МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Кафедра Транспортні вузли

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри
_____ /М. І. Березовий/

«_____» _____ 20____р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **27 Транспорт**

Спеціальність **275 Транспортні технології (за видами)**

Спеціалізація **275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)**

Тема **Дослідження варіантів організації руху та забезпечення безпеки в окремому районі міста**

Theme **Research of options for traffic organization and security providing at a particular district of the city**

Керівник дипломної роботи доц. _____ Т. В. Болвановська

Нормоконтролер доц. _____ М. І. Березовий

Студент групи УА1921 _____ М. І. Пушкарь

Student Pushkar Mykola

Дніпро – 2020

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Факультет Управління процесами перевезень **Кафедра** «Транспортні вузли»

Спеціальність 275 «Транспортні технології (за видами)»

Спеціалізація 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри
_____ / М. І. Березовий /
(підпис)
2020 р. _____ «_ _»

ЗАВДАННЯ

до дипломного роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»
(рівень вищої освіти)

отримав студент групи УА1921 Пушкарь Микола Іванович
(номер групи) (ПІБ)

1 Тема дипломного проекту (роботи): Дослідження варіантів організації руху та забезпечення безпеки в окремому районі міста

затверджена наказом по університету від « 02 » березня 2020 р. № 130 ст

2 Термін подання студентом закінченого проекту (роботи): « 10 » грудня 2020 р.

3 Вихідні дані до дипломного проекту (роботи): Дані для розрахунку перехресть, схема розташування об'єктів торгової мережі, маршрут обслуговування торгової мережі

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки):
(*див. календарний план*)

5 Перелік слайдів:
Перелік слайдів відповідно до додатку

6 Розділи та консультанти:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу дипломного роботи	Термін виконання	Обсяг розділу, %
1. Сучасний стан питання організації руху	строк 1	20
2. Аналіз роботи автомобільного транспорту України	строк 1	15
3. Варіанти організації та забезпечення безпеки дорожнього руху на перехрестях	строк 2	23
4. Визначення оптимального маршруту руху автотранспорту при обслуговуванні торгової мережі	строк 3	30
5. Екологічні аспекти роботи автомобільного транспорту	строк 3	12
Всього		100

Дата видачі завдання: « 01 » жовтня 2020 р.

Керівник дипломного проекту (роботи) _____ Т. В. Болвановська
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ М. І. Пушкарь
(підпис) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків та 4 додатків. Повний обсяг проекту – 97 сторінок; з них основний текст на 88 сторінках, містить 21 ілюстрацію, 32 таблиці та 72 літературних джерела.

Об’єктом дослідження дипломної роботи є процес організації руху автомобільного транспорту.

Метою роботи є дослідження можливих варіантів організації руху на перехрестях та при розвезенні вантажів

Предмет дослідження: взаємозв’язки інтенсивності автомобілепотоків та пропускної спроможності перехресть; організація руху при розвезенні вантажів.

В роботі виконано аналіз сучасного стану питання організації руху автомобільного транспорту; дослідження та аналіз роботи автомобільного транспорту України; дослідження варіантів організації та забезпечення безпеки руху на перехрестях; визначення оптимального маршруту руху автотранспорту при обслуговуванні торгової мережі; екологічні аспекти роботи автомобільного транспорту

Галузь застосування – інфраструктура автомобільного транспорту України.

Ключові слова: ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЯ МЕРЕЖА; ПЕРЕХРЕСТЯ, ОРГАНІЗАЦІЯ РУХУ, ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ

ЗМІСТ

Стор.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА ТЕРМІНІВ 6
ВСТУП 7
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ 8
1.1 Транспортні проблеми сучасних міст та шляхи їх вирішення 8
1.2 Аналіз досвіду застосування перетинів автомобільних доріг в одному рівні ... 10
1.3 Організація руху автомобільного транспорту у містах 14
1.4 Організація руху транспорту при обслуговуванні підприємств міста 20
1.5 Постановка задач дослідження 23
2. АНАЛІЗ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ 25
2.1 Аналіз пасажирських перевезень 25
2.2 Аналіз вантажних перевезень 27
3. ВАРІАНТИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ 31
3.1 Поділ дорожнього руху в просторі 31
3.2 Метод порівняльного аналізу сучасних кругових розв'язок і традиційних перехресть 32
3.3 Розробка методики та порівняння сучасних кругових розв'язок і традиційних перехресть 38
4. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ РУХУ АВТОТРАНСПОРТУ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ТОРГОВОЇ МЕРЕЖІ 49
4.1 Вирішення задачі Комівояжера методом гілок та меж 49
4.2 Визначення оптимального маршруту доставки вантажу ТМ-1А 53

5. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ .. 70
5.1 Вплив автомобільного транспорту на стан екосистеми 70
5.2 Вплив рухомого складу автотранспорту на навколишнє середовище 73
5.3 Загальна характеристика екологічної документації 75
5.4 Заходи боротьби зі шкідливим впливом на довкілля автомобільного транспорту 76
ВИСНОВКИ 78
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК 80
ДОДАТОК А ВИХІДНІ ДАНІ 87
ДОДАТОК Б МАТРИЦІ ВІДСТАНЕЙ МІЖ ТОЧКАМИ ТОРГОВОЇ МЕРЕЖІ 88
ДОДАТОК В ПЕРЕЛІК МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ДО ДМР 89
ДОДАТОК Г ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ 97

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА ТЕРМІНІВ

АЗС – автозаправні станції;

ВДМ – вулично-дорожня мережа;

ГДВ – гранично допустимі викиди;

ГДС –гранично допустимі скиди;

ГВК – габаритно-ваговий контроль;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння

ДТП – дорожньо-транспортна пригода;

ЄС – Європейський союз;

ЕОМ – екетронно-обчислювальна машина;

ІТС – інтелектуальна транспортна система;

ОДР – організація дорожнього руху;

СТО – станції технічного обслуговування;

ТПВ – тимчасово погоджені викиди

ВСТУП

У дипломній роботі буде вирішенно наступні завдання:

– аналіз сучасного стану питання організації руху автомобільного транспорту;

– дослідження та аналіз роботи автомобільного транспорту України;

– дослідження варіантів організації та забезпечення безпеки руху на перехрестях;

– визначення оптимального маршруту руху автотранспорту при обслуговуванні торгової мережі;

– екологічні аспекти роботи автомобільного транспорту

1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ

1.1 Транспортні проблеми сучасних міст та шляхи їх вирішення

Вулично-дорожня мережа (ВДМ) міста створюється десятиріччями, для її зміни та удосконалення необхідні час і великі інвестиції. Структура і протяжність ВДМ міста створюються на основі генеральних планів розвитку, орієнтованих на певний рівень автомобілізації. Протягом тривалого часу в нашій країні пріоритет у розвитку транспортного обслуговування віддавався легковому транспорту і в якості розрахункового рівень автомобілізації приймалося 60 автомобілей/1000 осіб [1]. Саме для цього рівня автомобілізації і були створені вся транспортна інфраструктура і система управління дорожнім рухом сучасних міст. У своїй статті Кузьмич С. І. [2] описусав проблеми транспортних систем сучасних великих міст. Їх основними недоліками є:

– мала питома щільність магістральних вулиць і недостатня розвиненість мережі місцевих вулиць;

– низька пропускна здатність вулиць та перехресть;

– застосування для регулювання руху застарілих методів і технічних засобів;

– відсутність системи інформаційного забезпечення міського руху;

– відсутність необхідної кількості автостоянок і парковок.

Автомобілізація міст Західної Європи, що почалася в 50-і роки, проходила практично за однією закономірністю для всіх країн: лінійне зростання кількості автомобілів до рівня 300–350 авт./1000 осіб., потім уповільнення зростання і стабілізація при рівні близько 550 авт./1000 осіб. Є підстави очікувати в сучасних вітчизняних містах граничний рівень втомобілізації близько 550 авт./1000 осіб. до 2025 рр., що значно перевищує сучасний рівень.

З кожним роком у всьому світі зростає використання інтелектуальних транспортних систем (ІТС). Під ІТС розуміють застосування сучасних технологій зв'язку, управління, комп'ютерного обладнання та програмного забезпечення для поліпшення ефективності і безпеки роботи міського наземного транспорту.

Інтелектуальна транспортна система – найбільш ефективна в сучасних умовах система організації руху, але навіть вона не може підвищити пропускну здатність ВДМ міста більш ніж на 20 %. Це говорить про те, що одними заходами з регулювання руху проблему міського руху вирішити не можна.

Найважливішим і найбільш дорогим заходом є розвиток ВДМ міста. В умовах інтенсивної автомобілізації частку ВДМ в балансі території міст необхідно збільшити до 20 %, що вимагає коригування діючих і створення нових нормативних документів і посібників з проектування планування і забудову вулиць, площ, транспортних вузлів [2].

Як показує зарубіжний досвід, одним з найбільш радикальних і ефективних шляхів підвищення ефективності роботи міських транспортних систем є впровадження різних заходів, спрямованих на вдосконалення організації дорожнього руху. Ці може бути будь-що: від адміністративної заборони, до застосування плати за виїзд на ВДМ, але спрямованість їх одна – зменшення кількості автомобілів до рівня, що не перевищує пропускну здатність ВДМ і ємність парковок в місті. Головним об'єктом обмежень при впровадженні даного підходу повинні стати легкові автомобілі, що знаходяться у власності громадян, оскільки саме вони вносять найбільший внесок в перевантаженість ВДМ міста.

