

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:

**Застосування змінного методу роботи водіїв вантажних  
автомобілів на міжміських перевезеннях в умовах  
ПП «Каміон Сервіс»**

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-61  
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”  
(шифр і назва)

Олег НАВРОЦЬКИЙ

Керівник: професор Мирослав ОЛІСКЕВИЧ

Дубляни 2024



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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

к.т.н., доцент Олег СУКАЧ

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу студенту  
*Навроцькому Олегу Романовичу*

Тема роботи: *Застосування змінного методу роботи водіїв вантажних автомобілів на міжміських перевезеннях в умовах ПП «Каміон Сервіс»*

Керівник роботи: Оліскевич Мирослав Стефанович, д.т.н., професор  
Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с

Строк здачі студентом закінченої роботи 04.12.2024 року.

Початкові дані: *Огляд відомих досліджень за 5 останніх років. Перелік і параметри відомих міжміських маршрутів. Розклади перевезень пасажирів. Норми часу і відпочинку водіїв. Склад парку АТП. Відомі алгоритми маршрутизації при фіксованих пасажиропотоках*

Перелік питань, які необхідно розробити: *1. Аналіз стану питання в теорії та практиці. 2. Загальні підходи і методи досліджень. 3. Результати застосування алгоритму і аналіз розкладу руху. 4. Охорона праці. Висновки*

Перелік графічного матеріалу: *Презентація основних положень магістерської роботи (12-16 слайдів)*

6. Консультанти розділів роботи:

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

7. Дата видачі завдання: 25.09.2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Пор. №	Назва етапів	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Написання розділу: «Аналіз стану питання в теорії та практиці»	25.09-8.10.2024	
2.	Виконання другого розділу: «Загальні підходи і методи досліджень»	9.10-18.10.2024	
3.	Виконання другого розділу: «Результати застосування алгоритму і аналіз розкладу руху»	18.10-14.11.2024	
4.	Виконання п'ятого розділу: «Охорона праці»	14.11-21.11.2024	
5.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та мультимедійної презентації	21.11-30.11.2024	
6	Завершення роботи в цілому	30.11-5.12.2024	

Студент \_\_\_\_\_ Олег НАВРОЦЬКИЙ.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Мирослав ОЛІСКЕВИЧ

Навроцький О. Р. Застосування змінного методу роботи водіїв вантажних автомобілів на міжміських перевезеннях в умовах ПП «Каміон Сервіс». Магістерська кваліфікаційна робота. ЛНУП, кафедра “Автомобілів і тракторів”. Дубляни, 2024. 84 с.

У роботі розглядається актуальна на практиці задача координації роботи водіїв на дальніх маршрутах з врахуванням вимог правил 561/2010 і часових вікон вантажних транспортних пунктів. Якщо допустити, що конкретні водії не є прикріпленими до вантажівок, то тривалість їх відпочинку не буде відображатись на тривалості простоїв транспорту. Отже, можна припустити, що існує така система транспортних циклів, у яких вантажівки експлуатуються з мінімальним простоем, максимальною продуктивністю, а час роботи і відпочинку водіїв відповідає міжнародним правилам. Математична модель формування інтегрованої схеми перевезення для даної постановки дала змогу, з одного боку, однозначно проектувати автомобільний маршрут для кожної пасажирської кореспонденції, з іншого боку – врахувати можливість сумісного проходження пасажирських кореспонденцій по шляхах сполучення з метою зниження загальносистемних витрат. Запропоновано методику, яке передбачає два додаткові перетворення: 1) перехід від кратних дуг (ребер) до кратних вершин похідного графа; 2) синтез графа подій з графа станів. Запропонована методика дає змогу розв’язувати транспортна задача з циклами, отримуючи при цьому гарантований оптимум методами лінійного програмування. Внаслідок застосування алгоритму до тестової задачі на першій стадії отримано множину оптимальних маршрутів, які не відрізняються тривалістю пробігу. На другій стадії отримано розклад роботи водіїв із застосуванням змінного методу.

Ключові слова: вантажні перевезення, розклад водіїв, змінний метод, інтегрований метод.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ.....	6
1.1 Огляд літератури.....	6
1.2 Стан проблеми на підприємстві.....	10
1.3 Висновки за розділом і формулювання задач досліджень.....	12
2 ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	14
2.1 Вплив тривалості роботи водіїв на сонливість та втому.....	14
2.2 Маршрутизація автомобільних вантажних перевезень з врахуванням змінності водіїв.....	25
2.3 Побудова початкової моделі пошуку активного оптимального розкладу роботи водіїв.....	38
2.4 Алгоритм побудови активного оптимального розкладу роботи автомобілів із застосуванням змішаних графів.....	48
3 РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ І АНАЛІЗ РОЗКЛАДУ РУХУ.....	54
3.1 Передумови і початкові дані для планування розкладу водіїв.....	54
3.2 Попередня специфікація розкладу.....	57
3.3 Визначення можливостей для поїздок.....	58
3.5 Результати застосування алгоритму.....	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	63
4.1 Умови праці на підприємстві.....	63
4.2 Техніка безпеки працівників.....	65
4.3 Технічні і ергономічні вимоги до організації робочого місця працівника контейнерного майданчика на терміналі.....	68
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

## ВСТУП

Використання сучасного автомобільного транспорту для вантажних перевезень вимагає високої інтенсивності транспортних процесів, оскільки це підвищує ефективність використання основних фондів транспортного підприємства. Простої при навантаженні/розвантаженні і у парку, холостий пробіг є недопустимі. Однак, транспортні процеси мають таку кількість обмежень, що важко дотриматись критерію максимальної інтенсивності. По-перше автомобілями керують водії, або екіпажі водіїв, які мають дотримуватись правил Європейської угоди про роботу екіпажів транспортних засобів, що здійснюють міжнародні автомобільні перевезення (ЄУТР). Обов'язковий час їх щодобового, щотижневого відпочинку призводить до простоїв транспортних засобів. Також, враховуючи правила ЄС № 561/2006 і їх ймовірну неузгодженість з часовими вікнами пунктів посадки/висадки вантажів, непродуктивні простої трапляються через невдалу координацію суб'єктів транспортного процесу: автостанції, автовокзали, перевізники. Багатьом перевізникам неприйнятно, при цьому, що можна застосувати змінний метод роботи водіїв, адже при цьому видаються необґрунтованими перебування водіїв у тривалому відрядженні. Крім того, відсутність «прив'язаності» водіїв до транспортних засобів негативно впливає на прийняття рішень стосовно зміни екіпажів автомобілів. Через це набула великої актуальності задача координації роботи водіїв з врахуванням вимог правил 561/2006 і часових вікон вантажних транспортних пунктів. Якщо допустити, що конкретні водії не є прикріпленими до вантажівок, то тривалість їх відпочинку не буде відображатись на тривалості простоїв транспорту. Отже, можна припустити, що існує така система транспортних циклів, у яких вантажівки експлуатуються з мінімальним простоем, максимальною продуктивністю, а час роботи і відпочинку водіїв відповідає міжнародним правилам. У зв'язку з цим тема моєї магістерської роботи є актуальною.

# 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ

## 1.1 Огляд літератури

Проблема маршрутизації транспортного засобу та планування роботи екіпажу (МТЗПРЕ) складається з одночасного планування маршрутів парку автомобілів і складання розкладів як окремих водіїв, так й усіх екіпажів, які задіяні в проекті. При цьому допускається, що відповідність роботи екіпажу і тривалості використання автомобіля не є фіксованими (відсутність «прив'язки» в часі). Це дає змогу більш гнучко планувати, та ефективніше використовувати автомобільний парк. Однак при цьому значно загострюється питання координації роботи різних екіпажів та різних автомобілів. У роботі [1] представлено варіант МТЗПРЕ, де запити на отримання та доставку з часовим вікном мають виконуватися протягом заданого горизонту планування за допомогою автомобілів і водіїв. Екіпаж може складатися з 1 або 2 водіїв, і будь-який з них може бути замінений у заданому переліку пунктів маршруту. Крім того, водії можуть переміщатись між містами для того, щоб забезпечити мінімальний простій автомобілів у разі відсутності вільних водіїв. Особливістю цієї задачі є те, що вантажівки відіграють подвійну роль: окрім виконання вантажопотоків на перевезення, їх можна використовувати для перевезення вільних від роботи водіїв між містами. Автори статті [10] пропонують гібридний мета-евристичний алгоритм для планування роботи екіпажів відповідно до особливостей маршрутів транспортних засобів, визначених на першому етапі. Цей алгоритм здатний забезпечувати пошук рішення, коли екіпажі можуть складатись з 1 або 2 водіїв за допомогою двох стадій розв'язання проблеми. Результати показали ефективність алгоритму, здебільшого завдяки можливості часткового порушення деяких обмежень, пов'язаних з можливостями зміни часу початку виконання рейсів. Однак, умови та обмеження задачі не цілком відповідають тим, які сформульовані нами. Зокрема, перевезення, які описані в роботі, є



внутрішніми міжміськими, тому там можлива більша різноманітність маршрутів. По-друге, згідно правил 561, водії, які здійснюють поїздки між містами, щоб прийняти до керування вільний транспортний засіб, не відпочивають і ці правила порушують. По-третє, координація роботи водіїв на міжнародних маршрутах передбачає, як правило, невизначеність тривалості руху на маршруті, тому транспортна задача у цьому випадку є неактуальною.

Незалежно від вибраних варіантів виконання вантажопотоків, правила робочого часу призначені для того, щоб допомогти водіям автомобілів забезпечити належний відпочинок і виконувати безпечні операції. Однак нові правила ЄУТР можуть призвести до суттєвого зростання витрат для міжнародних перевізників, які вже сильно постраждали від зростання цін на паливо та зниження попиту на доставку [23]. Крім того, нові правила ускладнюють графіки водіїв, не лише обмежуючи послідовні години водіння водія, але й збільшуючи вільний час. Щоб впоратися з цією складною проблемою, у роботі [7] розроблено змішану цілочисельну модель програмування, та метаевристику моделювання методом відпалу. Однак, запропонована модель повинна бути розширена, щоб включити елемент невизначеності (стохастичності), задіяний у часових вікнах, а також враховувати час подорожі між транспортними вузлами. Модель і процедуру потрібно модифікувати, щоб врахувати багатооб'єктивний аспект (наприклад, компроміс між уподобаннями водія та вантажопотоками) проблеми маршрутизації транспортного засобу та планування.

Майбутні дослідження в даному напрямку можуть динамічно враховувати зміни графіка руху автомобілів за допомогою зв'язку в режимі реального часу між диспетчером і водіями, тобто для додавання нових запитів на доставку, або скасування існуючих запитів на доставку в оперативному режимі [6].

Модель, представлена в статті [12] є більш гнучкою і може бути налаштована для врахування різних наборів правил, встановлених державними постановами та профспілковими контрактами. Представлено

підхід до динамічного програмування та продемонстровано його ефективність для регулювання робочого часу водіїв в Сполучених Штатах і в Європейському Союзі. Однак, ця модель не дає рішень стосовно вибору і розподілу автомобілів по маршрутах, тобто оптимізація вантажопотоків не виконується.

Транспортна задача, яка фактично є задачею оптимізації вантажопотоків, у класичному формулюванні зазнала чимало змін, пов'язаних з адаптацією її до реальних логістичних процесів. Зокрема, у недавніх наукових працях обґрунтовано методику її розв'язування з врахуванням пропускних спроможностей шляхів сполучень, фактору часу, а також із застосуванням інформаційних технологій [6, 7]. Відомі також постановки задачі при неоднорідних потоках і обмеженнях на допустимий час поїздки.

Використання інтелектуальних транспортних систем вимагає більш ретельного підходу до аналізу оперативної інформації. Відповідно, у роботі [5] було представлено удосконалення методології складання розкладів автомобілів і водіїв та їх реалізації з урахуванням підвищення вимог до їх якості. Таким чином, якщо обґрунтувати класифікацію відомих вантажопотоків на перевезення вантажів за сумісністю, географічним розташуванням, організованістю та терміновістю, то це дає змогу знайти гарантований розв'язок комплексної задачі оперативного керування транспортними екіпажами при динамічних умовах виконання процесу.

Задачу формування інтегрованої системи доставки для множини невзаємозамінних кореспонденцій розглянуто в роботі [9] при дослідженні синергетичного ефекту, пов'язаного з інтеграцією елементів транспортних систем. Кожен потік розглядався як заданий і такий, що складається з допустимих  $l$  кореспонденцій. Кожній групі  $q_{i,j,l}$  поставлено у відповідність набори індексів  $i, j, l$ , які відповідно означають пункт відправлення, пункт призначення і номер групи з пункту відправлення. Математична модель формування інтегрованої схеми перевезення для даної постановки дала змогу, з одного боку, однозначно проектувати маршрут для кожного вантажної

групи, з іншого боку – врахувати можливість сумісного проходження вантажних груп по шляхах сполучення з метою зниження загальносистемних витрат. Така модель об'єднує обмеження, які стосуються оптимізації потоків окремих груп вантажів, що розв'язувались методом пошуку найкоротших ланцюгів між двома заданими вершинами графа заданої мережі. Однак, такий підхід не має цілковитої адекватності розв'язків, тому що наявність декількох груп в одному транспортному пункті передбачає, формально, декілька транспортних циклів. Відомо, що у графах, що містять петлі, або інші замкнені контури, неможливо наявними математичними засобами побудувати однозначний найкоротший шлях між будь-якими двома вершинами. Тому в згаданій роботі [9] цю складність обминули, застосовуючи, знову ж таки, декомпозицію та агрегування загальної задачі. А при такій декомпозиції гарантований оптимум не забезпечується, натомість його замінюють нижньою оцінкою.

У кожній з дотепер відомих задач оптимізації потоків на мережах об'єктами впорядкування є одиничні (нециклічні) потоки, які потрібно опрацювати впродовж обмеженого і, як правило, відомого фіксованого періоду. Відомі лише деякі роботи, в яких були спроби розглянути задачу про потоки на мережах в динаміці, тобто при зміні тривалості періоду, коли є інформація про них [15]. Проте, ці роботи стосуються перспективного планування розвитку транспортних мереж і для оперативного планування не можуть бути застосовані.

Отже, рішення задачі диспетчеризації мають вищий рівень якості, якщо вони отримані комплексно з маршрутизацією та розподілом автомобілів за відомими рейсами. Це досягається за рахунок інтеграційного ефекту та більшої кількості альтернативних рішень. Формалізація задачі планування для одного маршруту не є успішною, оскільки тут потрібна дуже велика кількість змінних. Враховуючи обмеження щодо режимів праці та відпочинку водіїв, складання розкладу з прив'язкою до конкретного маршруту є проблемою комплексною і не має чіткого вирішення. Динамічне програмування знижує

точність рішень. Натомість використання змішаних графів і двійкових змінних формулює проблему розробки розкладу водіїв автомобілів для парку транспортних засобів таким чином, щоб забезпечити гарантовано точне рішення.

Метою цієї роботи є розроблення такої методики і відповідного алгоритму пошуку гарантованого оптимального розв'язання задачі, яка стосується оптимального розподілу фіксованих вантажопотоків між обмеженою кількістю транспортних засобів при обмеженнях на тривалість керування водіїв, забороні застосувати кільцеві маршрути. Методика повинна підвищити інтенсивність експлуатації вантажних автомобілів за рахунок скорочення їх простоїв при застосуванні змінного методу роботи екіпажів водіїв.

## **1.2 Стан проблеми на підприємстві**

Компанія ПП «Каміон Сервіс» пропонує комплексні послуги по проектуванню, виготовленню, логістиці, монтажу, доставці, технічному обслуговуванню і демонтажу металоконструкцій будь-якої складності.

Профільним напрямком діяльності компанії є розробка і реалізація комплексних проектів по будівництву об'єктів мобільного зв'язку, інформаційних кабельних, оптичних та безпроводних ліній передачі даних. Завдяки чіткій стратегії та високому професіоналізму команди однодумців, «МС-Зв'язок» займає передові позиції на ринку будівництва об'єктів зв'язку у західних регіонах України. Компанія має власне підприємство по виготовленню металоконструкцій.

Починаючи свою роботу з 2003 року, ПП «Каміон Сервіс» успішно співпрацює з провідними українськими операторами мобільного зв'язку, для яких побудовано загалом більше ніж 1000 базових станцій і антенно-щоголових споруд. Спроектвана та побудована широкопasmова мережа доступу (FTTB) в 14 містах України. В процесі розвитку компанія опановує нові напрямки діяльності та збільшує кількість постійних клієнтів.

Центральний офіс компанії знаходиться у місті Хмельницькому, а регіональні офіси, що відповідають за західний регіон, знаходяться у Львові, Тернополі, Рівному, Луцьку, Чернівцях, Ужгороді та Івано-Франківську.

Висока якість робіт, що виконує компанія «МС-Зв'язок», забезпечується роботою висококваліфікованих спеціалістів та використанням обладнання передових світових виробників.

На сьогодні штат персоналу компанії складається із 350 профільних спеціалістів.

Компанія має власну промислову базу по виготовленню металоконструкцій та виробів із залізобетону, в достатній кількості забезпечена будівельною технікою та автотранспортом.

«Каміон Сервіс» пропонує вантажні перевезення по Україні до 4т. Термін транспортування – від однієї до двох діб.

Підвищити швидкість виконання комплексу робіт по монтажу та встановленню антенно-фідерних споруд (щогл, башт, контейнерів) дозволяє нам власна спецтехніка: автокран; ескаватори; автомобіль бетонозмішувач; інші.



*Рисунок 1.1 – Спецтехніка підприємства*



*Рисунок 1.2 – Основний транспорт підприємства*

ПП «Каміон Сервіс» має міцні партнерські відносини із безпосередніми виробниками сировини та матеріалів, налагоджені зв'язки із провідними проектними організаціями України.

Це означає, що підприємство обслуговує маршрути, які пов'язані з центральним пунктом, м. Львів, де й розташований автомобільний парк підприємства.

### **1.3 Висновки за розділом і формулювання задач досліджень**

З огляду літературних джерел і аналізу підприємства можна зробити висновок про те, що рухомий склад сучасних вантажних перевізників використовується незадовільно. Коефіцієнт випуску автомобілів на лінію становить заледве 0,65. Це пов'язано з тим, що водії є закріплені за конкретними машинами. А, оскільки водії мають виконувати правила ЄУТР, то багато часу вони мають відпочивати за межами автомобілів. В іншому випадку водії будуть занадто втомлюватись і наражати на небезпеку ДПТ вантажів.

