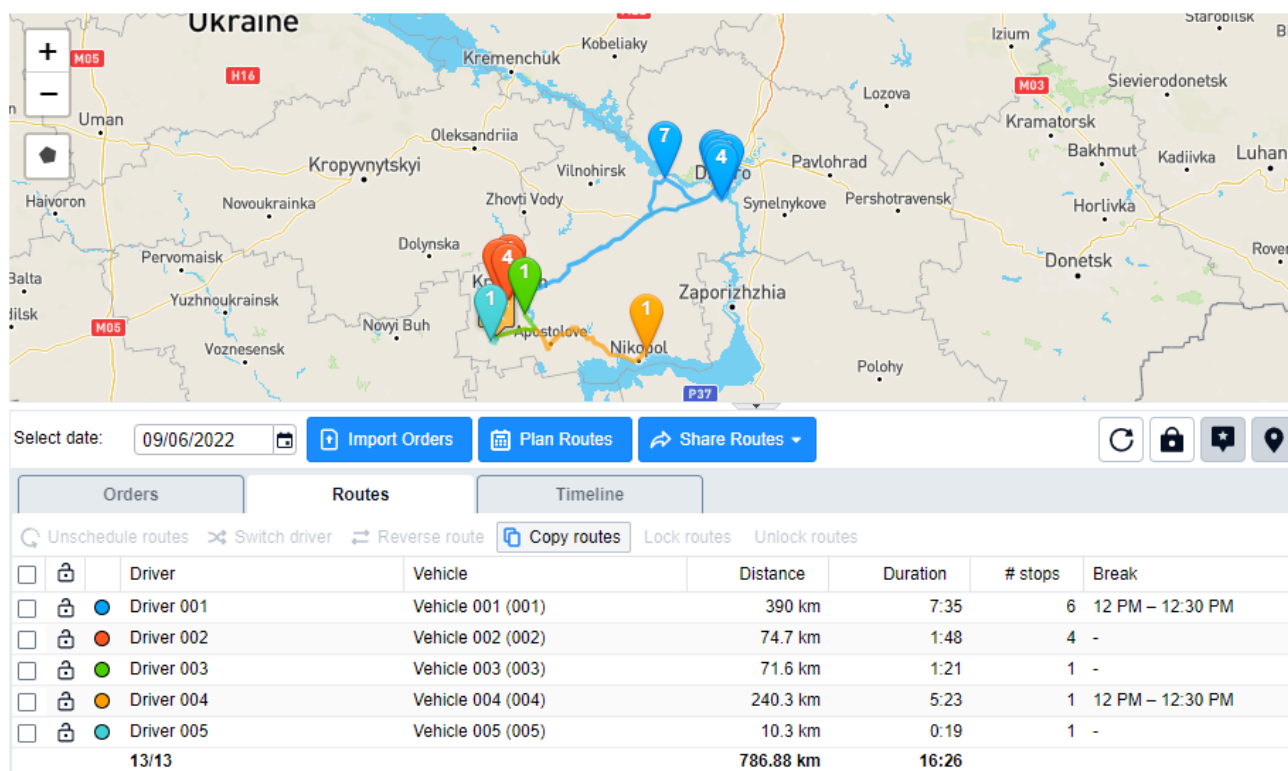


Рис.2.7. Результати планування маршрутів

Цікаво, що водії 2 та 3, один з яких обслуговує 4 заправки у місті Кривий Ріг, а інший – одну АЗС у смт. Радушне проходять майже однакову відстань – 74,7 та 71,6 км відповідно. Замовлення з АЗС у місті Павлоград не може бути виконано у межах робочої зміни силами 5 водіїв одночасно із виконанням інших замовлень, тому маршрут доставки на АЗС №51 (вул. Дніпровська, буд.156) відсутній.

За обмеженості кількості задіяних бензовозів у парку, уникнути практики «розвезень» не вдалось (рис.2.8). Все одно, за один рейс водій 2 обслуговує у Кривому Розі 4 АЗС, водій 1 у місті Дніпро та Кам'янське – 6 АЗС (рис.2.8 – рис.2.9).

Порядок виконання замовлень протягом доби кожним із водіїв представлений на рис.2.10. Порядок сформований з урахуванням вікон доставки для кожної АЗС мережі.

Задача пошуку оптимальних схем доставки паливо-мастильних

матеріалів для заданих умов Дніпропетровської області на прикладі мережі АЗС «ОККО» виконана.