Так, завдяки застосуванню таких заходів, в містах Західної Європи з аналогічною щільністю ВДМ і кількістю автомобілів близько 550 авт./1000 осіб. частка трудових поїздок на особистому автомобілі не перевищує 20 %.

В сучасних умовах транспортну обстановку в великих містах можна поліпшити, розвиваючи однорівневі розв'язки типу «кільце» і перехрестя.

У США для оцінки транспортного руху по УДС міста в якості основного застосовується інтегральний критерій, який називається показник рівня обслуговування (*Level of Service – LOS*). Він визначений як «якісна характеристика, яка відображає сукупні фактори (швидкість руху, час поїздки, безпеку та зручність керування автомобілем, свободу маневрування)» [3]. Цей показник в США став основним критерієм оцінки якості організації дорожнього руху та був включений до нормативних документів. Поділ на рівні дозволив

транспонувати параметри, що характеризують функціонування транспорту та 8 доріг, в більш зручну і спрощену для розуміння шкалу оцінки.

У роботах Сильянова В. В, Михайлова О. Ю., Агасьянц А. А., [4–6] були вивчені рівні обслуговування і рівні зручності, які були приведені до однієї класифікації. Документальне дослідження питання показує відсутність повної класифікації перетинів в одному рівні. У деяких випадках виявлені суперечності в класифікації елементів навіть в діючих нормативних документах.

В даний час транспортну ситуація в більшості сучасних міст можна віднести до несприятливих і вкрай нестійких. Основною причиною цього є невідповідність пропускної здатності ВДМ, стрімкаавтомобілізація міст, перевага особистого транспорту громадському.

1.2 Аналіз досвіду застосування перетинів автомобільних доріг в одному рівні

Історія розвитку перетинів і примикань автомобільних доріг нерозривно пов'язана з історією автомобільного транспорту. На ранніх етапах розвитку автомобільного транспорту, коли швидкості і інтенсивність руху автомобілів були невеликі, всі перетини і примикання автомобільних доріг здійснювалися в одному рівні, причому ніяких спеціальних заходів для забезпечення безпеки руху і пропускної здатності на них не передбачалося [7].

Досвід європейських країн показує, що розвиток дорожньої мережі і транспортної інфраструктури визначає інтенсивність економічних зв'язків і є одним з найважливіших умов розвитку економіки країни. Активне зростання економіки держави може бути обмежено та навіть зупинено через інфраструктурні обмеження, в основі яких лежить низька якість доріг та низька пропускна здатність інфраструктурних об'єктів (мостів, тунелів). У більшості розвинених країн, в тому числі в Німеччині, Японії, США, формування мережі автомобільних доріг здійснювалося в рамках довгострокових державних програм, які визначають показники розвитку дорожньої мережі та відповідні цим показниками обсяги фінансування. Євросоюз розглядає питання формування

транс'європейської дорожньої мережі та відповідної транспортної інфраструктури з можливістю інтеграції в неї нових країн-членів ЄС.

У 20-х роках минулого століття внаслідок постійного зростання швидкостей і інтенсивності руху автомобілів питання забезпечення безпеки руху і пропускної здатності на перетинах і примиканнях доріг стало набувати все більшого значення, так як з розвитком автомобільного руху кількість нещасних випадків стала невпинно зростати. У цей період перетину і примикання доріг, як і раніше продовжували здійснюватися в одному рівні, але на них стали передбачати спеціальні заходи для підвищення безпеки руху та пропускної здатності. До таких заходів в першу чергу відносяться забезпечення видимості на підходах і установка спеціальних дорожніх знаків.

Однак, незважаючи на всі ці заходи, прості хрестоподібні перетинання доріг в одному рівні мають ряд суттєвих недоліків, а саме: сприяють дорожньо-транспортним пригодам, значно скорочують пропускну здатність доріг, що перетинаються, і знижують швидкості руху.

З впровадженням світлофорного регулювання вирішилися такі проблеми як кількість ДТП і заторові ситуації. Впровадження світлофорного регулювання безліч разів розглядалося в роботах Воробйова А. І. [8–10]. Світлофорне регулювання на перехресті, як метод організації дорожнього руху, заснований на принципі поділу потоків в часі, вже давно не є гарантом безпеки дорожнього руху. В умовах динамічних знакозмінних навантажень на вулично-дорожную мережу фіксоване (жорстке) управління світлофорними об'єктами не завжди буває ефективним і виправдувати своє застосування. Більш сучасним і ефективним методом регулювання є адаптивне управління світлофорними об'єктами [9]. Даний метод світлофорного управління почав розроблятися ще в 60-х роках XX ст. Зараз же адаптивне управління сильно еволюціонувало і видозмінилася, незмінними залишилися тільки деякі базові принципи [10].