Мета роботи – розроблення такої методики і відповідного алгоритму пошуку гарантованого оптимального розв'язання задачі, яка стосується

оптимального розподілу фіксованих вантажопотоків між обмеженою кількістю транспортних засобів при обмеженнях на тривалість керування водіїв.

Предмет досліджень – вплив змінного методу роботи водіїв на простой і холостий пробіг автомобілів, а також на тривалість рейсу перевезення вантажів на міжміських і міжнародних маршрутах.

Об'єкти дослідження – процеси перевезення вантажів на міжміських і міжнародних маршрутах.

Методи дослідження – математичне програмування, теорія графів, метод «розділяй і пануй», системного аналізу.

Для того, щоб підвищити продуктивність автомобілів ми пропонуємо застосувати метод змінної їзди. Однак, для цього потрібно вирішити задачу маршрутизації і складання розкладу роботи бригади водіїв комплексно.

Щоб досягнути мети магістерської роботи, сформулюємо такі задачі дослідження, які будуть вирішені.

1. Зробити аналіз відомих методів маршрутизації рухомого складу і складання розкладів роботи і відпочинку водіїв.
2. Розробити удосконалену методичку організації праці водіїв.
3. Провести розрахунок змінного методу роботи водіїв на прикладі «Каміон-Сервіс».
4. Запропонувати зміни до розкладів водіїв і виконання рейсів у міжміському міжбласному сполученні підприємства.

## **2 ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **2.1 Вплив тривалості роботи водіїв на сонливість та втома**

Сонливість і втома можуть погіршити безпеку на робочому місці та призвести до збільшення кількості травм, нещасних випадків та інших інцидентів [15,17]. У промисловості терміни сонливість і втома часто використовуються як взаємозамінні та можуть стосуватися як фізіологічного бажання заснути, викликаного відсутністю або порушенням сну, так і природних циркадних ритмів організму, які в літературі визначаються як сонливість [18], або у зв'язку з потребою у перерві у виконанні завдання чи діяльності через недостатнє, або надмірне навантаження, що в літературі визначається як втома [19]. Хоча визнається, що сонливість і втома взаємопов'язані, як показано на рис.2.1, у центрі уваги цього дослідження лежить сонливість або втома, пов'язана з сонливістю, а не втома, пов'язана з роботою, і використання контрзаходів, спрямованих на вплив на низькі циркадні показники. або протидіяти втраті сну та посиленню сну.

Сонливість поширена серед позмінних працівників через комбінацію факторів, таких як тривалий робочий час, робота під час низьких циркадних скорочень, а також нерегулярний режим зміни та час початку роботи [17]. Транспортна галузь часто використовує позмінну роботу для підтримки цілодобової роботи без вихідних, вимагаючи від людей бути пильними та ефективними в періоди зниження пильності.





Рисунок 2.1 – Схематичне зображення факторів, що впливають на втому водія, сонливість, продуктивність водіння та ризик ДТП [16]

З точки зору професійного водіння, певні аспекти професії можуть бути додатковими факторами ризику сонливості, включаючи сидячу роботу, тривале водіння, що потребує постійної уваги та пильності, зміну режиму чергування [15], як а також нереалістичне планування [17]. Водіння у стані сну може мати серйозні наслідки та пов'язане з підвищеним ризиком ДТП [18] причому сонливість є причиною приблизно 15%-30% дорожньо-транспортних пригод у всьому світі [16]. Хоча можна вважати, що професійні водії більш здатні залишатися неспаними та пильними порівняно з непрофесійними водіями, це не так [15]. Протягом 12 місяців 38% професійних водіїв повідомили, що відчували сонливість принаймні раз на тиждень, а 45% водіїв повідомили, що дримали під час водіння [16].

Більшість попередніх досліджень сонливості водіїв були зосереджені на водіях приватних автомобілів [18] або водіїв автомобілів, порівняно мало

досліджень щодо водіїв автомобілів. Обмежене дослідження водіїв автомобілів було зосереджено на кількісній оцінці проблеми, припускаючи, що сонливість водіїв є проблемою, оскільки приблизно 20% водіїв міських автомобілів регулярно намагаються не спати за кермом [18].

Також повідомлялося, що 12% водіїв засинали за кермом принаймні раз на місяць, а від 7% до 8% водіїв повідомили, що потрапили в аварію або зазнали аварії через сонливість [18]. Сонливість водіїв автомобілів – це не лише європейська проблема. Згідно з попередніми даними, перуанське дослідження показало, що 74% водіїв автомобілів відчували сонливість під час керування автомобілем, причому 29% водіїв потрапили в аварію або ледве не потрапили в аварію, а 36% зізналися, що заснули під час керування автомобілем [16].

Дуже мало відомо про те, як водії автомобілів сприймають сонливість. Одним винятком є дослідження фокус-групи [18]. Було вивчено фактори роботи та навколишнього середовища, які можуть викликати втому водіїв міських автомобілів, виявлено дев'ять важливих факторів, багато з яких поширені в умовах позмінної роботи, наприклад, підтримка з боку керівництва, оборот і нерегулярність змін, подовжені цикли зміни та подовжений час поїздки. Проте кілька факторів були специфічними для водіїв громадського транспорту, наприклад, взаємодія з вантажем, ергономіка салону, щільний графік маршруту, продаж квитків і пов'язані з цим проблеми, підкреслюючи додаткові складнощі, з якими водії автомобілів можуть зіткнутися у зв'язку з втомою та сонливістю. Незважаючи на те, що дослідження приділяло менше уваги, дослідження показує, що сонливість є основною проблемою для водіїв міських автомобілів; однак незрозуміло, як водії справляються зі своєю сонливістю щодня.

Щоб зрозуміти досвід, погляди та думки водіїв автомобілів щодо сонливості, були зібрані дані за допомогою методів якісного дослідження. Були проведені фокус-групи з вибіркою водіїв міських автомобілів, проведені на підприємствах кожного з основних операторів у Лондоні [16]. Було

використано стандартний протокол підказок і питань обговорення, що гарантувало, що всі фокус-групи проводилися в однаковому форматі. Під час спілкування з водіями використовувалося слово «втома», оскільки це загальноживаний галузевий термін. Однак на початку кожної фокус-групи це було визначено для того, щоб у центрі уваги була втома, пов'язана із сонливістю, а не втома, пов'язана з виконанням завдань. Основними темами для обговорення були поява та переживання втоми, причини та наслідки втоми, стратегії боротьби з втомою, культура робочого місця, що оточує втому, сон та втома поза роботою, схеми змін і понаднормова робота, а також стрес і тиск. Кожну групу відвідували два фасилітатори, а один дослідник відповідав за всі групи. Поточний аналіз зосереджений на конкретній темі використання індивідуальних засобів протидії. Аналіз більш широких тем втоми водія та сонливості повідомляється в інших місцях.

Учасниками були водії міських автомобілів (м. Лондон), запрошені операторами, які їх найняли. Загалом взяли участь 62 водії, 49 чоловіків та 13 жінок. Найбільша частка водіїв була віком 45-54 роки (35,5%), 26,2% водіїв віком 54-65 років, 21% водіїв віком 35-44 роки та 16,9% водіїв віком 25-34 роки. Частка жінок-учасниць і віковий діапазон, включений у дослідження, можна порівняти з лондонськими та британськими водіями автомобілів загалом. Середній стаж водіння автомобіля становив 13,3 року. Єдиним критерієм включення було те, що водії керували автомобілями не менше 1 року.

Було проведено дев'ять напівструктурованих зустрічей фокус-груп, на яких досліджували втому та сонливість, а також використовували індивідуальні заходи протидії сонливості. Спочатку зв'язалися з операторами, щоб визначити відповідні депо та гаражі для проведення фокус-груп, а також відповідний контакт у кожному з дев'яти місць. Тоді водіїв запросили взяти участь у обговоренні групами по шість-вісім осіб. Фокус-групи були проведені в організаціях, щоб полегшити доступ і дозволити запланувати робочі списки. Однак участь була добровільною, і всі учасники дали

інформовану письмову згоду. Дані збирали протягом жовтня та листопада 2022 року. На початку кожної фокус-групи водіям надавали інформаційний лист та форму згоди. Основна демографічна інформація була зібрана шляхом короткого опитування, яке проводилося перед початком кожної сесії фокус-групи. У кожній групі брали участь по два дослідники. Було розроблено протокол підказок, щоб полегшити обговорення та забезпечити наступність між групами. Водіїв закликали розглядати дискусію як неформальну та відчувати себе комфортно, щоб висловити свої погляди та думки. У таблиці 1 подано огляд підказок і запитань, які використовуються для фокус-груп.

Таблиця 2.1 – Огляд підказок і запитань

Тема	Приклад запитання
Вступ	Як давно ви водите вантажівки?
Переживання втоми	Чи можете ви описати ситуацію, коли ви або хтось із ваших знайомих страждали від втоми водія під час роботи?
Причини та наслідки втоми	Як на ваше водіння впливає відчуття втоми/сонності?
Стратегії управління втомою	Що ви робите, якщо відчуваєте втому/сонність?
Культура робочого місця	Чи могли б ви описати, як ви спілкуєтеся зі своїм роботодавцем або керівником, якщо ви були втомлені/сонні на роботі?
Сон і втома поза роботою	Які фактори впливають на те, скільки ви б спали, коли не на роботі?
Схема змін і понаднормова робота	Чи є якийсь певний час доби, ситуації або моменти в зміні / режимі зміни, коли ви, швидше за все, відчуваєте втому

Тематичний аналіз проводився відповідно до вказівок Брауна та Кларка [10]. Цей метод аналізу було обрано, оскільки він дозволяє темам розвиватися з власної розповіді учасників. Під час аналізу використовувався індуктивний тематичний аналіз, де теми керуються даними, а не теоретично керуються заздалегідь визначеними темами.

У першому випадку всі дані, що стосуються використання індивідуальних стратегій протидії сонливості для управління втомою, були визначені як одиниці інформації, які стосувалися цілей дослідження. Це було досягнуто шляхом детального перегляду стенограм.

Обговорення, пов'язане з використанням контрзаходів, було ізольовано, а розділи відповідного тексту від першої згадки теми до згадування іншої теми були вибрані та внесені до нової стенограми для аналізу. Незважаючи на те, що більша частина цього тексту надійшла з теми обговорення «стратегії боротьби з втомою», він не обмежувався цією темою обговорення. Якщо були відповідні згадки у відповідях на інші теми та підказки, вони також були включені. Використання контрзаходів згадувалося на всіх фокус-групах; загалом було створено дев'ять нових транскриптів. Потім ці стенограми були прочитані з підходом кодування знизу вгору. Після того, як було створено повний список початкових кодів, транскрипти були повторно проаналізовані з усіма кодами, застосованими (у відповідних випадках) до кожного стенограми. Незалежний другий кодер переглянув вибірку кодування, і коди обговорювалися. Після цього коди були згруповані за категоріями, а схожі коди об'єднані для розробки тем. Для підтримки кожної з тем було визначено відповідні витяги. Нарешті, теми та підтеми були переглянуті та уточнені.

Використання індивідуальних заходів протидії сонливості обговорювалося в усіх дев'яти фокус-групах. Тематичний аналіз визначив дві основні теми:

- 1) стратегії, які використовуються для протидії сонливості;
- 2) бар'єри для індивідуального використання контрзаходів.

У кожній темі було визначено кілька підтем, чотири підтеми та п'ять підтем відповідно. У таблиці 2.2 подано стислий перелік основних тем і підтем. Ця тема детально описує стратегії, які використовують водії, щоб протидіяти своїй сонливості. У рамках цієї головної теми було визначено чотири підтеми. Водії обговорювали управління сонливістю по відношенню до ефективних і неефективних стратегій — визначення, визначене в

попередній літературі, де зазначено ті стратегії, які мають або не показали сприятливий вплив на зниження сонливості — і стратегії, що використовуються як на службі, так і поза нею. Підтеми нижче були описані окремо; хоча між ними є певне перекриття.

Таблиця 2.2 – Основні теми та підтеми, визначені тематичним аналізом

Основні теми	Підтеми
1. Стратегії, що використовуються для протидії сонливості ( $n = 9$ )	1. Ефективні стратегії ( $n = 9$ ) 2. Неефективні стратегії ( $n = 9$ ) 3. Під час службового використання ( $n = 9$ ) 4. Використання поза службовими обов'язками ( $n = 8$ )
2. Перешкоди для використання індивідуальних засобів протидії ( $n = 9$ )	1. Обмеження на робочому місці ( $n = 9$ ) 2. Об'єкти ( $n = 9$ ) 3. Перерви/термін виконання ( $n = 9$ ) 4. Освіта ( $n = 9$ ) 5. Посада водія автомобіля ( $n = 9$ )

Примітка.  $n$  – кількість тем фокус-груп із загальної кількості 9.

Ефективні стратегії. Ця підтема висвітлювала стратегії, які використовували водії, які виявилися ефективними для зменшення об'єктивної сонливості, наприклад, вживання кофеїну та/або дрімота, і з'явилася в усіх дев'яти фокус-групах. Під час обговорення того, як водії справляються зі своєю сонливістю, однією з найбільш часто обговорюваних стратегій було вживання кофеїну, який згадувався у всіх дев'яти фокус-групах. Поряд із вживанням кофеїну в усіх фокус-групах також обговорювалась дрімота як стратегія протидії сонливості. Цю стратегію, яку часто називають «потужним дрімотом», використовували, якщо водії відчували, що мають достатньо часу, і зазвичай сталося в автомобілі в кінці маршруту: «Іноді в іншому кінці я просто сунув голову лягти і спати, подрімати». Кілька водіїв також повідомили, що дрімають під час перерв, часто в їдальні, оскільки для більшості, якщо не всіх, водіїв не було спеціально відведених місць для дрімання.

Поліцейські опитали 1581 водія. Двох водіїв було виключено через те, що вони не пройшли тест ВАС, а решта зголосилися взяти участь (північний = 682; центральний = 897). Записи свідчать про те, що ці водії становили близько 21% інтенсивності руху між 08:00 і 10:00 [17]. З водіїв 180 були віднесені до категорії SW (11,4%), 1375 (87,1%) були NSW і 24 не могли бути закодовані. З південного заходу 121 був із північної ділянки та 59 із центральної. Чоловіки становили 97% усіх водіїв на Південному Уельсі та 67% водіїв у Новому Уельсі. Середній вік становив 42,56 року ( $SD = 13,05$ ), і не було суттєвих відмінностей за місцем і групою. Віковий діапазон для всієї вибірки становив 17-89 років.

Середня кількість виконаних нічних змін перед керуванням істотно не відрізнялася залежно від місця. Найпоширенішою схемою була робота в чотири послідовні нічні зміни (30%), а потім дві послідовні нічні зміни (29%). Діапазон був від однієї до 14 нічних змін. Тривалість зміни переважно становила 12-12,5 годин (87%), але повідомлялося про невелику кількість 8-годинних змін (2%). Максимальна тривалість зміни становила 13,5 год.

Пройдена відстань і стратегія водіння. Середня пройдена відстань в один бік суттєво не відрізнялася між SW ( $M = 211,12$  км,  $SD = 84,41$  км) і NSW ( $M = 213,31$  км,  $SD = 161,97$  км). Значна різниця була отримана для відстаней, пройдених на південний захід від центральної ( $M = 249,17$  км,  $SD = 105,70$  км) і північної точки ( $M = 192,56$  км,  $SD = 64,58$  км)  $t(178) = 4,44$   $p = 0,01$ .

Не було виявлено суттєвих відмінностей для середньої пройдені відстані залежно від місця, групи та стратегії водіння (див. табл. 2.2). Однак велике стандартне відхилення підкреслює варіабельність відстаней для обох груп. З SW 76% повідомили, що не робили перерву, а максимальна відстань, яку проїхали, становила 600 км. СР, які брали перерву за кермом (24%), повідомили про максимальну відстань 655 км. Приблизно 11% SW ( $n = 19$ ) вказали, що вони подорожували між нічними змінами, і максимальна середня відстань, пройдена в цих випадках, становила 581 км.

Більшість РСБ (54%) вказали, що повернуться додому через три-чотири дні порівняно з 61% НСВ, які повідомили, що повернулися додому того самого дня. Середній час повернення для SW був 13:15 (SD = 4,69), але розподіл був бімодальним: 14% вказали на повернення між 02:00 і 05:00, а 54% - між 14:00 і 16:00. Середній час повернення для NSW становив 14:00 (SD = 3,57).

Таблиця 2.3 – Організація роботи позмінних водіїв

Організація роботи	Північний район (n = 112)		Центральний (n = 59)	
	Середнє	Стандартне відхилення	Середнє	Стандартне відхилення
Кількість виконаних нічних змін	3.57	1.78	4.12	2.45
Час початку нічної зміни	18:61	1.95	18:42	2.95
Час закінчення нічної зміни	06:71	1.20	06:69	1.23
Тривалість зміни (год)	11.89	0.83	11.86	1.04

Сон і сонливість. Середня тривалість сну за самооцінкою у SW суттєво не відрізнялася між центральною (M = 6,29 год., SD = 2,27 год.) і північною зоною (M = 6,61 год., SD = 2,24 год.). Цей сон було зроблено протягом попереднього дня порівняно з NSW, який повідомив про повний сон перед подорожжю. Значна середня різниця (див. табл. 2.3) була виявлена між SW (M = 4,64, SD = 1,66) і NSW (M = 2,98, SD = 1,11) для оцінок сприйнятої сонливості ( $F(1,1554) = 228,55$ ,  $p = 0,01$ ). Оцінки KSS, виражені як процентильні бали, вказували на те, що SW постійно реєструє вищі оцінки сонливості (див. таблицю 2.4). Виражена сонливість (P7) була виявлена у 19% SW порівняно з 1% у NSW.

Односторонній дисперсійний аналіз показав відсутність суттєвих відмінностей у сонливості між водіями, які працюють 4–7 послідовних нічних змін (M = 4,82, SD = 1,74), і тими, хто працює в 1–3 нічні зміни (M = 4,61, SD = 1,62).