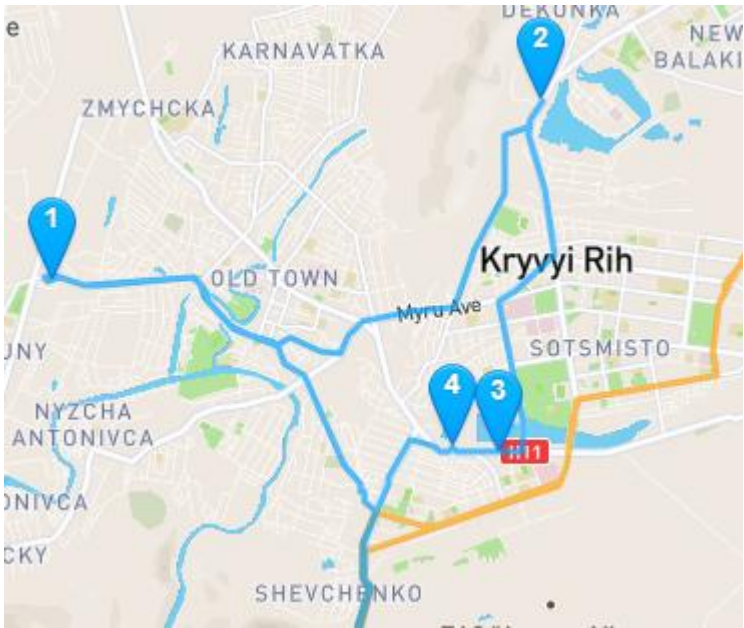


Рис.2.8. Розвезення у місті Кривий Ріг



Рис.2.9. Порядок доставки ПММ у місто Дніпро та Кам'янське

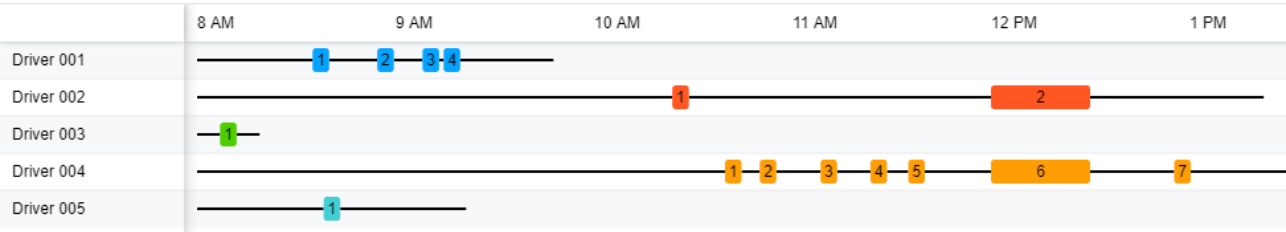


Рис.2.10. Порядок виконання замовлень АЗС

2.4. Висновки до розділу 2

Планування оптимальних маршрутів доставки нафтопродуктів на АЗС неодмінно пов'язане із необхідністю визначення раціонального обсягу нафтопродуктів на заправних станціях, що впливатиме на формування замовлення. Дане питання має ряд об'єктивних обмежень стосовно видів палива, ємності бензовозів, кількості відсіків бензовозу, існуючих вікон доставки на АЗС, пропускної спроможності нафтобази, відстаней між нафтобазою та АЗС та іншими факторами.

Головним обмеженням, яке визначає можливість виконання замовлень, є рівновага в обсягах палива між нафтобазою та попитом (обсягами замовлень) АЗС. За наявності декількох нафтобаз (необов'язково їх кількість дорівнюватиме кількості АЗС) задача оптимального розподілу із відповідним пошуком оптимальних схем доставки перетворюється на транспортну задачу і вирішується на основі використання відомих алгоритмів лінійного програмування.

Схема доставки є поняттям більш широким ніж «маршрут» доставки, оскільки воно передбачає порядок взаємовідносин між постачальником, умовною нафтобазою, та клієнтом, в якості якого виступає АЗС. Відповідно у даній взаємодії можуть бути передбачені проміжні ланцюги. Аутсорсинг рухомого складу або передача питання доставки нафтопродуктів на субпідряд приватним дистриб'юторам також є прикладами використання різних схем доставки.

Абстрагуючись від задіяного ланцюга поставки, підготовка до безпосереднього виконання замовлень виникає на етапі пошуку оптимального маршруту перевезень наливного вантажу. У даному контексті сучасним та оптимальним рішенням виступають програмні засоби з планування логістики «останньої мілі».