Таблиця 2.4 – Відстань, час у дорозі, сонливість і сон між змінними та незмінними працівниками в залежності від місця

Показник	Північна ділянка				Центральний сайт			
	Вахтовики		Позазмінні працівники		Вахтовики		Позазмінні працівники	
	Середнє	Стандартне відхилення	Середнє	Стандартне відхилення	Середнє	Стандартне відхилення	Середнє	Стандартне відхилення
Прямий рух (км)	190.16	66.70	133.21	100.23	230.18	82.65	182.14	94.12
Перерва (км)	207.24	48.73	233.46	190.89	273.27	126.87	367.10	232.36
Поїздка туди й назад того ж дня (км)	281.63	102.01	239.40	165.84	581.50	318.27	343.57	152.97
День повернення час відправлення	13:45	4.51	13:69	3.46	12:33	5.11	13:85	3.66
Рейтинг сонливості (KSS)	4.92	1.74	3.27	1.06	4.07	1.32	2.78	1.09
Тривалість сну (годин)	6.61	2.24	NA	NA	6.29	2.27	NA	NA

Таблиця 2.5 – Оцінки сонливості за процентильними балами для працівників, які працюють позмінно та без змін

Процентиль	Вахтовики	Позазмінні працівники
5	3	1
10	3	2
25	3	2
50	5	3
75	6	3
90	7	4
95	7	5

Тест Schee post hoc показав, що група NSW була значно меншою сонливістю ( $M = 2,97$ ,  $SD = 1,02$ ) ( $F(2,181) = 28,24$ ,  $p = 0,001$ ), ніж дві інші групи працівників. Середній вік між трьома групами не був значущим ( $M = 40,03$ ,  $SD = 11,04$ ).

Це статистичне дослідження, у якому використано велику вибірку для вивчення зв'язку між нічною роботою та сонливістю в контексті поїздок на великі відстані дає корисний внесок, оскільки: (а) надає оцінку кількості

працівників, які їздять на великі відстані, і пройдені відстані, (б) рівні сонливості та (в) відзначають роль графіку роботи в планах поїздок працівника.

Ці висновки впливають на роботодавців, працівників, планування робочого графіка та безпеку дорожнього руху в цілому. Приблизно 11% SW планували проїхати середні відстані 211 км (північна ділянка) та 249 км (центральна ділянка) після роботи в 12-годинну нічну зміну. Однак існувала велика мінливість середнього значення, і максимальна відстань в один бік на обох ділянках становила приблизно 650 км. Середні відстані були подібними до тих, про які повідомлялося в дослідженні [12]. Викликає занепокоєння те, що ці поїздки здійснюються в поєднанні з рядом факторів ризику дорожньо-транспортних пригод. До них відносяться хронічна втрата сну після нічних змін [11], втома від робочих вимог [16] і тривале неспання [21]. Враховуючи, що SW не спав приблизно з 15:00 до 16:00 дня перед опитуванням, мінімальна тривалість неспання у працівників становила близько 17 годин. Кілька досліджень дійшли висновку, що 17–19 годин неспання погіршує симульовану продуктивність, подібну до ВАС 0,05%, а 21–24 години неспання еквівалентні ВАС 0,10% [11].

Інші фактори, що збільшують ризик нещасних випадків, включають характер водіння та водіння на великі відстані як таку. Шосе між вугледобувним районом і узбережжям мають довгі ділянки прямих доріг з невеликими цікавими особливостями ландшафту.

Монотонна їзда по шосе пов'язана з підвищеним ризиком нещасних випадків [19]. Водіння на довгі відстані також є проблематичним, оскільки було продемонстровано, що час реакції зменшується з кожною годиною водіння [6], а втрата сну, як було показано, погіршує імітацію водіння [23]. Повідомлена тривалість сну SW була подібною до тих, що були отримані в лабораторних дослідженнях, що демонструють порушення часу реакції [19]

Висновок про те, що сонливість була значно вищою у SW, узгоджувався з літературою [17].

Набагато більша частка РС (19%) була оцінена як така, що має «сильну» сонливість (1%), і це свідчить про те, що ОСБ стикається з більшим ризиком дорожньо-транспортних пригод. Рейтинги сонливості 7 були пов'язані з об'єктивними показниками сну, такими як повільні рухи очей і підвищена альфа- і тета-активність. У свою чергу ці показники сну пов'язані з зниження продуктивності та порушення пильності.

Низка досліджень на симуляторах водіння продемонструвала зв'язок між високим рівнем сонливості та порушення водіння. Водії з KSS P7 їздили в середньому 43 хвилини до аварії (всі колеса поза смугою). Існують послідовні висновки, які пов'язують високий рівень сонливості з підвищеним рівнем альфа- і тета-активності. Ці показники ЕЕГ були пов'язані з надмірним дрейфом смуги. Більше значення для цього дослідження має A° Kerstedt та його колеги (2005) перевірили водіння 10 SW після нічної зміни та після нормального нічного сну. Водіння після нічної зміни асоціювалося з дев'яткою, щоб працівники усвідомлювали ризик безпеки під час керування автомобілем одразу після нічної роботи. По-третє, роботодавці мають розглянути способи усунення ризику водіння після нічної зміни. Деякі можливості включають оренду автомобіля для перевезення працівників або вимагання від працівників спати протягом мінімального періоду перед поїздкою. Висновок про те, що близько 20% SW керували автомобілем із сильним рівнем сонливості, викликає занепокоєння щодо безпеки водія та ширшої спільноти. З точки зору безпеки дорожнього руху, це вимагає розгляду соціально прийнятних рішень щодо сонливості водія.

## **2.2 Маршрутизація автомобільних вантажних перевезень з врахуванням змінності водіїв**

2.2.1 Постановка проблеми. Сучасні транспортні схеми є такими складними, що для них важко, а у деяких випадках – неможливо адекватно застосувати звичайні лінійні, або випуклі нелінійні моделі. Задачі, які виникають в нових умовах, – це оптимізація дискретних потоків в мережах,

для яких поки що немає загальної теорії та універсальних методів. Як вихід, використовують динамічне програмування, евристичні методи, інтерактивне програмування, тобто такі засоби, які не дають гарантованого оптимального розв'язку, але наближують до нього з певною точністю. Крім того, для проектування оптимальної транспортної схеми, переважно, використовують декомпозицію загального виробничого завдання на часткові, методики розв'язання яких є відомими: маршрутизація, оптимізація вантажопотоків, розподіл наявних транспортних засобів по відомих роботах, координація транспортних і допоміжних засобів. Це знижує точність розрахунків і робить проектні рішення непрактичними.

З іншого боку, розвиток транспортних систем супроводжується інтеграцією часткових процесів. Тому традиційна транспортна задача (ТЗ) та її модифікації стають такими, що практично не можуть бути застосованими через надмірну абстрагованість. На практиці транспортні компанії не є суб'єктом прийняття рішень, тому вони сприймають готову інформацію про вантажопотоки, які є, переважно, невзаємозамінними. Задача про закріплення тут втрачає зміст. Обсяг початкової достовірної прогнозової інформації для кожного конкретного перевізника є випадковою величиною. Параметри її розподілу залежать від періоду, якого стосується інформація. Саме опираючись на таку інформацію, перевізники виконують розподіл парку транспортних засобів на відомі вантажопотоку. В кожному випадку, використовуючи її сподівану характеристику, їм потрібно диференційовано підходити до формулювання виробничих задач. Оскільки в теорії є прогалини стосовно цих питань, то на практиці виникає проблема недовикористання провізних спроможностей автотранспортних парків. Кількість транспортних засобів значно перевищує їх об'єктивну потребу. Водночас, реальний пасажиробіг значно перевищує об'єктивно необхідний, що є наслідком використання недосконалих транспортних схем.

Транспортна задача у класичному формулюванні зазнала чимало змін, пов'язаних з адаптацією її до реальних логістичних процесів. Зокрема, у

недавніх наукових працях обґрунтовано методику її розв'язування з врахуванням пропускних спроможностей шляхів сполучень, фактору часу [1,2]. Відомі також постановки задачі при неоднорідних вантажопотоках і обмеженнях на допустимий час доставки [3].

При дослідженні синергетичного ефекту, пов'язаного з інтеграцією елементів транспортних систем розглянуто задачу формування інтегрованої системи перевезення вантажів для множини непов'язаних маршрутів [4]. Кожен вантажопотік розглядався як заданий і такий, що складається з допустимих  $l$  кореспонденцій. Кожній кореспонденції  $q_{i,j,l}$  поставлено у відповідність набори індексів  $i, j, l$  – пункт відправлення, пункт призначення і номер маршруту. Математична модель формування інтегрованої схеми перевезення для даної постановки дала змогу, з одного боку, однозначно проектувати автомобільний маршрут для кожної пасажирської кореспонденції, з іншого боку – врахувати можливість сумісного проходження вантажних кореспонденцій по шляхах сполучення з метою зниження загальносистемних витрат. Така модель об'єднує обмеження, які стосуються оптимізації вантажопотоків окремих кореспонденцій вантажів, що розв'язувались методом пошуку найкоротших ланцюгів між двома заданими вершинами графа заданої мережі. Такий підхід не має цілковитої адекватності розв'язків, тому що наявність декількох кореспонденцій в одному транспортному пункті передбачає, формально, декілька транспортних циклів. Однак відомо, що у графах, що містять петлі, або інші замкнені контури, неможливо наявними математичними засобами побудувати однозначний найкоротший шлях між будь-якими двома вершинами [5]. Тому в згаданій роботі [4] цю складність обминули, застосовуючи, знову ж таки, декомпозицію та агрегування загальної задачі. Відомо, що при такій декомпозиції гарантований оптимум не забезпечується, натомість його замінюють нижньою оцінкою.

У кожній з дотепер відомих задач оптимізації потоків на мережах об'єктами впорядкування є одиничні (нециклічні) потоки, які потрібно

опрацювати впродовж обмеженого і, як правило, відомого фіксованого періоду. Відомі лише деякі роботи, в яких були спроби розглянути задачу про потоки на мережах в динаміці, тобто при зміні тривалості періоду, коли є інформація про них [16]. Проте, ці роботи стосуються перспективного планування розвитку транспортних мереж і для оперативного планування не можуть бути застосовані.

Метою цієї роботи є розроблення такої методики і відповідний алгоритм пошуку гарантованого оптимального розв'язання задачі, яка стосується оптимального розподілу фіксованих вантажопотоків між обмеженою кількістю транспортних засобів при наявності циклів.

Типова виробнича задача, яка виникає у середніх за розміром вантажних автомобільних перевізників є така. На деякий період  $\tau$  для парку автомобілів, кількістю  $R$  кожен з яких має вантажомісткість  $q_n$ , є відомі параметри вантажопотоку, які можна подати як потенційні вантажопотоки  $Q_{i,j}$ , де  $i, j$  – номери пунктів, відповідно, посадки і висадки вантажів. Кожен вантажопотік може бути реалізованим по частинах (гуртах)  $q_{i,j,z}$ , де  $z$  – номер маршруту. Кореспонденції вантажів можна відправляти в довільному порядку впродовж періоду  $\tau$ . Розмір кореспонденції не перевищує вантажності будь-якого із заданих автомобілів, тобто  $0 < q_{i,j,z} < q_n$ . В зв'язку з цим є можливість суміщення перевезень шляхом об'єднання кореспонденцій від різних маршрутів в одному транспортному засобі (збірні маршрути):

$$Q_{x,j} = q_{i,x} + q_{x,j} + q_{i,j}, \quad (2.1)$$

де  $i, x, j$  – номери транспортних пунктів, між якими є виконується пробіг з вантажем  $l_{i,x} \neq 0$ ,  $l_{x,j} \neq 0$ .

Виконавши перевезення групи вантажів  $q_{i,j,z}$ , деякий автомобіль з наявного парку може відправитись в наступний пункт  $x$  для посадки чергової групи вантажів і доставки їх в пункт  $y$ . При цьому він може зробити марний пробіг тривалістю  $t_{i,x}$ . Якщо завантаження автомобіля може відбутися в пункті

$j$ , то, відповідно, марного пробігу не буде. Якщо не всіх бажаних вантажів вивезено з пункту  $i$ , то автомобіль може повернутись туди, зробивши повторний транспортний цикл. Таким чином, усі вантажівки з парку  $R$  виконують комбіновані маршрути, які складаються з пробігів з вантажем, марних пробігів, маятникових та кільцевих маршрутів. Усі вантажівки повинні виконати спільне завдання за директивний період  $\tau$ , за мінімальну загальну тривалість  $T$ . Через різноманітність маршрутів буде спостерігатись нерівність:

$$t > \frac{T}{R}. \quad (2.2)$$

Параметр  $\tau$  назвемо тактом виконання сукупного обсягу відомих вантажопотоків. Очевидно, що чим більше його числове значення, тим більший обсяг перевезень є заданий (при стаціонарності джерел вантажопотоків). З іншого боку, великі обсяги перевезень вимагають значних перевізних спроможностей парку, тобто зростання  $R$ . Оптимальним планом перевезення вважатимемо такий, за якого досягається мінімальна тривалість  $T$  усіх поїздок транспортних засобів, а нерівність (2.2) прямує до рівності, що, фактично, означає рівномірне завантаження парку автомобілів.

Задачу з таким фізичним змістом подано у вигляді графа, а розв'язання – як операції над ним [4].

Розглядається граф транспортної мережі  $A(G,U,V)$ , де  $G_i$  – множина вершин – транспортних вузлів,  $i = \overline{0K_n}$ ,  $U,V$  – множина дуг і ребер – шляхів сполучення. Дуги графа  $A$  – зважені. Кожній дузі надано вагу  $t_{i,j}$  – тривалість виконання пробігу вздовж заданого шляху сполучення. Якщо між будь-якими двома вершинами  $i, j$  не існує безпосереднього зв'язку, то  $t_{i,j} = +\infty$ .

Дугам, також, поставлена у відповідність матриця потенційних вантажопотоків  $(Q_{i,j})$ . Якщо, при  $Q_{i,j} > 0$  і  $t_{i,j} = +\infty$ , але  $t_{i,x} = +\infty$  і  $t_{x,j} = +\infty$ , то потік

$Q_{i,j}$  розкладається на два елементарні:  $Q_{i,j} = Q_{i,x} = Q_{x,j}$ . Отже, фактично кожен ненульовий елемент матриці  $(Q_{i,j})$  відповідає парі суміжних вершин графа  $A$ .

Кожен вантажопотік  $Q_{i,j}$  – сумарна величина, яка складається з елементарних кореспонденцій:

$$Q_{i,j} = \sum_{m=1}^Z q_{i,j,m}, \quad (2.3)$$

де  $q_{i,j,m}$  – складова ваги дуги  $V$  графа  $A$ ;

$$Z = \frac{Q_{i,j}}{q_n}, \quad q_n \text{ – величина, яка обмежує елементарний вантажопотік,}$$

квадратні дужки означають ділення із заокругленням до більшого цілого.

Серед вершин графа  $A$  є множина  $G_j$  таких, з яких виходять вантажопотоки, тобто джерела:  $Q_{i,j} > 0, g_i \in G_j$ , а також множина  $G_y$  – вершин поглинання, для яких  $Q_{i,j} > 0, g_j \in G_y$ . Приклад такого графа – на рис. 2.2

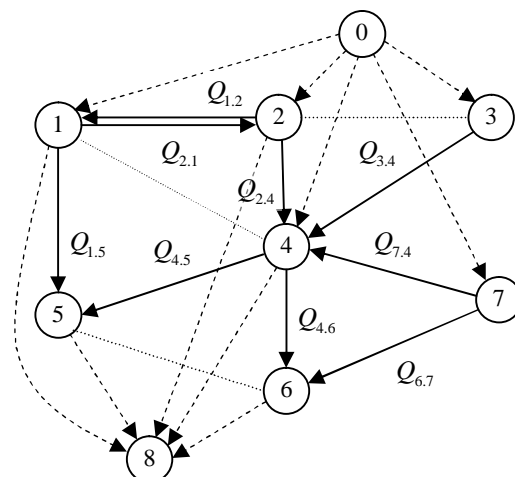


Рисунок 2.2 – Початковий граф транспортної мережі: 0, 8 – фіктивні вершини

- – потенційний вантажопотік;
- ..... – шлях сполучення без вантажопотоку;
- > – зв'язки з вершинами-джерелами і поглиначами

Однією з особливостей даної моделі, на відміну від відомих моделей транспортних потоків, є те, що вершини-джерела можуть бути, одночасно,



вершинами-поглиначами:  $G_j \in G_y^{-1} \{A\}$ . На рис. 2.2 такими вершинами є 1, 2, 4. Однак, граф  $A$ , при цьому, не має петель, тобто ваги  $t_{i,i} = 0$  і  $q_{i,i} = 0$ .

Граф  $A$  має таку вершину  $g_0$ , яку назвемо початковою, яка з'єднана дугами з вершинами множини  $G_j$ , тобто, для неї виконуються умови:  $q_{0,i} > 0$ , для будь-якої  $g_i \in G_j$  і  $g_{j,0} = 0$  для будь-якого  $j$ . Кінцева вершина графа –  $g_n$ , для якої  $q_{j,n} > 0$ , для будь-якої  $g_j \in G_y$ . Між початковою  $g_0$  і кінцевою  $g_n$  вершинами графа  $A$  існує злічена кількість  $m$  ланцюгів. Кожен з  $u_1 \in u_m$  ланцюгів складається, щонайменше, з однієї дуги  $(0,i)$ , однієї дуги  $(j,n)$ , та однієї дуги  $(k,p)$ ,  $i, j, k, p = \overline{1, n-1}$ .

Задано деяке ціле, невід'ємне число  $R > 0$ . Потрібно знайти  $R$  ланцюгів, які пролягають від  $g_0$  до  $g_n$  таких, що:

$$\text{сума ваг усіх дуг, які входять в усі ці ланцюги: } \sum_{r=1}^R q_{i,j,r} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} q_{i,j};$$

будь-яка дуга, що входить в  $r$ -й ланцюг, має вагу  $q_{i,j,r} \leq q_n$ .

Кожен  $r$ -й ланцюг,  $r = 1, 2, \dots, m$  характеризується тактом:

$$t_r = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} t_{i,j}, \quad (2.4)$$

де  $i, j$  – такі, що  $g_j, g_i \in n_r$ .

Ланцюг, для  $t = \max_R \{t_r\}$  становить критичний шлях у графі  $A$ .

Розподіл парку транспортних засобів по маршрутах, які ще не сформовані, але є задані їх складники, на транспортній мережі, має зміст такої задачі впорядкування. Використано змінні  $x_{i,j}$  – кількість поїздок, які автомобіль з вантажомісткістю  $q_n$  повинен зробити від  $i$ -го до  $j$ -го пункту,  $x_{i,j} = \{0, 1, 2, \dots, K\}$ , виконуючи перевезення  $q_{i,j}$ . При цьому обидва пункти можуть бути транзитними, якщо брати до уваги задані вантажопотоки. Формується

лінійна модель. Критерій – мінімальна загальна тривалість пробігів автомобілів:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} t_{i,j} \times x_{i,j} \rightarrow \min. \quad (2.5)$$

Обмеження на змінні:

$$\sum_{j=1}^{n-1} x_{i,j} - \sum_{i=1}^{n-1} x_{i,j} = 0, \quad (2.6)$$

яке означає, що кількість потоків, які входять у будь-яку вершину, крім кінцевої, дорівнює кількості потоків, які виходять з цієї вершини;

$$\sum_{j=1}^n x_{0,j} = R, \quad (2.7)$$

означає, що кількість потоків, які виходять з нульової вершини, дорівнює кількості транспортних засобів, які задані цілим числом  $R$ ;

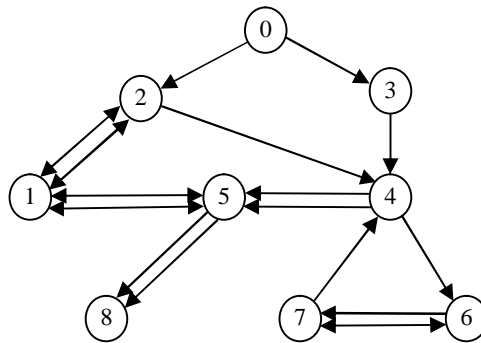
$$\sum_{i=0}^{n-1} x_{i,n-1} = -R, \quad (2.8)$$

означає кількість потоків, які входять в кінцеву вершину, дорівнює числу  $R$ , взятому з мінусом;

$$x_{i,j} \geq \frac{Q_{i,j}}{q_n}, \quad (2.9)$$

обмеження на мінімальну кількість поїздок від  $i$ -го до  $j$ -го споживача, яка забезпечить виконання відомого транспортного завдання (обсягу перевезень).

Це – перший етап задачі, оскільки визначення кількості поїздок  $x_{i,j}$  ще не означає їх часову впорядкованість. Розв’язання цього етапу не становить складностей, оскільки за загальними ознаками вона підходить під формулювання задач лінійного програмування. Приклад впорядкування графа  $A$ , що на рис. 1, при  $R=2$  вантажівки подано на рис. 2.3.



*Рисунок 2.3 – Граф оптимальних за тривалістю пробігів на заданій транспортній мережі двох автомобілів*

Граф оптимальних пробігів, що отримано в результаті розв’язання задачі ЛП, містить цикли. Від 0-вершини до кінцевої 8-ї у цього графа є два ланцюги. Проте записати їх однозначно неможливо через наявність циклів. Цикли відображаються ребрами (обопільні стрілки на рис. 2.3) – маятниковими маршрутами, або ж складаються із замкнених контурів. Для впорядкування графа і пошуку критичного шляху у ньому в теорії використовують перетворення, що приводять до ліквідації циклів [5]. Для цього ребра замінюють дугами, або видаляють їх. В даному випадку цього робити з графом не можна, тому що кожне ребро і дуга має зміст фактично запланованих пробігів з вантажем, чи без вантажів. Тому запропоновано методика, яке передбачає два додаткові перетворення: 1) перехід від кратних дуг (ребер) до кратних вершин похідного графа; 2) синтез графа подій з графа станів.

Граф, що містить цикли, можна виявити за матрицею змінних  $M = (x_{ij})$ . Так, якщо для будь-якої  $i$ -ї вершини визначити число  $r$ , і воно є  $r = \bigcirc_{j=1}^n x_{i,j} > 1$ , то це є ознакою, що в графі є  $r$  циклів, пов'язаних з вершиною  $i$ . Такий граф можна перетворити в граф  $B$ , який не міститиме циклів, якщо ввести  $r - 1$  додаткових вершин, а ребра замінити на відповідну кількість дуг так, що між будь-якими двома вершинами графа не було кратних дуг. При цьому залишається невизначеність стосовно зв'язків нових вершин. Так, якщо в графі  $A$  була вершина  $g_i$ , замість якої в граф  $B$  було введено вершини  $g_{i,1}, g_{i,2}, \dots, g_{i,r}$ , то зміст невизначеності полягає в тому, що невідомо, як перетворити ребра графа  $A$  на дуги графа  $B$ . Очевидно, що найкраще це зробити так, щоб різниця в довжині ланцюгів, які утворюються в графі від початкової вершини до кінцевої була мінімальною, тобто:

$$t_{\max} - t_{\min} \textcircled{R} \min. \quad (2.10)$$

Для того, щоб такий перерозподіл виконати, замінимо граф  $A$  на граф подій  $C$ . Вершинами графа  $C$  є відображення:

$$s_i = F(u_{i,j}), \quad (2.11)$$

де  $u_{i,j}$  – дуга графа  $A$ .

При цьому початкова і кінцева вершини графа  $A$  замкнені дугою  $g_{n,1}$ . Перелік усіх можливих дуг взято з матриці  $M$ . Для них, а отже і для вершин графа  $C$  можна знайти часткові відношення впорядкування. Так, якщо  $s_i = F(u_{i,j})$ , а  $s_j = F(u_{j,x})$ , то очевидно, що в графі  $C$  будуть відношення порядку  $s_i \textcircled{R} s_j$ . Для остаточного впорядкування було сформульовано таку задачу.

Використаємо змінні величини  $y_i \in \{1, 2, \dots, Z\}$  – цілі додатні числа,  $Z$  – кількість дуг графа  $B$ . Потрібно знайти такі їх значення, які б задовольняли умову:

$$\max_R \sum_{i=0}^Z a_i t_i \times y_i \ominus \min, \quad (2.12)$$

де  $R$  – кількість контурів (ланцюгів від  $s_0$  до  $s_n$ ), які можуть бути в графі  $C$ ;  $t_i = t_{i,j}$  з матриці  $A$ , при обмеженнях: для будь-яких  $i \neq j$ ,  $y_i \leq y_j$ ;  $y_j - 1 = y_i$ , якщо існує відношення порядку між операціями  $s_i \ominus s_j$ .

Розв'язавши поставлену задачу, впорядковуємо граф  $C$ , а від нього – граф  $B$ , отримавши граф оптимальних за тривалістю маршрутів для  $R$  автомобілів (рис. 2.4). Такий граф гарантовано відображає оптимальний розклад поїздок автомобілів при умові виконання усього запланованого обсягу вантажопотоків. Функціями його є сумарна тривалість усіх пробігів (з вантажем і без) автомобілів, що задіяні до процесу, а також такт, як критичний шлях даного графа. Для прикладу, показано на рис. 2.3 легко знаходяться два ланцюги від початкової до кінцевої вершини. Тривалість цих ланцюгів, становить, відповідно 41 та 47 год.

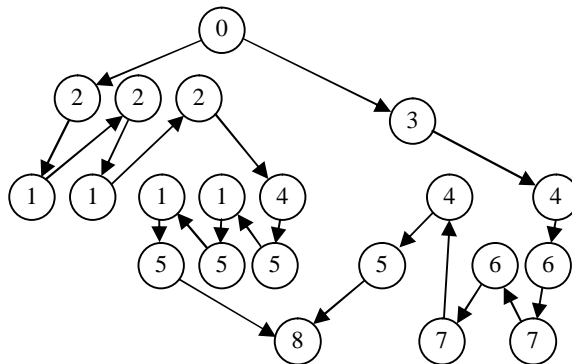


Рисунок 2.4 – Граф оптимальних за тривалістю маршрутів двох автомобілів

Таким чином, мискомбінували два нових комплексні маршрути:

1) Львів–Івано-Франківськ–Трускавець–Івано-Франківськ—Трускавець—Івано-Франківськ–Кам’янець–Подільський–Виноградів–Івано-Франківськ — Виноградів– Івано-Франківськ–Виноградів–Львів.

2. Львів–Луцьк– Кам’янець–Подільський–Борислав–Ужгород–Борислав–Трускавець–Львів.

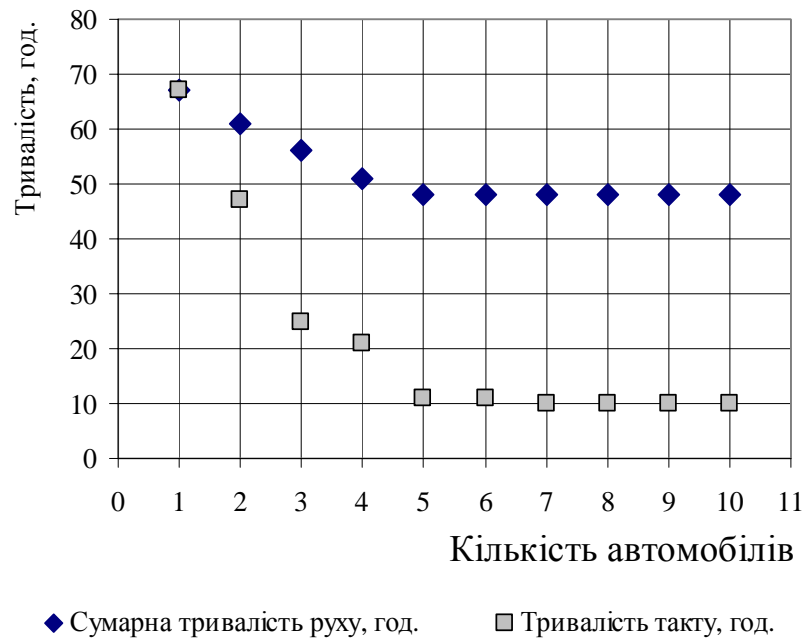


Рисунок 2.5 – Залежність тривалості пробігів та такту від кількості задіяних до перевезення автомобілів

Сумарний час усіх поїздок – 88 год. Очевидно, що розв’язана таким чином задача не дає рівності тривалості роботи усіх транспортних засобів. Але її наближення за виразом (2.12) є досягнуто. Залежність цих тривалостей від кількості задіяних транспортних засобів показано на рис. 2.5.

З рис. 2.5 видно, що найменш ефективно за часом використовується транспортна схема, при якій усі вантажопотоки обслуговуються одним автомобілем. При залученні додаткових автомобілів сумарна тривалість їх руху скорочується до певної межі (на рис. 2.5 – до п’яти автомобілів). Залучення додаткових автомобілів понад цю межу, очевидно, не дає сподіваного результату.

Ефективність використання автомобілів можна порівняти за коефіцієнтом використання фонду відведеного для них часу:

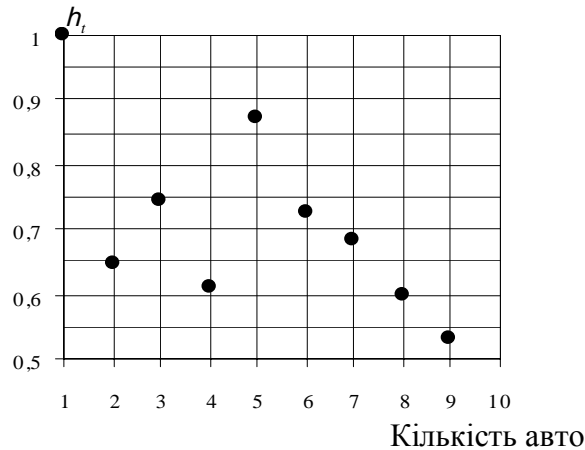
$$h_i = \frac{T}{R \tau_{\max}}, \quad (2.13)$$

де  $T$  – сумарна тривалість поїздок, год.;

$\tau_{\max}$  – максимальний такт роботи транспортної схеми.

Залежність цього показника від кількості автомобілів  $R$  подана на рис.

2.6.



*Рис. 2.6. Залежність коефіцієнта використання фонду часу від кількості автомобілів*

Отримана залежність показує, що найбільш ефективною транспортною схемою за використанням часу є схема з одним автомобілем. За нею слідує схеми при  $R$ , яка є компромісною за обома критеріями і може бути рекомендована при наявності інформації про вантажопотоки, щонайменше, на 10 год. на майбутнє. Залучення більшої кількості автомобілів призводить до їхнього простоювання в очікуванні черги, або ж в дублюванні маршрутів. При цьому період прогнозування вантажопотоків суттєво не зміниться. Меншою кількістю автомобілів не можна швидко виконати завдання, або ж його неможливо рівномірно розподілити між автомобілями, внаслідок чого деякі з них будуть надмірно довго простоювати.

Запропонована методика дає змогу розв'язувати ТЗ з циклами, отримуючи при цьому гарантований оптимум методами ЛП. Такі задачі є

ближчі за змістом до виробничих, оскільки на даний час більшість вантажопотоків є наперед задані, фіксовані.

Розв'язання сформульованої задачі дає чіткий розклад виконання пробігів, розкриває комбінацію маршрутів, у тому числі – з використанням змінного методу роботи водіїв. Крім того, є можливість вибрати найбільш раціональну транспортну схему, при якій за заданого періоду прогнозування транспортні засоби використовуються найбільш ефективно.

### **2.3 Побудова початкової моделі пошуку активного оптимального розкладу роботи водіїв**

Типова виробнича задача, яка виникає і оперативно вирішується диспетчерськими службами автомобільних перевізників має, як правило, такий зміст. Дано  $n$  вантажопотоків  $J = \{J_1, \dots, J_x, \dots, J_n\}$ , які потрібно обслужити на  $k$  однакових автомобілях  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_k\}$ . Обслуговування кожного вантажопотоку  $J_x \in J$  включає  $n_x \geq 1$  поїздок з вантажем, тривалість кожної з яких  $t_{J_x}$  є відомою і, з певним наближенням, сталою. Оскільки фактична вантажомісткість кожного автомобіля є однаковою і відомою, а також відомим є обсяг перевезень по кожному замовленню, то і кількість поїздок з вантажем для кожного потоку з множини  $J$  є величиною сталою. Разом з цим неможливо уникнути виконання ще  $p_x \geq 0$  поїздок без вантажів для кожного потоку  $J_x \in J$ . Тривалість поїздок без вантажів, їх кількість залежить як від кількості задіяних автомобілів, так і від конфігурації запланованих маршрутів. У попередніх дослідженнях нами досягнуто задовільного результату пошуку оптимальних маршрутів для декількох транспортних засобів, які водночас виконують множину транспортних завдань на єдиній транспортній мережі [25]. Будь-який автомобіль з множини  $M$  можна використати для будь-якого вантажопотоку з однаковою ефективністю. Також перевізник може задіяти таку кількість автомобілів, яка дасть змогу отримати найкращий результат перевезень. Оскільки вантажопотік може складатись з



декількох поїздок з вантажем і марних поїздок, то тривалістю виконання кожного вантажопотоку  $J_x$  вважатимемо час від початку виконання усього проекту до моменту завершення останньої поїздки і повернення автомобілів в АТП:

$$T_{J_i} = \max_{n_x} \{t_{n_x}^e\}, \quad (2.14)$$

де  $t_{n_x}^e$  – момент завершення виконання  $n$  поїздки по маршруту  $J_x$ .

Відповідно, бажана тривалість виконання усього проекту (усіх  $J$  вантажопотоків) визначається його мінімальною тривалістю:

$$T_J = \max_x \{T_{J_x}\} \textcircled{R} \min. \quad (2.15)$$

Слід зазначити, що тривалість виконання усього проекту передбачає не тільки поїздки з вантажем і марні поїздки, але й вимушені простої пасажирського транспорту, які пов'язані з операціями посадки і висадки, а також із щозмінним і міжзмінним відпочинком водіїв, які обумовлені правилами 561/2010 [9]. Для того, щоб скоротити непродуктивні простої автомобілів під час відпочинку водіїв, перевізники застосовують метод змінної роботи. Згідно з цим методом, водій, який за розкладом має розпочати щозмінний/міжзмінний відпочинок, замість паркування автомобіля передає його іншому водієві, який готовий розпочати нову зміну. Якщо зміна водія є недопрацьована, то це не береться до уваги, оскільки водії можуть бути залучені до процесу перевезень, як тільки відпочинуть належний час. Відпочинок і передача транспортного засобу водія своєму напарнику може відбуватись тільки в місті, де є парк, або депо перевізника.

Таким чином, основна задача диспетчерського керування парком автомобілів  $M$  і бригадою водіїв полягає у тому, щоб для кожного транспортного засобу з множини  $M$ , який залучено до виконання вантажопотоків, скласти розклад його виконання за критерієм (2.12). Це

означає, що потрібно обґрунтувати необхідну кількість автомобілів, які одночасно працюють на маршрутах і вказати моменти початку  $t_{nx}^b$ , або завершення  $t_{nx}^e$  кожної їздки, передбаченої попередньо складеними маршрутами. Тривалість безперервного керування і тривалість зміни кожного водія не повинні перевищувати нормативи. Для відображення процесу виконання сукупності вантажопотоків на транспортній мережі застосовано методологію впорядкування змішаних графів [26]. Розглядається граф транспортної мережі  $H(G, V)$ , де  $G$  – множина вершин  $G = \{D, g_1, \dots, g_s\}$ , (транспортних пунктів),  $V$  – множина ребер – шляхів сполучення (передбачається, що всі шляхи мережі є двосторонніми (рис. 2.7)). Вершина  $D$  символізує депо перевізника, звідки починаються і завершуються усі маршрути. Кожному ребру графа присвоєно вагові коефіцієнти  $a_{i,j} = a_{j,i}$  – тривалість виконання пробігу вздовж заданого шляху сполучення в прямому та зворотному напрямку та  $q_{i,j}$  – вантажопотік між вершинами  $g_i$  та  $g_j$ . Якщо між будь-якими двома вершинами  $i, j$  немає безпосереднього зв'язку, то  $a_{i,j} = +\infty$ , і при цьому, плановий вантажопотік  $q_{i,j}$  також не існує.