На прикладі однієї з таких програм, OptimoRoute, у роботі виконано оптимальний розподіл нафтопродуктів у мережі «ОККО» в межах Дніпропетровської області.

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ДОСТАВКИ ПАЛИВА ДЛЯ МАРШРУТІВ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

При виконанні однієї із умов оптимальної доставки нафтопродуктів на автозаправні станції один бензовоз за рейс обслуговує одну АЗС. Назвемо таку схему доставки умовою «відсутності розвезення». У такому випадку, загальний обсяг транспортної роботи за рахунок збільшення відстані перевезень суттєво підвищується, що призводить до зростання витрат на транспортування у порівнянні з варіантом об'їзду декількох АЗС кожним із бензовозів.

Збільшення зазначених витрат описується таким чином, грн.:

$$\Delta\beta = c_t \cdot (l_1 - l_2)$$

c_t – питома вартість доставки палива на 1 км шляху бензовозом об'ємом 12 тис.л (75 грн/км); l_1 – загальна довжина мережі маршрутів за відсутності розвезення; l_2 – загальна довжина мережі маршрутів при використанні принципу розвезення одним бензовозом на декілька АЗС.

Показник l_2 для розглянутого прикладу мережі заправних станцій «ОККО» становив 768 км (рис.2.7).

З метою виконання умови відсутності розвезень необхідним стає призначення на маршрути заданої мережі АЗС 12 водіїв.

Результати планування маршрутів на платформі OptimoRoute представлені на рис.2.11.

Загальна довжина мережі маршрутів за відсутності розвезення становила 2273 км.

Визначимо збільшення вартості доставки, грн.:

$$\Delta\beta = 75 \cdot (2273 - 768) = 112875$$

Вартість доставки збільшиться на 95% у порівнянні з варіантом, коли будуть задіяні 5 бензовозів за рахунок збільшення холостого пробігу автомобілів.