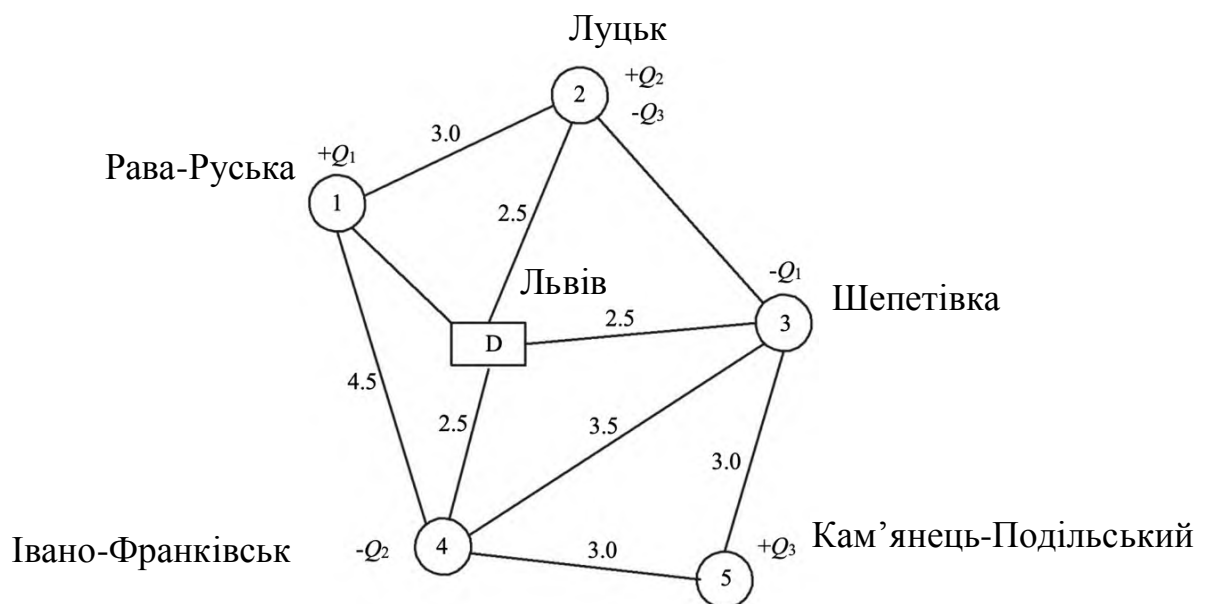


Рисунок 2.7 – Схема фрагменту транспортної мережі:  $+Q_1, \dots, +Q_3$  – кількість вантажів, які завантажують в заданих пунктах;  $-Q_1, \dots, -Q_3$  – кількість вантажів, які розвантажують в заданих пунктах

На графі  $H$  відображено також потенційні вантажопотоки  $(+Q_{i,j}; -Q_{i,j})$ . Якщо при  $Q_{i,j} > 0$  і  $a_{i,j} = +\infty$ , але  $a_{j,\xi} \neq +\infty$  і  $a_{\xi,i} \neq +\infty$ , то потік  $Q_{i,j}$  розкладається на два елементарні:  $Q_{i,j} = Q_{i,\xi} + Q_{\xi,j}$ . Отже, фактично кожен ненульовий елемент матриці  $(Q_{i,j})$  відповідає парі суміжних вершин графа  $H$ . Кожен вантажопотік  $Q_{i,j}$  – сумарна величина, що складається з елементарних кореспонденцій:

$$Q_{i,j} = \sum_{m=1}^Z \mathring{a}_{i,j,m} q_{i,j,m}, \quad (2.16)$$

де  $q_{i,j,m}$  – кратна складова ваги дуги  $V$  графа  $H$ ,  $Z = [Q_{i,j}/q_n]$ ,  $q_n$  – величина, обмежує елементарний вантажопотік, квадратні дужки означають розподіл із заокругленням до більшого цілого.

Якщо застосувати до графа  $H$  методику побудови найкоротших маршрутів [25], то можна отримати граф  $A(G,U)$ , який відображає усі необхідні пробіги (з вантажем і без), які потрібно здійснити для того, щоб завершити проект (рис. 2.8). Наперед задано, що маршрути виконують три вантажівки. У графі  $A$  – ті ж вершини  $G$ , що й у графі  $H$ ,  $U$  – множина дуг, які відображають обов'язкові їздки для виконання проекту.

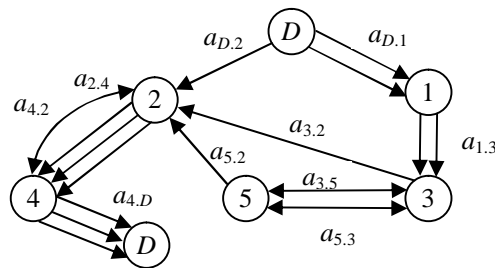


Рисунок 2.8 – Граф оптимальних за тривалістю пробігів на заданій транспортній мережі трьох автомобілів

Загальна тривалість усіх поїздок згідно з графом  $A$  є сталою і не залежить від кількості задіяних автомобілів [26]. Так, оптимізуючи маршрутну схему відносно початкового графа  $H$ , було отримано, що тривалість усіх поїздок становить 70 годин, незалежно від кількості задіяних автомобілів. Однак, як

видно з рис. 2.8, граф  $A$  містить цикли. Наявність циклів в початковому графі  $A$  означає, що за ним неможливо побудувати однозначного розкладу виконання операцій [27]. А це означає, що тривалість виконання проекту з врахуванням тривалості простоїв автомобілів має достатньо широкий числовий діапазон. Так, із отриманого графа  $A$  можна мати три варіанти оптимальних маршрутів за наявності трьох автомобілів.

Варіант 1:

$D - 1 - 3 - 2 - 4 - D$

$D - 1 - 3 - 5 - 2 - 4 - D$

$D - 2 - 4 - 2 - 4 - D.$

Варіант 2:

$D - 1 - 3 - 5 - 3 - 5 - 2 - 4 - D$

$D - 1 - 3 - 2 - 4 - D$

$D - 2 - 4 - 2 - 4 - D.$

Варіант 3:

$D - 1 - 3 - 5 - 3 - 2 - 4 - 2 - 4 - D$

$D - 1 - 3 - 5 - 2 - 4 - D$

$D - 2 - 4 - D.$

Для того, щоб позбутись такої невизначеності, а також знайти оптимальний активний розклад водійських бригад, було застосовано такі перетворення графа  $A$  у граф  $B(G_1, U, V_1)$ . По-перше, кожна вершина вершини  $g_j$  графа  $A$ , до якої підходить кратна дуга від вершини  $g_i$ , була замінена на кратні вершини, яких вводилось відповідно до кількості дуг. Так, від вершини графа  $A$   $g_2$  (див. рис. 2.8) до вершини  $g_4$  підходять 4 кратні дуги, кожна вагою  $a_{2,4}$ . Вершину  $g_4$  було замінено у графі  $B$  вершинами  $g_{2,1}, g_{2,2}, g_{2,3}, g_{2,4}$ . Кратні вершини сполучені між собою попарно ребрами. Це зроблено для того, щоб:

- забезпечити можливість застосування декількох автомобілів для поїздок між однойменними транспортними пунктами;
- визначити послідовність поїздок між однойменними транспортними пунктами.

Також граф  $B$  містить дві фіктивні вершини –  $S$  і  $F$ , символізують формальний початок і кінець

проекту. Виходячи з умов виробничої задачі, фіктивні вершини з'днані дугами з вершинами  $D$ . Приклад отриманого графа  $B$  показано на рис. 2.9.

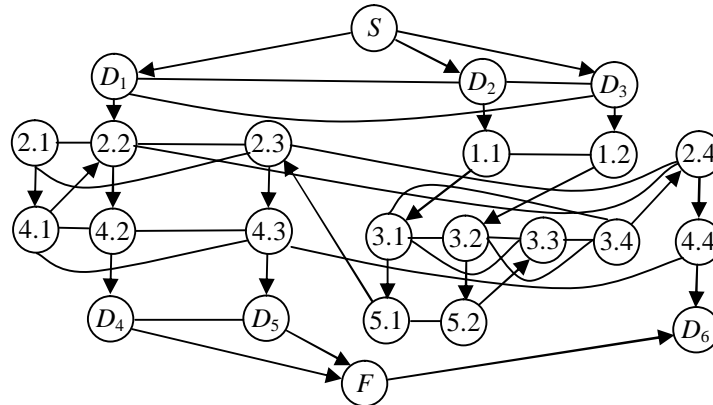


Рисунок 2.9 – Початковий невпорядкований змішаний граф

Дуги і ребра графа  $B$  мають ваги  $a_{i,j} > 0$ , крім тих дуг, які сполучають кратні вершини. Кратні вершини сполучені ребрами ваги  $a_{i,j} = 0$ . Для кожної дуги графа  $B$  повинна виконуватись вимога:

$$-a_{j,i} \leq t_j^b - t_i^b \leq a_{i,j}, \quad (2.17)$$

де  $t_i^b, t_j^b$  – моменти відправки автомобілів, відповідно, від  $i$ -го, та від  $j$ -го транспортного пункту.

Дуга з від'ємною вагою,  $-a_{i,j}$  відображає часове обмеження для виконання вантажопотоку (рис.2.10).

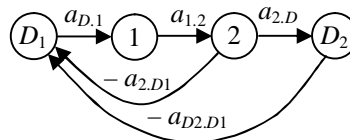


Рисунок 2.10 – Графічне моделювання обмежень на тривалість операцій

Так, якщо  $t_D^b = 0$ ,  $a_{D1,1} = 2.5$  год.,  $a_{1,2} = 3.0$  год.,  $a_{2,D1} = 2.5$  год.,  $a_{2,D1} = 4.5$  год. (дозволений максимальний час водія для безперервного керування

транспортним засобом),  $a_{D_2, D_1} = 9$  год. (дозволена максимальна тривалість зміни водія), то обмеження (2.17) для шляху  $D_1-1-2$  не виконується за тривалістю безперервного керування, а для шляху  $D_1-1-2-D_2$  виконується за максимальною тривалістю зміни. Якщо умова (2.17) не виконується для будь-якого ребра, або дуги, то таке ребро і дугу називають конфліктними і вживають заходи для розв'язання конфлікту. Так, у даному прикладі потрібно використати між пунктами  $g_1$  і  $g_2$  деякий проміжний пункт для короткочасного відпочинку водія, або застосувати заміну водія. Усі ж інші неіснуючі, або несуттєві зв'язки відображені дугами з вагою  $-\infty$ .

У моделі диз'юнктивного (змішаного) графа  $B$  задана, також, множина ребер  $V$ , кожному  $[i, j]$  з яких поставлена у відповідність пара ваг  $a_{i, j}$ ,  $a_{j, i}$ . Якщо між вершинами  $g_i$ ,  $g_j \in V$  ребро, то це означає їх часову незалежність і відповідні операції виконуватимуться одночасно, або з частковим перекриттям у часі.

До процесу перевезення може бути задіяно  $m$  транспортних засобів. Вони повинні працювати синхронно, виконуючи по декілька вантажопотоків послідовно. Це означає, що у графі  $B$  потрібно знайти  $m$  ланцюгів, які починаються у вершині  $S$ , проходять через деякі вершини, які стосуються наявних вантажопотоків і закінчуються у вершині  $F$ . У даному варіанті задачі шукаємо мінімальний марний пробіг з найменшими часовими затримками процесу. Тому шукані ланцюги мають проходити по найкоротших маршрутах, які були спроектовані раніше. Якщо ланцюг доходить до деякої вершини  $u$ , а далі нема жодного шляху у графі  $B$  з невід'ємною, або ненульовою вагою, то ланцюг при цьому прямує до вершини  $F$ . Транспортний цикл для цього автомобіля вважатимемо завершеним, незважаючи на те, що резерв часу на виконання інших, ще не виконаних вантажопотоків є.

Також граф  $B$  доповнено дугами з від'ємними вагами, які мають такий зміст:

від кожного пункту усіх маршрутів до депо  $-a_{j, D}$ , що означає перевірку обмеження максимального часу безперервного керування, а також максимальну тривалість зміни водіїв;

від фіктивної вершини  $F$  до фіктивної вершини  $S$ , що означає обмеження тривалості виконання усього проекту.

Так, з отриманого графа  $A$  можна мати три варіанти оптимальних маршрутів при наявності трьох автомобілів.

Варіант 1:

$D - 1 - 3 - 2 - 4 - D$

$D - 1 - 3 - 5 - 2 - 4 - D$

$D - 2 - 4 - 2 - 4 - D.$

Варіант 2:

$D - 1 - 3 - 5 - 3 - 5 - 2 - 4 - D$

$D - 1 - 3 - 2 - 4 - D$

$D - 2 - 4 - 2 - 4 - D.$

Варіант 3:

$D - 1 - 3 - 5 - 3 - 2 - 4 - 2 - 4 - D$

$D - 1 - 3 - 5 - 2 - 4 - D$

$D - 2 - 4 - D.$

Аналіз цих варіантів показує, що вони не відрізняються за сумарною тривалістю пробігів автомобілів по усіх трьох варіантах. Для наведеного прикладу сумарна тривалість руху трьох автомобілів  $T=70$  год. Однак, різна структура і різна довжина маршрутів приводить до того, що до тривалості руху слід буде додати різну для варіантів тривалість простоїв, пов'язаних з розкладом роботи водіїв. Тому наступна стадія алгоритму пов'язана з вибором варіантів і планування найкращого розкладу.

Режими роботи і відпочинку водіїв можна подати як частково впорядковану множину компонент процесу, які мають змінні властивості (тривалість), залежно від структури транспортного процесу (рис.2.11). Компоненти є чотирьох типів: керування – водій і транспортний засіб працюють (приклад – вектор  $b_1$ ), має обмежену максимальну тривалість – 4,5 год.; другий – відпочинок водія, вантажівка простоює (приклад – вектор  $b_2$ ), має обмежену мінімальну тривалість, що залежить від відміни; третій –

обслуговування автомобіля – водій працює, транспортний засіб зупинено (наприклад, під час навантаження-розвантаження); четвертий – очікування, вантажівка простоє, водій перебуває в кабіні, але не відпочиває (приклад –  $b_{11}$ ).

Виходячи з правил 561/2006, можна виділити 4 основні відміни нормативів часу керування і відпочинку: а,б,в – одиночна поїздка; д – поїздка екіпажу з 2-х водіїв. Якщо обрано одну з відмін, то зберігаються відношення залежності компонент, з яких складається відміна режимів. Наприклад, відміна  $a$  складається з трьох компонент, між якими є відношення порядку:  $b_1 \rightarrow b_2 \rightarrow b_3$ . Такі відношення повинні суворо зберігатись, враховуючи те, що між різними відмінами немає перехресного зв'язку. Водій/екіпаж може змінити вибрану відміну лише тоді, коли попередня робота за дану зміну не перевищує нормативів тривалості.

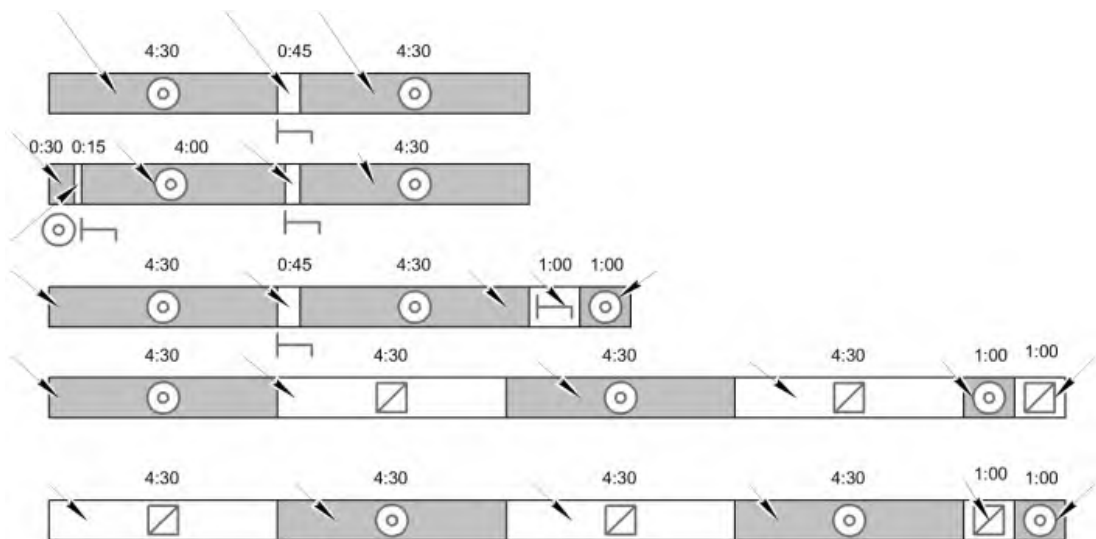


Рисунок 2.18 – Нормативні режими роботи водіїв згідно з 561/2006

Також водій може зменшити тривалість керування, або збільшити тривалість відпочинку, якщо це доцільно відносно структури процесу. Отже, нормативні режими водіїв можна відобразити у вигляді вектора ( $B$ ), між елементами якого встановлено відношення порядку. Кожна компонента з ( $B$ ) характеризується моментами часу, коли потрібно змінити режим водія



(керування, відпочинок, обслуговування, очікування), а також максимальною/мінімальною тривалістю даного компонента. Граничні максимальні тривалість кожної компоненти  $b_1-b_{19}$  вказана на рис. 2.11. Дійсна тривалість періоду керування транспортним засобом, відповідно тривалість руху і простою автомобіля залежить від реальних транспортних й організаційних умов. Так, якщо час руху  $t_{i,j} \geq \tau_x$ , де  $\tau_x$  – нормативна тривалість керування транспортним засобом згідно обраної  $x$ -компоненти, а у пункті  $g_j$  передбачена зупинка з технологічних причин (навантаження /розвантаження), то цілком логічно перетворити з нерівності у рівність  $t_{i,j} = \tau_x$  і, відповідно, скоротити тривалість режиму керування. Залежність тривалості компонент  $b_x$  від структури транспортного процесу можна пояснити так. Якщо обрано такий варіант структури процесу, що  $t_{i,j} < \tau_x$ , то він не може бути реалізованим і необхідно вибрати іншу відміну режимів, відповідно інший режим  $b_{x+1}$ , для якого відношення  $t_{i,j} \geq \tau_{x+1}$  виконується.