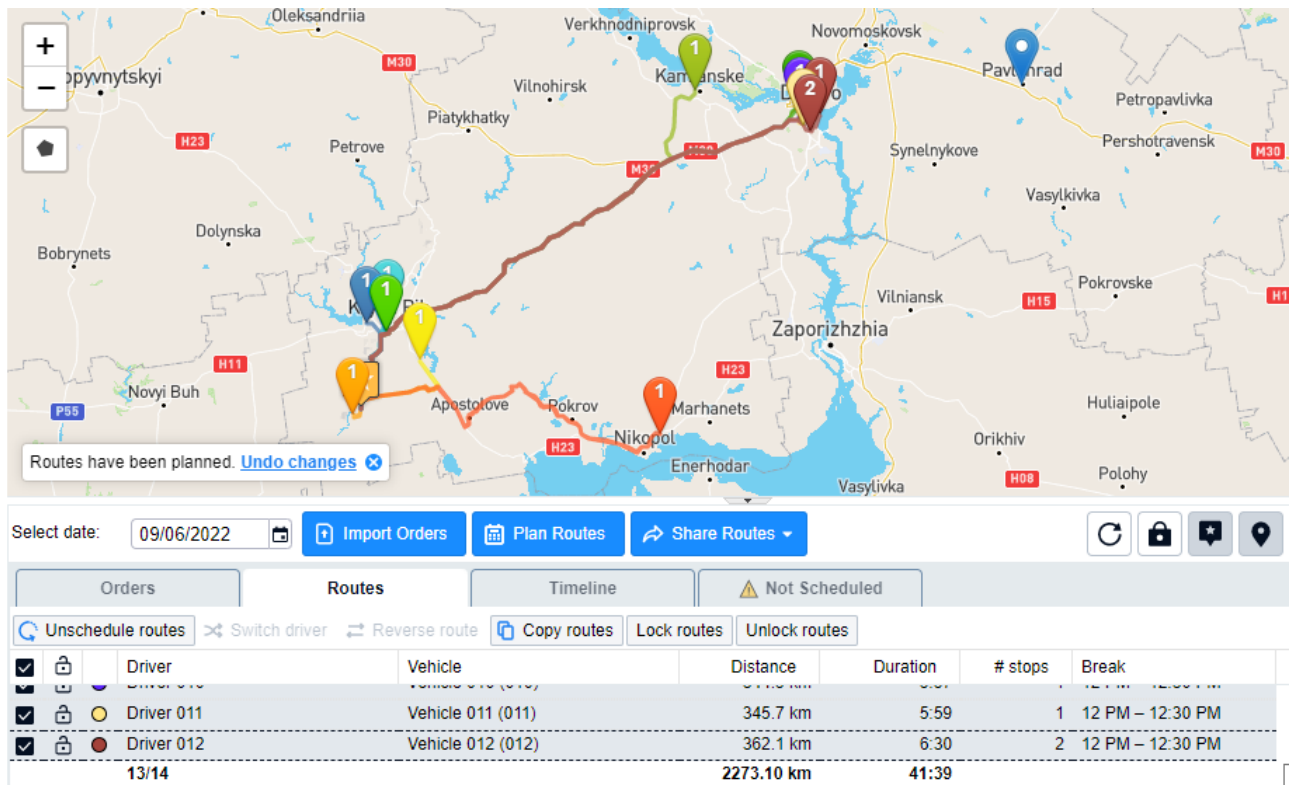


Рис.2.11. Результати планування маршрутів при відсутності розвезень

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕНІ ПАЛИВА В БЕНЗОВОЗАХ

Транспортування пального за допомогою автомобільного транспорту передбачає дотримання низки вимог, що висуваються до горючих речовин. До компаній-перевізників висувається такі вимоги:

- на транспортному засобі має бути табличка, що повідомляє про небезпечний вантаж;

- наявність дозволу для транспортування палива на великі відстані;

- водій автомобіля зобов'язаний мати посвідчення водія з категорією С, а також диплом про проходження курсів роботи з горючими речовинами;

- під час перевезення обов'язково необхідно мати маршрутний лист, який свідчитиме про точку початку маршруту та місця призначення перевезення;

- ємність для палива має бути виконана згідно з усіма необхідними стандартами.

При транспортуванні паливо розширюється і стискається залежно від температури навколишнього середовища, а також може переміщатися всередині резервуару бензовозу і привести до постійного зміщення центру ваги автомобіля. Ця потенційна небезпека зменшується у бензовозах, розроблених з низьким центром ваги, а також із внутрішніми перегородками, які відокремлюють продукти та додають автоцистернам міцності (рис.4.1).

Розглянемо конструктивні особливості автоцистерни та інші фактори, які впливають на безпеку робочих процесів.

Протягом багатьох років виробники постійно вдосконалювали обладнання для бензовозів, що сприяє безпеці перевезень небезпечних вантажів. До такого типу обладнання відносять:

- Високотехнологічні люки/лази

- Обладнання для відведення парів (клапани та вентиляційні отвори)

- Ножний, аварійний і внутрішній клапани

- Адаптери/резервуарні блоки

Колектори та пилосбірники

Електронні системи контролю стабільності (ESC).

На бензовозі можуть бути встановлені електронні системи контролю стійкості (ESC), які запобігають перекиданню та втраті курсової стійкості. До системи входить інтелектуальний мікропроцесор, блок електроніки, який може гальмувати транспортний засіб таким чином, щоб покращити його контроль. Так, наприклад, якщо система ідентифікує ситуацію, за якої бензовоз може перекинутися, оскільки при цьому він занадто швидко заїжджає в поворот, ESC може втрутитися, щоб загальмувати та сповільнити бензовоз.

Запобіжні клапани – клапани в нижній частині бензовозу призначені для відсікання та безпечного закріплення рідини в автоцистерні під час аварії.

Кришки на верхній частині танкера оснащені пристроями для перекидання, які в разі перекидання герметизують отвір для виходу рідини. Небезпека на верхній частині бензовозу полягає в тому, що розширення та стискування палива означає, що кожен відсік повинен мати можливість «дихати» (інакше тиск у баку може призвести до його розриву). Дозволити резервуару «дихати», означає, що навіть в разі перекидання бензовозу буде забезпечений спрямований шлях витоку рідини, який може спричинити пожежу або екологічну катастрофу.

Внутрішні перегородки та резервуари, розроблені для низького центру ваги – паливо розширюється і стискається з температурою і рухається по колу бака бензовозу, коли він проїжджає по поворотах і прискорюється або гальмує, що постійно змінює центр ваги автомобіля. Щоб зменшити вплив цього фактору, бензовози спроектовані з дуже низьким центром ваги і мають внутрішні перегородки, встановлені для міцності та розділення кожного відсіку для рідини. Вони також мають перегородки, щоб зменшити сплеск продукту під час гальмування або повороту.