Відміни режимів роботи і відпочинку водіїв можна подати як множину ланцюгів. Так, враховуючи дані на рис.2.11, можна назвати такі ланцюги:

$$\begin{aligned}
 b_1 &\rightarrow b_2 \rightarrow b_3; \\
 b_4 &\rightarrow b_5 \rightarrow b_6 \rightarrow b_7 \rightarrow b_8; \\
 b_9 &\rightarrow b_{10} \rightarrow b_{11} \rightarrow b_{12} \rightarrow b_{13}; \\
 b_{14} &\rightarrow b_{15} \rightarrow b_{16} \rightarrow b_{17} \rightarrow b_{18} \rightarrow b_{18}.
 \end{aligned} \tag{2.18}$$

Окремі компоненти являють собою зупинки, необхідні для нормативного відпочинку водіїв. Кожна така зупинка знижує продуктивність транспортного засобу, крім випадків, коли:

зупинка суміщена з часом, коли відбувається зміна водіїв/екіпажів у пункті D;

зупинка суміщена з часом коли заплановано посадку/висадку вантажів, а один з екіпажу водіїв не бере участі у цій операції й відпочиває.

Таким чином, компоненти вектора ( $V$ ) необхідно узгодити з вектором ( $B$ ). Враховуючи властивості графів  $V$  і  $B$ , задача побудови однозначного розкладу роботи водіїв і автомобілів на маршрутах можна подати як встановлення

оптимальної залежності величин  $a_i$  від  $b_y$ , де  $y$  – компонент режиму водіїв. Змінними у цій задачі є бінарні величини  $k_{i,y}$ , які приймають значення 1, якщо компонент режиму  $b_y$  призначено на ділянку маршруту  $a_i$ , і дорівнює 0 – у протилежному випадку. Враховуючи те, що відношення порядку є частково визначені на векторах  $(V)$  і  $(B)$ , то на змінні  $k_{i,y}$  накладаються обмеження такі, що коли на ділянку маршруту  $a_i$  призначено компоненту режиму  $b_y$ , який відноситься до певної відміни, то на ділянку того ж маршруту  $a_{i+1}$  має бути призначена компонента з тієї ж відміни. Тривалість перебування автомобіля на даному маршруті визначається з виразу:

$$T_r = \sum_{i=1}^N \sum_{y=1}^M k_{i,y} \times_{i,y}, \quad (2.19)$$

де  $N, M$  – відповідно кількість ділянок даного маршруту і кількість компонент у вибраній відміні.

Для узгодження часових параметрів маршруту і режимів роботи водія було застосовано алгоритм щільного пакування контейнерів зі змінною довжиною одиниць, які пакують [14]. Зміст алгоритму полягає у тому, що контейнерами відображають ділянки маршруту, отримані на попередній стадії алгоритму. Вибравши відміну режимів роботи водіїв, розміщують її компоненти в контейнері так, щоб обсяг незапакованої ємності (простої автомобілів) були мінімальними. Якщо компонента не поміщається в контейнер за розміром, то її вкорочують.

## **2.4 Алгоритм побудови активного оптимального розкладу роботи автомобілів із застосуванням змішаних графів**

В задачі потрібно побудувати розклад виконання вантажопотоків  $J$  на перевезення, тобто для кожної поїздки  $n_{i,j}$ , між пунктами  $g_i, g_j \in G_1$  вказати момент її початку  $t_i^b$ , або момент закінчення  $t_j^e$ , а також номер вантажівки  $M_k$ , яка цю поїздку повинна виконати. Також потрібно вказати місце, тривалість і

причину зупинки транспортного засобу (навантаження, розвантаження, відпочинок водія). Оптимальним вважається розклад для якого виконується критерій (2.1).

Запропонований алгоритм базується на методі «гілок і меж» [27]. Для цього відомий алгоритм побудови оптимального розкладу адаптовано до умов поставленої нами задачі. Означимо деякі використані терміни. Шляхом в графі  $B(G_1, U, V_1)$  називається послідовність дуг:

$$U_k = \{(g_1, g_i), (g_i, g_j), \dots, (g_s, g_p)\}, \quad (2.20)$$

де всі вершини  $g \in G_1$  є різні, а початкова і кінцева вершини  $D_k$  означають депо для автопоїзда  $M_k$ .

Контур – це замкнутий шлях в графі  $B$ . Вагою шляху назвемо суму ваг дуг, що входять до нього. Вага шляху виражається чисельно в межах інтервалу  $(-\infty, +\infty)$ , тобто є дійсним числом. В зв'язку з цим використовується термін контур, або шлях додатної (або від'ємної) ваги. Шлях найбільшої додатної ваги в графі  $B$ , що з'єднує вершини  $g_i$  і  $g_j$ , позначимо  $J_{ij}$ . Якщо в графі  $B(G_1, U, V_1)$  не існує шляху з вершини  $g_i$  у вершину  $g_j$  через ліквідацію деяких ребер, то  $J_{ij} = -\infty$ . Для того, щоб шуканий розклад  $\{t_{Dk}^b, \dots, t_{ik}^b, \dots, t_{Dk}^b\}$  був однозначним (не було часового неузгодження), потрібно дотримуватися умови (4). Момент початку прибуття вантажівки до будь-якого  $i$ -го пункту, який включено у маршрут по виконанню  $J_x$  вантажопотоку шукається із співвідношення [19]:

$$t_i^b = \max_{J_x} \{0, J_{S,i}\}, \quad J_x \hat{=} J, \quad (2.21)$$

де  $J_{S,i}$  – шлях від фіктивної вершини  $S$  до вершини  $g_i$  у графі  $B$ .

Оскільки виконання усіх вантажопотоків відбувається одночасно, то момент завершення будь-якого  $J_x$  вантажопотоку знаходимо з виразу:

$$t_x^e = t_S^b + J_{S.D_x}, \quad (2.21)$$

де  $J_{S.D_x}$  – шлях у графі  $B$  від фіктивної вершини  $S$  до депо, при виконанні вантажопотоку  $J_x$ .

Розклад, для якого для всіх рейсів й усіх автомобілів виконується умова (2.20) називається активним, а величина  $t_x^e$ , що розрахована за (2.21), буде найбільш раннім завершенням рейсу  $J_x$ . Існує взаємно однозначна відповідність між множиною всіх активних розкладів, що побудовані з графа  $B$  і множиною  $P(B)$  всіх графів, які не містять контурів додатної ваги [6]. Отже, однозначним вважаємо розклад, що породжений графом  $B(G_1, U, V_1)$  і не містить контурів додатної ваги, а значить і ребер  $V_1$ . Застосовано послідовний аналіз варіантів з перебором усіх графів з множини  $P(B)$ , і пошуком серед них оптимального за критерієм (2.19). Для організації такого пошуку, з метою уникнути непродуктивного перебору неоптимальних варіантів, використано процедуру послідовного розбивання  $P(B)$  на підмножини. Множина  $P(B)$  розбивається спочатку на підмножини  $P(B_1), P(B_2), \dots, P(B_h)$ , де  $B_h$  – графи, що отримані з  $B$  в результаті заміни, чи ліквідації одного чи декількох ребер. Ребра замінюються на дуги у двох варіантах. Так ребро  $[i, j]$  можна замінити дугою  $(i, j)$ , або  $(j, i)$ . Далі підмножини  $P(B_h)$  ще розбиваємо на підмножини. В результаті скінченного числа таких дій отримуємо всі можливі варіанти перебору-розбивання. Цю процедуру можна показати у вигляді дерева  $(Z_y, W_y)$ , де  $Z_y$  – множина вершин, що означають початкові графи  $B(G_1, U_\varphi, V_\varphi)$ ,  $U_\varphi \in U$ ,  $V_\varphi \in V$ , а  $W_y$  – множина дуг – шляхів перебору. Коренем цього дерева є граф  $B(G_1, U, V_1)$ . На кожному кроці обчислюється нижня оцінка оптимальності:

$$f^0 = \inf \left( \min \{ F(t_1^b, t_2^b(G, U \emptyset, \mathbf{K}, t_p^b(G, U \emptyset)) \} \mid (G, U \emptyset) \in P(B) \right), \quad (2.22)$$

яка описана у співвідношенні (2.20). Вершину  $Z_F$  назвемо завершальною, якщо виконується нерівність:

$$f^0(B_1) \leq r_m, \quad (2.23)$$

де  $r_m$  – поточний рекорд нижньої оцінки:

$$r_m = \min \{ f^0(B) | B_1 \hat{=} Z_y \}. \quad (2.24)$$

Якщо нерівність (2.24) виконується, то вершину  $Z_y$  надалі не розглядаємо, а шлях, в який входить вершина  $Z_y$  в графі  $(Z_y, W_y)$ , вважаємо хибним. Процедура завершується, коли всі вершини, крім шуканої, відкинуті.

Зміст операцій з графом  $B$  полягає в наступному. Якщо дві вершини  $g_i, g_j$  графа  $B$  належать різним маршрутам і призначені для одночасного виконання різними вантажівками, то ніякий часовий зв'язок між ними не повинен бути, а ребро невпорядкованої моделі  $[i,j] \hat{=} V_1$  усувається. Якщо ж ці ж вершини виконуватимуться послідовно, то ребро  $[i,j] \hat{=} V_1$  замінюється дугою  $(i,j)$  ваги  $a_{i,j}$ , або дугою  $(j,i)$  ваги  $a_{j,i}$ .

Крім оперування з основним графом  $B(G_1, U, V_1)$ , створюємо і оперуємо із допоміжним неорієнтованим графом  $H_m(G_m, V_m)$ , вершинами якого є члени підмножини  $G_m$ . Отже, число таких графів буде  $m$ . Граф будується так. Якщо операція  $a_1$  з основним графом є знищення ребра  $[i,j]$ , то граф  $H_m(a_1)$  отримуємо з графа  $H_m(a_0) = (G_m, \mathcal{A})$  в результаті додавання ребра  $[i,j]$ . Якщо операція  $a_1$  – заміна ребра  $[i,j]$  однією з дуг  $(i,j)$ , або  $(j,i)$  в графі  $B(G_1, U, V_1)$ , то граф  $H_m(a_1)$  отримуємо з графа  $H_m(a_0)$ , ототожнивши вершини  $i, j$  з однією вершиною. Очевидно, що кількість вершин в графі  $H_m$  не більша, ніж  $M_m$ . Обчисливши хроматичне число  $c(H_m(a_n))$ , можемо визначити обмеження, яке накладає на остаточний оптимальний варіант розкладу чисельність рухомого складу:

$$c(H_m(a_n)) \leq M_m. \quad (2.25)$$

Ця умова означає обмежені можливості (виконувати декілька вантажопотоків одночасно) через відсутність необхідної кількості рухомого складу, організаційно встановлену послідовність виконання тощо.

Для того, щоб вести цілеспрямований пошук в графі, використано розуміння конфліктного ребра, тобто такого, для якого не виконується умова нерівностей (2.5). Серед конфліктних ребер графа  $B(G_1, U, V_1)$  можна знайти найконфліктніші, тобто такі, перетворення яких приводить до більшого пошукового ефекту. Для цього для кожного конфліктного ребра потрібно знайти величину:

$$h_{ij} = t_j^e(G_1, U) + J_j(G_1, U) + a_{i,j} - J(G_1, U), \quad (2.26)$$

де  $J_j(G_1, U)$  – максимальна вага шляху в графі  $B$ , що починається у вершині  $g_j$ ;  $J(G, U)$ ,  $J(G, U)$  – найдовший шлях у графі  $B(G_1, U)$ .

Вибираючи найконфліктніше ребро з усіх конфліктних множини  $V(a_n)$ , керуємось величиною  $\min(h_{i,j}, h_{j,i})$ . Для якого ребра знайдена величина буде найбільшою, те й назвемо найконфліктнішим.

Алгоритм складається з одинадцяти кроків.

1. Перевірити, чи граф  $B(a_1) = B(G_1, U)$  містить контур додатної ваги, де  $a_1$  – 1-й цикл алгоритму. Якщо такий контур є, то перейти до кроку 10.

2. Знайти найбільш ранній початок прибуття автомобілів в кожний пункт мережі за формулою (2.20). Знайти найбільш пізні закінчення виконання вантажопотоків за формулою (2.21). Якщо знайдені величини не відповідають директивам, то перейти до кроку 10.

3. Знайти множину конфліктних ребер графа  $B(a_1)$  і найконфліктніше серед них. Якщо множина порожня, то перейти до кроку 11.

4. Замінити конфліктне ребро  $[i,j]$  в графі  $B(a_{1.1})$  дугою  $(i,j)$ , в графі  $B(a_{1.2})$  – дугою  $(j,i)$ ; в графі  $B(a_{1.3})$  – знищити ребро  $[i,j]$ .

5. Створити відповідні допоміжні графи  $H_m(a_{1.1})$ ,  $H_m(a_{1.2})$ ,  $H_m(a_{1.3})$ . Обчислити хроматичне число кожного з допоміжних графів  $c(H_m(a_1))$ .

6. Якщо для графа  $H_m$  виконується нерівність (2.26), то перейти до кроку 10.
7. Якщо в графі  $H_m(\mathbf{a}_{1,z})$  є петлі, тобто  $H_m(i,i)=1$ , то перейти до кроку 10.
8. Для графів  $B(\mathbf{a}_{z+1}), B(\mathbf{a}_{z+2}), B(\mathbf{a}_{z+3})$  здійснити по чергові кроки 2, 3, 9.
9. Обчислити поточний рекорд  $r_m$  серед введених графів за формулою (7).  
Якщо  $r_m(A(\mathbf{a}_{1+z})) \geq r_m(A(\mathbf{a}_{1+z-1}))$ , то перейти до кроку 11, якщо ж ні – до кроку 4.
10. Граф вважається виродженим (в його побудові є недопустима помилка) і побудувати за ним розклад неможливо.
11. Шуканий розклад –  $\{t_1^b, t_2^b, \mathbf{K}, t_F\}$ . Функцію мети шукаємо за виразом (2.19).

## **3 РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ І АНАЛІЗ РОЗКЛАДУ РУХУ**

### **3.1 Передумови і початкові дані для планування розкладу водіїв**

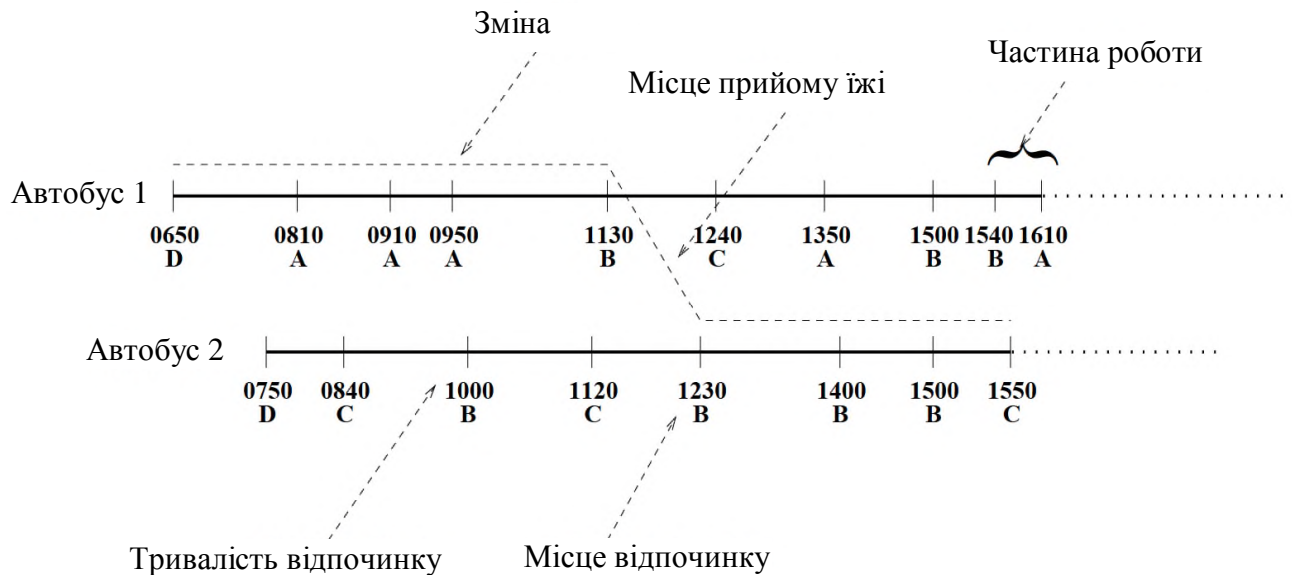
3.1.1 Сталі режими роботи перевізника. Після того, як розклад транспортного засобу буде розроблено, проблема планування роботи водія включає в себе розподіл автомобілів на зміни водіїв, які повинні бути дійсними відповідно до правил праці, тоді як загальний набір змін (розклад) повинен відображати визначення оператором ефективності. Також треба здійснити розподіл автомобілів на маршрути. Мірою ефективності може бути загальна кількість використаних змін, загальна вартість оплачуваних годин або деяка комбінація обох; іноді він може включати міру суб'єктивної якості.

Типова зміна становитиме робочий день для водія і, як правило, включатиме призначення більше ніж на один транспортний засіб із наданням принаймні однієї перерви на обід. Хоча для простоти ми посилаємося тут на денну роботу (від 6-00 до 23-00), і ми включаємо нічні зміни, які можуть починатися пізно одного дня і закінчуватися вранці наступного дня для дальніх маршрутів. У цій магістерській роботі ми також посилаємося на планування на один день за раз, хоча це може включати можливість пов'язування ранкової роботи з нічними змінами попереднього дня.