У разі пожежі обладнання має бути так запроектовано, щоб забезпечити рівномірне горіння, а не катастрофічний вибух. Пожежа підвищить тиск у резервуарі, але кожна кришка оснащена вентиляційним отвором для поглинання

вогню, який вивільняє цей тиск за частки секунди, а потім знову закриває. Це дозволить горіти вогню й запобіжить вибуху.

Перегородки в резервуарі рівномірно розсіюють силу руху рідини, коли бензовоз прискорюється або гальмує. При гальмуванні без перегородок рідина продовжує рухатися вперед, щоб підскочити і притиснутися до передньої стінки резервуару, різко переміщуючи вагу бензовозу і збільшуючи ризик перекидання. Перегородки рівномірно розподіляють енергію на весь бензовоз, що робить його легшим та безпечнішим.

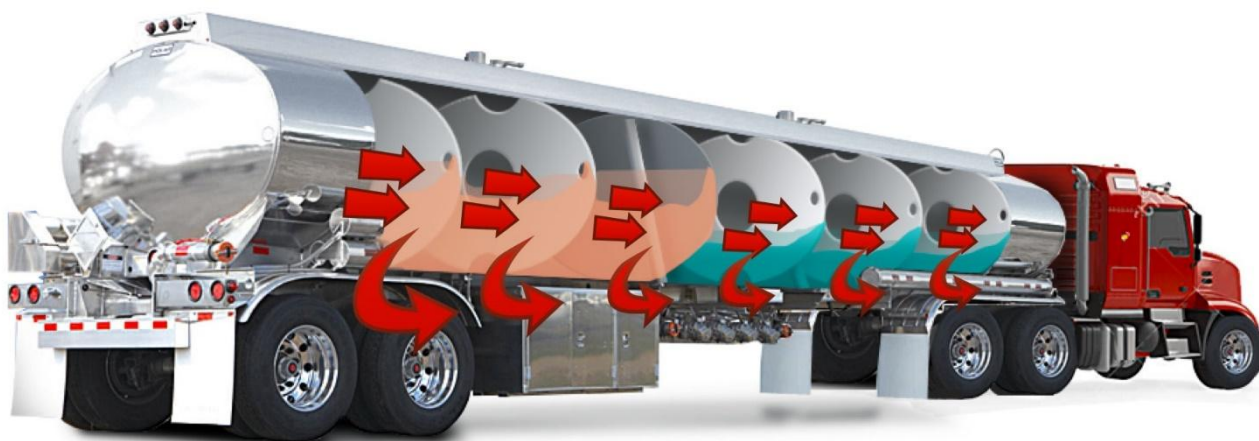


Рис.4.1. Внутрішні перегородки запобігають сплеску рідини

Під час завантаження або розвантаження рідина, яка рухається по трубах, верхніх завантажувальних рукавах і нижніх завантажувальних рукавах, створює статичну електрику. Оскільки проста статична електрика може генерувати електричний заряд, достатній для запалювання пари з легкозаймистих рідин, відновлення пари та заземлення є важливими факторами безпеки.

У закритій системі розвантаження пара збирається назад, що містить легкозаймистий пар і концентрує його, що робить його занадто багатим для спалювання.

Оскільки статична електрика може накопичуватися у бензовозі під час переміщення рідини – або просто від руху труб і деталей бензовозу – важливо, щоб бензовоз був належним чином заземлений для запобігання спалаху іскор від будь-якої пари. Система заземлення з'єднує бензовоз із землею.

ВИСНОВКИ

У роботі виконано аналіз та вироблені схеми доставки нафтопродуктів у мережі автозаправних станцій Дніпропетровської області у відповідності до існуючих обмежень на період воєнного часу.

1. У літературі детально висвітлюється питання вирішення різновиду задача розподілу палива між автозаправними станціями типу PPSRP, яка виникає, коли попит на продукт планується на горизонт. Вирішується дана задача в рамках проблеми маршрутизації транспортних засобів з вибором найкоротшого маршруту руху.

2. Сучасним та оптимальним рішенням для планування поставки палива у мережі автозаправних станцій при підготовці до безпосереднього виконання замовлень є програмні засоби з автоматизації логістики «останньої мілі».