Водії можуть змінювати транспортні засоби лише у визначених місцях. Зазвичай, це – місця, які є зручно розташовані до розв'язки чи зони відпочинку, або де є відповідне транспортне сполучення до або з іншого такого пункту. Пари розташування/час таких місць можна визначити з розкладу транспортного засобу, і вони відомі як паркувальна інфраструктура (ПІ). Неподільні періоди часу між послідовними ПІ на конкретному транспортному засобі мають бути розподілені для одного водія та відомі як частини роботи. Зміна часто включає послідовну роботу на одному транспортному засобі, а потім роботу на інших автомобілях. Перерва між такими періодами роботи на різних транспортних засобах може бути



достатньо великим, щоб дозволити перерву на обід, або він може просто відповідати правилам щодо мінімального часу, необхідного для зміни транспортних засобів. На рис.3.1 показано розподіл часу роботи автомобіля та приклад дійсної зміни, яка може бути сформована на основі змінного методу.



*Рисунок 3.1 – Розподіл роботи водіїв з транспортними засобами*

Багато факторів беруть участь у визначенні умов роботи водіїв, включаючи максимальний загальний час водіння, максимальний час водіння без перерви, періоди часу, протягом яких можуть мати місце перерви, мінімальна тривалість перерв для приймання їжі тощо. Вони можуть бути різними для кожного перевізника. Мало того, що певний діапазон прийнятних годин може бути різним, але певні методи роботи можуть заохочуватися або заборонятися, напр. шляхом обмеження кількості змін з певними характеристиками. Трудові угоди також часто відрізняються в різних країнах або для різних видів транспорту. Географічні міркування також впливають на тип зміни, яка може бути прийнятною; наприклад, водії автомобілів далекого прямування можуть працювати лише на двох транспортних засобах, на виїзді та назад, тоді як інтенсивна експлуатація міського автомобіля може дозволити

кілька змін транспортного засобу, щоб найбільш ефективно упакувати роботу в межах мінімального набору змін.

Великі транспортні підприємства часто передбачають використання багатьох водійських депо. У той час як міські автомобільні компанії часто обмежують своїх водіїв транспортними засобами зі своїх домашніх депо, дозволяючи розділити загальну проблему планування водіїв, регіональні компанії часто мають більшу гнучкість, хоча можуть існувати обмеження щодо маршрутів або типів транспортних засобів, які можуть бути обслуговуються водіями з окремих депо.

Планування руху великих автомобілів міжміського сполучення є, як правило, складнішим. Ми успішно вирішили проблему, в якій водії були розподілені між більш ніж двадцятьма депо, які розміщені в різних містах тоді як водії з будь-якого депо кваліфіковані лише для керування певними маршрутами та певними типами автомобілів; оскільки будь-яким конкретним маршрутом, як правило, можуть керувати водії з кількох депо, загальну проблему неможливо ефективно розділити. Можуть бути обмеження щодо кількості водіїв, доступних у певних депо. Також може виникнути необхідність обмежити кількість змін певного типу на певних складах, наприклад, щоб забезпечити справедливий баланс ранніх і пізніх змін. Водіям, можливо, доведеться проїхати від головного пункту розташування АТП до пункту, де вони повинні почати рух, або між пунктами, де послідовні періоди роботи закінчуються та починаються, або від пункту, де вони закінчують рух, до пункту завершення циклу. Такі подорожі можуть здійснюватися пішки або на таксі (у цьому випадку надається стандартний час), або часто їздити автомобілем або поїздом (у цьому випадку стандартний час також може бути доречним), або як пасажир на одному або кількох регулярних маршрутах (у цьому випадку необхідно ознайомитися з розкладом будь-яких послуг, якими можна скористатися).

3.1.2. Врахування вимог перевізника. Багато перевізників мають набір письмових правил, що викладають угоди між керівництвом і профспілками,

які регулюють склад водійських змін. Деякі з організацій також дотримуються неписаних правил. Коли ми почали досліджувати розклад роботи водіїв, ми витратили багато часу на роботу з кількома різними органами, що експлуатують вантажівки, щоб скласти звіт правил, які, шляхом відповідного коригування параметрів, разом відповідатимуть усім умовам, як письмовим, так і неписаним. Спочатку це був складний процес. Нашою звичайною схемою на початку нашого дослідження було намагання витягнути всі відповідні правила та отримати зразки копій деяких існуючих розкладів. Потім ми вивчали розклади, шукаючи приклади, коли правила, як ми їх розуміли, явно були порушені.

Потім ці приклади були розглянуті керівництвом компанії, і було досягнуто кращого розуміння. Потім ми спробували створити графік вручну та представили б його керівництву. Іноді це призводило до того, що нам казали, що ми порушили ще якісь неписані правила або неправильно зрозуміли певну ситуацію. Іноді також нам казали, що ми не скористалися деякими прихованими способами обходу даних правил.

Ми виявили, що абсолютний максимум становить 4 години 45 хвилин. Коли ми досліджували їхні існуючі розклади, ми знайшли приклад безперервного робочого часу 5 годин 7 хвилин, тому ми встановили це як наш максимальний, додаючи штрафні витрати до будь-якої зміни, яка перевищує 4 години 30 хвилин.

Незважаючи на такі труднощі, ми змогли скласти вичерпний перелік параметрів, яких часто було б достатньо, щоб задовольнити всі потреби нового користувача, хоча час від часу виникали нові ситуації.

### **3.2 Попередня специфікація розкладу**

Надається можливість, за допомогою якої користувач може заздалегідь вказати, що певні зміни або особливості змін мають бути включені до розкладу. Це можна використовувати, коли потрібні спеціальні функції, навіть якщо вони можуть погіршити оптимальність. Коли користувач вказує

повну зміну, ця зміна не обов'язково має бути законною відповідно до вказаних параметрів; іноді планувальник знає, що є робота з транспортним засобом, яку неможливо покрити без дозволу порушити деякі правила.

Можуть бути визначені часткові зміни. Наприклад, можна вказати початок зміни та/або її кінець, дозволяючи системі визначити, як краще її заповнити; це особливо корисно, коли передбачається, що ранкові та денні шкільні пробіжки повинен здійснювати один і той же водій. Користувач також може вказати певні RO, коли потрібно змінити водія, або може зв'язати дві RO разом, щоб показати, що водій, який закінчив заклинання на першій із них, повинен потім зайняти інший транспортний засіб на другій вказаній RO.

Часткова специфікація повинна бути такою, щоб можна було сконструювати юридичний зсув, включаючи специфікований функція.

Хоча попередня специфікація може бути корисною за певних обставин, зазвичай вона використовується помірно. Багато користувачів із задоволенням дозволяють системі створювати повний розклад без їхнього втручання.

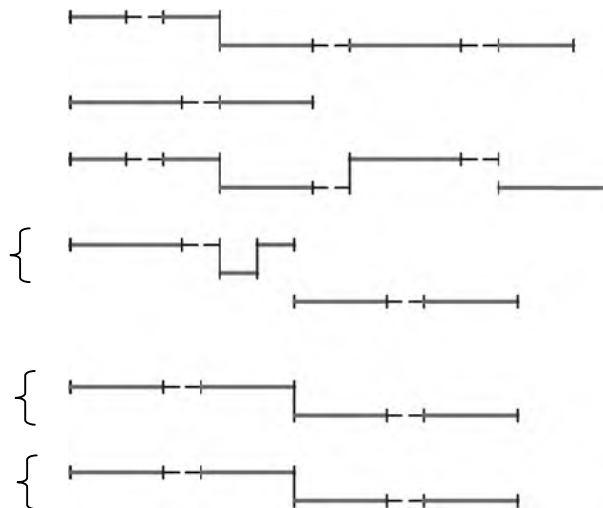
### **3.3 Визначення можливостей для поїздок**

Водіям, можливо, доведеться подорожувати між частинами зміни, або до або з її початку чи кінця. Під час експлуатації автомобілів часто достатньо вказати стандартний час ходьби або їзди між кожною парою пунктів, але під час експлуатації потягів і деяких автомобілів водіям доводиться подорожувати як пасажери за розкладом. Компонент TRAVEL визначає для кожного RO (час і місце), указаного у файлі TRA, де водій може залишити транспортний засіб, найраніший час, коли водій може дістатися до кожної з інших точок у системі. Подорож може включати в себе подорож щонайбільше двома запланованими рейсами з проміжною прогулянкою, якщо необхідно. Подібним чином для кожного RO він визначає останній час, коли водій може залишити кожну з інших точок, щоб взяти на себе керування транспортним засобом у відповідній RO. Слід зазначити, що система розраховує можливості

проїзду для кожної з РО окремо; найкращий маршрут між двома пунктами допомоги залежить від наявності запланованих рейсів на даний момент запитання.

### 3.5 Результати застосування алгоритму

Внаслідок застосування алгоритму до тестової задачі на першій стадії отримано множину оптимальних маршрутів, які не відрізняються тривалістю пробігу. На другій стадії отримано розклад роботи водіїв із застосуванням змінного методу (рис.3.2)



*Рисунок 3.2 – Графік роботи водіїв: 3 автомобіля*

Застосування змінного методу роботи водіїв на міжміських вантажних автомобільних перевезеннях дає можливість скороти простой транспортних засобів від 18% і більше. Запропонований алгоритм, крім того дозволяє скоротити пробіг автомобілів при виконанні відомих вантажопотоків і збільшує їх продуктивність. Алгоритм є двохстадійним, перша стадія його є задачею лінійного програмування. Друга стадія розв'язується методом щільного пакування контейнерів.

Розроблений алгоритм було застосовано для тестової моделі (див. рис.3.3-3.6). Початкові дані були взяті з оперативної інформації

транспортного підприємства. Підприємство здійснює міжміські вантажні перевезення і має у своєму розпорядженні 5 вантажних автопоїздів номінальною вантажністю 20 т. На рис. 3.3 показано транспортну мережу, на якій перевізник виконує вантажопотоку з перевезення вантажів. На графі дано оцінку середньої тривалості руху по ділянках маршруту і фрагмент вантажопотоків. Це є приклад початкової невпорядкованої моделі вантажопотоків. Згідно із напрямком вантажопотоків, їх величиною і вантажністю автомобілів потрібно здійснити такі поїздки з вантажами:  $n_{1,3}$  – 2 поїздки;  $n_{2,4}$  – 4 поїздки;  $n_{3,5}$  – 3 поїздки;  $n_{5,2}$  – 1 поїзка. На підприємстві не застосовується змінний метод керування. Водії закріплені за кожним з п'яти автомобілів персонально.

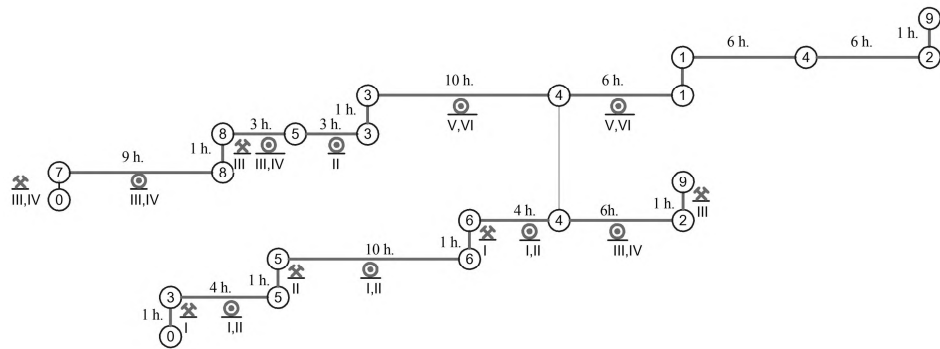


Рисунок 3.3 – Графік роботи водіїв по маршрутах № 1,2

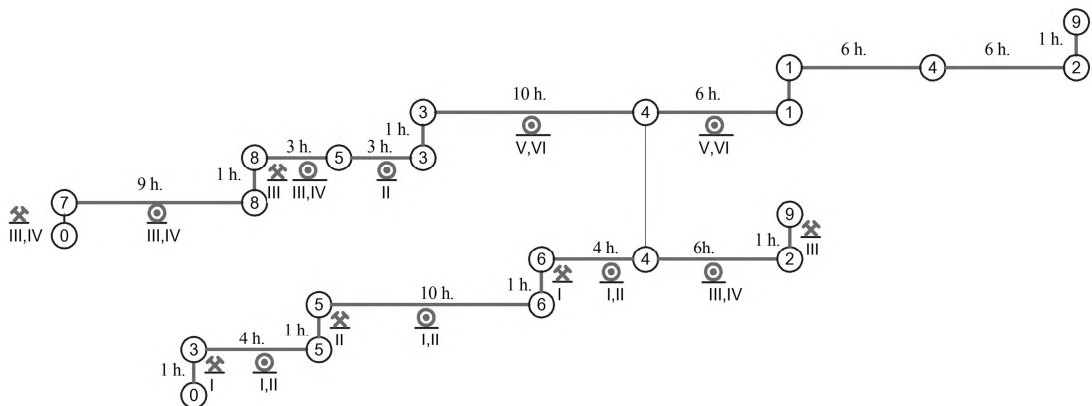


Рисунок 3.4 – Графік роботи водіїв по маршрутах № 3,4

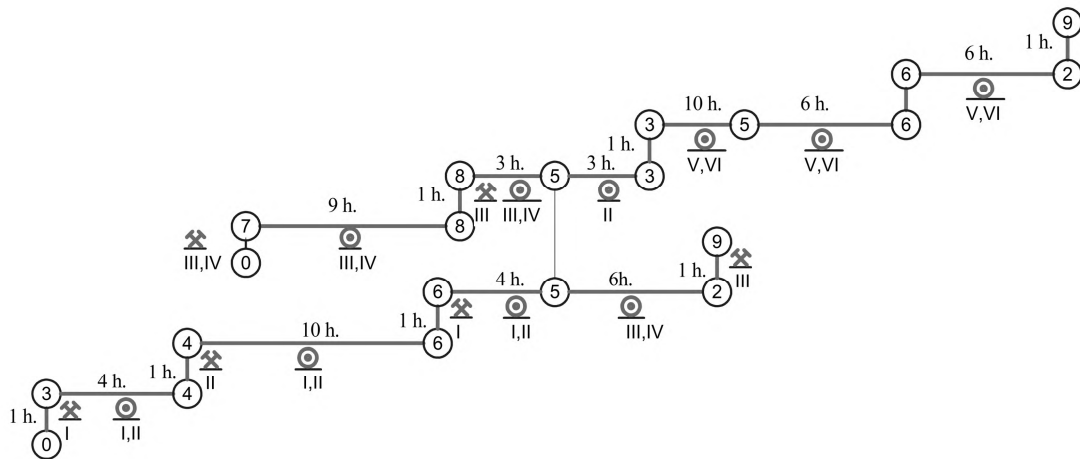


Рисунок 3.5 – Графік роботи водіїв по маршрутах № 5,6

Міжзмінний відпочинок здійснюється водіями лише в депо. Було виконано моделювання та оптимізовано розклади роботи водіїв при застосуванні до вказаних вантажопотоків 2, 3 та 4 вантажівки. Варіант з однією вантажівкою не застосовано, оскільки сумарна тривалість такого проекту перевищує 56 годин, тобто дозволений час роботи одного водія. Застосування 5 автомобілів не змінила розв'язку, отриманого при  $M=4$ . Згідно з алгоритмом неупорядкований змішаний граф був перетворений в граф без циклів. Приклад такого графа при  $M=4$  подано на рис. 5. На графі відображено 3 маршрути. Якщо до умов виконання цих маршрутів додати необхідний час для вантажних робіт і час для зміни водіїв, то отримаємо розклад роботи водіїв, основні параметри якого подано в таблиці 3.1.

Моделювання виконано як із застосуванням, так і без застосування змінного методу. З результатів застосування алгоритму видно, що змінний метод роботи водіїв має переваги перед методом одиничної поїздки, які проявляються в значному скороченні простоїв автомобілів. Тривалість вимушеного простою при застосуванні змінного методу не перевищує 30,6% від тривалості руху вантажівки (36 годин) і 23,4% від тривалості роботи водіїв. Коли ж змінний метод не застосовується, то простої транспорту перевищують тривалість руху в 1,4 рази.

Таблиця 3.1 – Результати побудови активного розкладу роботи водіїв

Кількість автомобілів	Кількість водіїв (змінний метод)	Загальна тривалість проекту, змінний метод / без змін, год.	Маршрути	Тривалість руху, год.	Тривалість роботи водіїв, змінний метод / без змін, год.	Тривалість простою вантажівки, змінний метод / без змін, годин
2	4	47/56	D-1-3-5-2-4-2-4-D	34	42/54	8/20
			D-1-3-5-3-5-2-4-2-4-D	36	47/56	11/20
3	6	32/52	D-2-4-2-4-D	20	24/35	4/15
			D-1-3-5-2-4-D	22	28/52	6/30
			D-1-3-5-3-5-2-4-D	28	32/-	4/-
4	8	34/-	D-1-3-5-2-4-D	28	34/-	6/-
			D-2-4-D	10	12/21	2/11
			D-1-3-5-2-4-D	22	28/-	6/-
			D-2-4-D	10	12/21	2/11

Однак, змінний метод може мати такий недолік, що зростає необхідна кількість водіїв. При цьому виникає необхідність застосувати координацію змін бригади водіїв, які керують один і той ж транспортний засіб. Так, необхідна кількість водіїв, які виконують вантажопотоку, що подані в прикладі, вдвічі перевищує ту кількість, яка стосується методу одиничної поїздки. Застосування алгоритму оптимізації розкладу роботи водіїв, загалом, дало змогу скоротити необхідну кількість автомобілів для виконання сукупності вантажопотоків за рахунок зменшення тривалості проекту в цілому і тривалості вимушених простоїв транспортних засобів.



## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1 Умови праці на підприємстві**

У статтях розділу “Охорона праці” Кодексу законів про працю сказано, що на кожному об'єкті, де працюють люди, повинні бути створені здорові і безпечні умови праці, що відповідають вимогам охорони праці. Усі будівлі й устаткування не повинні створювати погрози працюючим, а також негативно впливати на стан їхнього здоров'я чи самопочуття.

Власник або уповноважений ним орган зобов'язані приділяти увагу умовам праці працівника, полегшувати їх оздоровлювати навколишнє середовище і т.д. забезпечувати контроль за здоров'ям працівників зі шкідливими умовами праці, забезпечувати спецодягом і засобами захисту працюючих від шкідливого впливу речовин, використовуваних у процесі роботи. Стежити за дотриманням трудового законодавства, створювати умови для здійснення контролю за умовами праці, піклуватися про відпочинок працюючих.

Права громадян, у тому числі працівників, закріплені у відповідних нормативно-правових актах, може бути реалізовано тільки за умови, якщо в нормативному порядку будуть встановлені для цього необхідні гарантії.

Закон України "Про охорону праці" передбачає цілий ряд гарантій прав громадян на охорону праці як при укладенні трудового договору, так і під час роботи на підприємстві.

Чинне законодавство передбачає систему гарантій щодо охорони здоров'я працівників на виробництві. Згідно зі ст. 43 Конституції України кожен має право на належні, безпечні й здорові умови праці. Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється.

Основи законодавства України про охорону здоров'я розглядають охорону здоров'я як загальний обов'язок усіх підприємств, установ, організацій, посадових осіб та громадян, які зобов'язані забезпечити

пріоритетність охорони здоров'я у власній діяльності (ст. 5 Основ). З метою забезпечення сприятливих для здоров'я умов праці, високого рівня працездатності встановлюються єдині санітарно-гігієнічні вимоги до організації виробничих процесів, пов'язаних з діяльністю людей. Власники і керівники підприємств, установ і організацій зобов'язані забезпечити виконання техніки безпеки, виробничої санітарії, інших вимог охорони праці, не допускати шкідливого впливу на здоров'я людей (ст. 28 Основ). При укладенні трудового договору громадянин повинен бути проінформований власником під розписку про умови праці на підприємстві, наявність на робочому місці небезпечних і шкідливих виробничих чинників, про можливі наслідки їх впливу на здоров'я і про його права на пільги і компенсації за роботу в таких умовах. Забороняється укладення трудового договору з громадянином, якому згідно з медичним висновком протипоказана запропонована робота за станом здоров'я.

Однією з гарантій є й те, що згідно зі ст. 153 КЗпП працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для оточуючих його людей і навколишнього середовища. Факт наявності такої ситуації підтверджується фахівцями з охорони праці підприємства за участю представника профспілки й уповноваженого трудового колективу, а за період простою з цих причин не з вини працівника за ним зберігається середній заробіток.

Працівник має право розірвати трудовий договір за власним бажанням, якщо власник не виконує законодавство про охорону праці, умови колективного договору з цих питань. У цьому випадку працівникові виплачується вихідна допомога в розмірі, передбаченому колективним договором, але не менш 3-місячного заробітку (ч. 3 ст. 38, ст. 44 КЗпП).

На час припинення експлуатації підприємства органом державного нагляду або службою охорони праці працівникам гарантується збереження місця роботи.

Працівникам, зайнятим на роботах з важкими і шкідливими умовами

праці, надається право на додаткові пільги і компенсації. Вони безкоштовно забезпечуються лікувально-профілактичним харчуванням, молоком або рівноцінними харчовими продуктами, газованою солоною водою, мають право на оплачувані перерви санітарно-оздоровчого призначення, скорочення тривалості робочого часу, додаткову оплачувану відпустку, пільгову пенсію, оплату праці в підвищеному розмірі та інші пільги і компенсації, що надаються у передбаченому законодавством порядку. Власник також може за свої кошти додатково встановлювати працівникам за колективним договором (угодою, трудовим договором) пільги і компенсації, не передбачені чинним законодавством.

Гарантійною нормою є й те, що на власника покладається обов'язок безкоштовної видачі працівникам спецодягу, інших засобів індивідуального захисту, змиваючих і знешкоджуючих засобів, а якщо працівник був вимушений придбати їх за власні кошти, — компенсувати йому витрати.

Серед гарантій прав громадян на охорону здоров'я під час праці особливо необхідно виділити обов'язок власника відшкодувати працівникові шкоду, заподіяну йому каліцтвом або іншим ушкодженням здоров'я, пов'язаним з виконанням трудових обов'язків.

Охорона здоров'я робітників, забезпечення безпечних умов праці, попередження професійних захворювань і усунення виробничого травматизму складають постійну турботу держави.

## **4.2 Техніка безпеки працівників**

Навчання й інструктажі працівників з питань охорони праці є складовою частиною системи управління охороною праці. Вони проводяться з учнями, вихованцями і студентами навчально-виховних закладів, працівниками в процесі їхньої трудової діяльності.

Усі працівники, яких приймають на роботу і які в процесі роботи проходять на підприємстві навчання й інструктаж з питань охорони праці, вивчають правила надання першої і швидкої допомоги потерпілим від

нешасного випадку, а також правила поведінки при виникненні аварії чи пожежі на підприємстві.

Відповідальність за керівництво роботою по охороні праці і техніку безпеки, проведення заходів щодо зниження і попередження виробничого травматизму і профзахворювань покладається на керівника підприємства.

Відповідальним за охорону праці, техніку безпеки і виробничу санітарію є інженер (старший інженер) по техніці безпеки, підлеглий головному інженеру підприємства.

Місцевий (заводський) профспілковий комітет контролює дотримання законодавства про працю, вимог охорони праці і виробничої санітарії, вирішує трудові спори. Для поліпшення роботи з охорони праці і техніку безпеки профспілкові комітети створюють на підприємствах комісії охорони праці і виділяють суспільних інспекторів по охороні праці.

Працівники, що виконують роботи підвищеної небезпеки, а також де є необхідність у професійному доборі, проходять попереднє спеціальне навчання і перевірку знань з питань охорони праці в термін, установлений відповідними галузевими нормативними актами, але не рідше одного разу в рік. Допуск до роботи осіб до початку виконання своїх обов'язків періодично проходять навчання і перевірку знань з питань охорони праці.

Навчання керівників підприємств і заснувань і їхніх заступників, що безпосередньо відповідають за організацію охорони праці на підприємстві чи в установі, проводиться в навчальних установах, що мають дозвіл Комітету з нагляду за охороною праці України на проведення такого навчання.

На підприємствах навчання з питань охорони праці організовує відділ охорони праці підприємства, залучає до цього працівників відділу охорони праці і фахівців, що пройшли навчання і перевірку знань у навчальних установах або установах Держнагляду по охороні праці.

Посадові особи і фахівці невеликих підприємств, де неможливо провести навчання і створити комісію по перевірці знань, проходять навчання у відповідних місцевих навчальних установах або у близьких до їх профілю

виробництва підприємствах, а перевірку знань – комісіях при місцевих органах Держнагляду по охороні праці.

Інструктажі:

1. вступний (із усіма працівниками, що тільки що прийняті на роботу)
2. первинний (проводиться на робочому місці до початку роботи з новоприйнятим працівником).
- 3 вторинний (проводиться на робочому місці з усіма працівниками)
- 4 позаплановий (проводиться при введенні нових нормативних актів, при заміні технологічного процесу, при порушенні нормативних актів працівниками, по вимозі відповідного державного органу, при перерві в роботі виконавця більш ніж на 30 календарних днів і ін.)
- 5 Цільовий (при виконанні разових робіт, при ліквідації наслідків аварії і т.д., при виконанні робіт, що оформляються нарядом – допуском чи письмовим дозволом, у випадку екскурсії або організації масових заходів з учнями і вихованцями).

Робітники можуть бути допущені до роботи тільки після проходження інструктажу з техніки безпеки. Інструктаж проводиться по наступним видах:

вступний інструктаж при надходженні на роботу, інструктаж на робочому місці, повторний інструктаж. Вступний інструктаж проводить інженер по техніці безпеки в кабінеті (куточку) техніки безпеки, обладнаному наочними приладдями. Інструктаж на робочому місці проводить керівник виробничої ділянки, супроводжуючи його показом безпечних прийомів роботи. Вступний інструктаж і інструктаж на робочому місці записуються в «контрольний лист», що підписується інженером по техніці безпеки, робітником, майстром і начальником цеху або ділянки.

Повторний інструктаж проводять не рідше одного разу в 6 місяців, а додатковий — при порушенні працюючим правил і інструкцій з техніки безпеки, технологічної і виробничої дисципліни, а також при зміні технологічного процесу, виду робіт. Повторний і додатковий інструктажі записуються в спеціальний журнал, що зберігає керівник виробничої ділянки.

### **4.3 Технічні і ергономічні вимоги до організації робочого місця працівника контейнерного майданчика на терміналі**

Більше число ергономічних вимог до якості техніки, елементам устаткування і просторової організації виробничого середовища може зробити враження закінченості процесу оптимізації робочих місць. Однак існуючий досвід суперечить цьому твердженню. Навіть якщо взяти до уваги всі ергономічні рекомендації і безпосередньо реалізувати їх, то з цього не завжди може вийти зручне робоче місце. Тут як і в кожній іншій складовій робочого місця, варто прийняти багато вирішень, що впливають на естетичну якість робочого середовища. Зокрема необхідно:

- \* визначити і реалізувати помірний ступінь упорядкованості елементів робочого середовища з урахуванням площі робочого місця і розмірів цих елементів;

- \* установити раціональний розподіл світла і тіні;

- \* визначити ступінь взаємного узгодження елементів робочого середовища за формою, кольором і матеріалом;

- \* поліпшити естетичні параметри засобів праці за допомогою кольору.

Облік цих вимог призведе до поліпшення композиційної цілісності робочого місця, збільшить його інформаційну виразність і т.д.

Організація робочого місця включає:

- облік психофізіологічної сумісності виконавця і засобів праці;
- аналіз антропометричних характеристик людини для вибору ергономічно-обґрунтованого робочого положення і робочих зон;
- раціональну компоновку контейнерного майданчика;
- облік факторів зовнішнього середовища, у тому числі соціально-психологічного її аспекту.

Виходячи з загальних принципів організації робочого місця, у нормативно-методичних документах сформульовані вимоги до конструкції робочого місця.

## ВИСНОВКИ

Планування робочого часу та часу водіння водіїв вантажівок є дуже складним завданням за наявності законодавчих обмежень. Незважаючи на їхню важливість, обмеження робочого часу водіїв викликають дуже мало інтересу в літературі.

У цій роботі представлено метод частково орієнтованих графів (ЧОГ) і кілька варіантів для планування водіння та робочого часу європейських водіїв вантажівок. На відміну від попередніх підходів, підхід ЧОГ, представлений у цій роботі, гарантовано знайде можливий розклад водія вантажівки, якщо такий розклад існує.

Обчислювальні експерименти демонструють, що попередні підходи вдавалися в пошуку можливих розкладів лише для менш ніж половини випадків із найбільшою кількістю місць, які потрібно відвідати. Експерименти також показують, що використання періодів перерви в дві частини, тобто в першій частині принаймні 15 хвилин і в другій частині принаймні 30 хвилин, не приносить великої користі для перевезень на великі відстані.

Метод ЧОГ, який не враховує можливість розділяти періоди перерви на дві частини, може бути використаний для значного зменшення обчислювальних зусиль порівняно з методом найближчого сусіда. Подальші обчислювальні переваги можуть бути досягнуті шляхом виконання неповного пошуку. Підходи, засновані на орієнтованих графах, розглядають лише найбільш перспективні три, чотири або п'ять часткових графіків у кожній ітерації. Однак ці методи все ще знаходять можливий розклад приблизно для 90 відсотків усіх згенерованих екземплярів.

Усі методи можуть бути вбудовані в методи оптимізації на основі локального пошуку для комбінованої маршрутизації транспортного засобу та планування водія вантажівки.

Кожного разу, коли нова поїздка для транспортного засобу отримується в результаті переміщення по сусідству, можна використовувати методи, щоб

визначити, чи відповідає модифікована поїздка обмеженням часового вікна та регламенту (ЄС) № 561/2006.

Якщо графіки складаються щотижня, для оптимізації можуть бути доступні цілі вихідні.

Значна краща продуктивність з точки зору кількості випадків, для яких можливий розклад може бути знайдений за допомогою одного з методів, наведених у цій статті, має коштувати додаткових обчислювальних зусиль.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Любчик Л. М., Шафеев Р. О. Решение транспортной задачи с ограничениями по времени с помощью метаэвристического алгоритма. Вестник НТУ «ХПИ». 2013. 3(977), 35-40.
2. Прокудін Г. С. Розв'язання нестандартних транспортних задач про призначення. Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. трудов. Севастополь: СевНТУ. 2007. № 10. С. 111–115.
3. Прокудін Г. С. Організація вантажних перевезень на транспортних мережах з обмеженням їх пропускної здатності. Електроніка та системи управління. Київ: НАУ. 2011. №1(27) С. 115-121.
4. Притула Н. Нелінійні транспортні задачі на зважених графах. Вісник Львів. ун-ту. Сер. прикл. матем. та інформ. 2006. Вип. 11. С. 244-254.
5. Смрковская В. Ю. Моделирование процесса формирования схем доставки грузов Вестник ОНМУ. Сб. науч. трудов. Одесса: ОНМУ, 2007. № 21. С. 155-171.
6. Ammann P., Kolisch R., Schiffer M. Driver routing and scheduling with synchronization constraints. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2023. 174, 102772.
7. Ammar A., Bennaceur H., Châari I., Koubâa A., Alajlan M. Relaxed Dijkstra and A\* with linear complexity for robot path planning problems in large-scale grid environments. *Soft Computing*. 2016. 20, 4149-4171.
8. Ahmed A. A. A., et al. A mathematical model for the vehicles routing problem with multiple depots, considering the possibility of return using the tabu search algorithm. *Foundations of Computing and Decision Sciences*. 2022. 47(4), 359-370.
9. Benus, J., Demirci, E. Regulation (EC) No 561/2006-review of the adopted changes on 15 July 2020. *Archiwum Motoryzacji*. 2020. 90(4), 59-73.
10. Bowden, Z. E., & Ragsdale, C. T. The truck driver scheduling problem with fatigue monitoring. *Decision Support Systems*. 2018. 110, 20-31.

11. Cerrone, C. & Cerulli, R. & Golden, B. Carousel greedy: A generalized greedy algorithm with applications in optimization. *Computers & Operations Research*. 2017. 85, 97-112.
12. Domínguez-Martín, B. & Rodríguez-Martín, I. & Salazar-González, J. J. An exact algorithm for a Vehicle-and-Driver Scheduling Problem. *Computers & Operations Research*. 2017. 81, 247-256.
13. Erbayrak, S., Özkır, V., & Yıldırım, U. M. Multi-objective 3D bin packing problem with load balance and product family concerns. *Computers & Industrial Engineering*. 2021. 159, 107518.
14. Elhüseyni, M. & Ünal, A. T. An integrated heuristic and mathematical modelling method to optimize vehicle maintenance schedule under single dead-end track parking and service level agreement. *Computers & Operations Research*. 2021. 132, 105261.
15. Filtness, A. J., Anund, A., Maynard, S., Miller, K., Pilkington-Cheney, F., Dahlman, A., & Ihlström, J. 2019. Bus Driver Fatigue. Report to Transport for London.
16. Filtness, A. J., Naweed, A. 2017. Causes, consequences and countermeasures to driver fatigue in the rail industry: The train driver perspective. *Appl. Ergon* 60: 12-21. doi:10.1016/j.apergo.2016.10.009
17. Friswell, R., Williamson, A. 2008. Exploratory study of fatigue in light and short haul transport drivers in NSW, Australia. *Accid Anal Prev* 40(1): 410-417. doi:10.1016/j.aap.2007.07.009.
18. Gander, P., Hartley, L., Powell, D., Cabon, P., Hitchcock, E., Mills, A., Popkin, S. 2011. Fatigue risk management: Organizational factors at the regulatory and industry/company level. *Accid Anal Prev*. 43(2): 573-590. doi:10.1016/j.aap.2009.11.007.
19. Horne, J. A., Reyner, L. A. 1995. Sleep related vehicle accidents. *Bmj*. 310(6979): 565-567. doi:10.1136/bmj.310.6979.565. Goel, A. The minimum duration truck driver scheduling problem. *EURO Journal on Transportation and Logistics*. 2012. 1(4), 285-306.

20. Gmira, M. & Gendreau, M. & Lodi, A. & Potvin, J. Y. Managing in real-time a vehicle routing plan with time-dependent travel times on a road network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2021. 132, 103379.
21. Genova, K., & Williamson, D. P. An experimental evaluation of the best-of-many Christofides' algorithm for the traveling salesman problem. *Algorithmica*. 2017. 78(4), 1109-1130.
22. Groër, C. & Golden, B. & Wasil, E. A library of local search heuristics for the vehicle routing problem. *Mathematical Programming Computation*. 2010. 2, 79-101.
23. Koç, Ç. & Jabali, O. & Laporte, G. Long-haul vehicle routing and scheduling with idling options. *Journal of the operational research society*. 2018. 69(2), 235-246.
24. Maden, W. & Eglese, R. & Black, D. Vehicle routing and scheduling with time-varying data: A case study. *Journal of the Operational Research Society*. 2010. 61, 515-522.
25. Pan, B. & Zhang, Z. & Lim, A. Multi-trip time-dependent vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*. 2021. 291(1), 218-231.
26. Pessoa, A. & Sadykov, R. & Uchoa, E. Solving bin packing problems using vrp solver models. In *Operations Research Forum*. 2021. Vol. 2, No. 2, p. 20).
27. Rodríguez-Martín, I. & Salazar-González, J. J. & Yaman, H. The periodic vehicle routing problem with driver consistency. *European Journal of Operational Research*. 2019. 273(2), 575-584.
28. Schiffer, M. & Schneider, M. & Walther, G. & Laporte, G. Vehicle routing and location routing with intermediate stops: A review. *Transportation Science*. 2019. 53(2), 319-343.
29. Schiffer, M., & Walther, G. The electric location routing problem with time windows and partial recharging. *European journal of operational research*. 2017. 260(3), 995-1013.

30. Schepler, X. & Rossi, A. & Gurevsky, E. & Dolgui, A. Solving robust bin-packing problems with a branch-and-price approach. *European Journal of Operational Research*. 2022. 297(3), 831-843.
31. Schepler, X. & Rossi, A. & Gurevsky, E. & Dolgui, A. Solving robust bin-packing problems with a branch-and-price approach. *European Journal of Operational Research*. 2022. 297(3), 831-843.
32. Yuri N. Sotskov & Omid Gholami (2015): Mixed graph model and algorithms for parallel-machine job-shop scheduling problems, *International Journal of Production Research*, DOI: 10.1080/00207543.2015.1075666