3. Виконано оптимальний розподіл нафтопродуктів до мережі автозаправних станцій «ОККО» в межах Дніпропетровської області, яка складається 14 АЗС, адреси яких використані для формування замовлень (місто Кривий Ріг, Дніпро, Кам'янське, Павлоград, Нікополь, смт. Радужне) з нафтоперекачувальної станції у смт. Широке з урахуванням обмежень щодо виду палива, тип бензовозу, можливості розвезення одним бензовозом палива на декілька заправних станцій за один рейс та із відсутністю опції такого розвезення.

4. Розраховані витрати на доставку палива для різних варіантів маршрутів по мережі автозаправних станцій «ОККО» при використанні парку бензовозів з 5 та 12 машин. У другому випадку, вартість доставки збільшиться на 95% за рахунок збільшення холостого пробігу автомобілів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Athanasopoulos, T. and Minis, I. (2013) 'Efficient techniques for the multi-period vehicle routing problem with time windows within a branch and price framework', *Annals of Operations Research*, Vol. 206, No. 1, pp.1–22.
2. Avella, P., Boccia, M. and Sforza, A. (2004) 'Solving a fuel delivery problem by heuristic and exact approaches', *European Journal of Operational Research*, Vol. 152, No. 1, pp.170–179.
3. Baldacci, R., Bartolini, E., Mingozzi, A. and Valletta, A. (2011) 'An exact algorithm for the period routing problem', *Operations Research*, Vol. 59, No. 1, pp.228–241.
4. Bell, W.J., Dalberto, L.M., Fisher, M.L., Greenfield, A.J., Jaikumar, R., Kedia, P., Mack, R.G. and Prutzman, P.J. (1983) 'Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer', *Interfaces*, Vol. 13, No. 6, pp.4–23.
5. Campbell, A.M. and Savelsbergh, M.W.P. (2004) 'A decomposition approach for the inventory-routing problem', *Transportation Science*, Vol. 38, No. 4, pp.488–502.
6. Chao, I-M., Golden, B.L. and Wasil, E. (1995) 'A new heuristic for the period traveling salesman problem', *Computers and Operations Research*, Vol. 22, No. 5, pp.553–565.
7. Cordeau, J-F., Gendreau, M. and Laporte, G. (1997) 'A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems', *Networks*, Vol. 30, No. 2, pp.105–119.
8. Cornillier, F., Boctor, F. and Renaud, J. (2012) 'Heuristics for the multi-depot petrol station replenishment problem with time windows', *European J. of Operational Research*, Vol. 220, No. 2, pp.361–369.
9. Francis, P. and Smilowitz, K. (2006) 'Modeling techniques for periodic vehicle routing problems', *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 40, No. 10, pp.872–884.

10. Popvić, D., Bjelić, N. and Radivojević, G. (2011) 'Simulation approach to analyse deterministic IRP solution of the stochastic fuel delivery problem', *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Vol. 20, pp.273–282.
11. Rizzoli, A., Casagrande, N., Donati, A., Gambardella, L., Lepori, D., Montemanni, R., Pina, P. and Zaffalon, M. (2003) 'Planning and optimisation of vehicle routes for fuel oil distribution', in *MODSIM International Congress on Modelling and Simulation*, Townsville, Australia.
12. TaqaAllah, D., Renaud, J. and Bector, F.F. (2000) 'Le probleme d'approvisionnement des stations d'essence', *APII-JESA J. Européen des Systèmes Automatisés*, Vol. 34, No. 1, pp.11–33.
13. Triki, C. (2013) 'Solution methods for the periodic petrol replenishment problem', *The Journal of Engineering Research*, Vol. 10, No. 2, pp.69–77.
14. Triki, C. and Al-Hinai, N. (2014) 'The periodic petrol replenishment problem: an overview', To appear in the *Proceedings of the 11th Biennial Conference of the Indian Society of Industrial and Applied Mathematics*, Delhi, December.
15. Vidal, T., Crainic, T.G., Gendreau, M. and Prins, C. (2013) 'Heuristics for multi-attribute vehicle routing problems: a survey and synthesis', *European Journal of Operational Research*, Vol. 231, No. 1, pp.1–21.
16. Yao, B., Hu, P., Zhang, M. and Wang, S. (2013) 'Artificial bee colony algorithm with scanning strategy for the periodic vehicle routing problem', *Simulation*, Vol. 89, No. 6, pp.762–770.
17. Электронный ресурс: <https://my.optimoroute.com/>
18. Электронный ресурс: <https://www.okko.ua/fuel-map?fbclid=iwar0z6vow570yhisutmn7wrhjtslidicucpp96yxpmeqnr2dmp6czb-b4vuyi>