Найбільш досконалим типом перетину автомобільних доріг є кільцеве перетинання. Воно здійснюється у вигляді досить широкого кільця, до якого примикають пересічні дороги.

Широке розповсюдження кільцеві перетину отримали в Англії, Голландії, ФРН, Швеції, США, Канаді та деяких інших країнах. Кільцеві перетини автомобільних доріг влаштовують також і в СРСР. Такі перетину були побудовані, наприклад, на автомагістралях Київ – Харків – Ростов, Баку – Сумгаїт і т. Д. Однак широкого впровадження в СРСР кільцеві перетину не отримали.

Аналіз проектування і експлуатації кільцевих перетинів привів до того, що на початку 90-х років у світовій практиці сформувався новий підхід до проектування кільцевих перетинів, був введений термін «сучасні кільцеві перетини». Розміри міні кілець і їх низька вартість дозволяють широко застосовувати їх на місцевій вулично-дорожньої мережі, що, безумовно, є великою гідністю. Разом з тим в колишньому СРСР немає достатнього досвіду експлуатації міні-кілець, центральний острівець яких виділяється дорожньою розміткою, і впровадження таких перетинів може супроводжуватися порушеннями правил руху [11].

Накопичений досвід експлуатації доріг з кільцевими перетинами показав, що вони при дотриманні комплексу вимог до їх планування та методів організації руху, можуть працювати досить ефективно. Крім того, організація кільцевого руху, повністю або частково виключає місця перетину транспортних потоків, замінюючи їх послідовним злиттям або поділом, сприяє суттєвому підвищенню безпеки руху та зниження тяжкості дорожньо-транспортного пригод.

Кільцеві перетину застосовуються при сумарній добовій інтенсивності руху до 70–80 тис. авт./добу, при цьому їх пропускна здатність відповідає пропускній спроможності деяких типів транспортних розв'язок в різних рівнях. Крім високої пропускної здатності кільцеві перетину мають ряд важливих переваг у порівнянні з іншими типами перетинів в одному рівні:

– дозволяють забезпечити оптимальну організацію руху при перетині більше двох доріг;

– не вимагають додаткових витрат на світлофорне регулювання руху;

– мають меншу кількість розосереджених конфліктних точок;

– забезпечуючи низьку швидкість руху і невеликі кути злиття, поділу і переплетення, що сприяє зниженню аварійності та тяжкості дорожньо-транспортних пригод;

– мають невеликі втрати часу через зупинки;

– схема руху на перетині проста та зрозуміла водіям;

– забезпечують кращі умови руху для виконання лівих поворотів;

– вимагають невеликих капітальних витрат на будівництво, порівняно з розв’язками в різних рівнях;

– наносять менший негативний вплив на навколишнє середовище.

Як і раніше основним нормативно-технічним документом, в якому є рекомендації щодо планувальних рішень кільцевих перетинів, залишаються Методичні вказівки 1980 року [12]. Сучасні вимоги до кільцевих перетинів в зазначених документах відображені недостатньо повно.

Поява ЕОМ дозволила виконувати складні чисельні експерименти за допомогою імітаційного моделювання процесів, і з'явилася можливість враховувати випадковий характер транспортного потоку. Зростаючі автотранспортні потоки великих міст вимагають реконструкції існуючих і створенні нових транспортних вузлів [13]. Низькорівневе імітаційне моделювання – ефективний спосіб аналізу пропускної спроможності та інших характеристик невеликих і середніх транспортних систем [14].

Кільцеві перетинання автомобільних доріг характеризуються меншою аварійністю, скороченням затримки і високої пропускної здатністю в порівнянні з іншими перетинами в одному рівні. У вітчизняній практиці дорожнього проектування і будівництва до сьогодні такі перетини не отримали належного застосування в зв'язку з недостатньо розвиненою нормативно-методичною базою.

Але також у кільцевих перетинів є і недоліки:

– необхідність у великих площах;

– зниження середньої швидкості руху;

– складність в організації пропуску пішоходів та велосипедистів;

– складності координованого управління дорожнім рухом, організації пріоритетного пропуску маршрутних автобусів та міського пасажирського транспорту;

– необхідність формування досить складної системи інформаційного забезпечення водіїв що до умов дорожнього руху.

1.3 Організація руху автомобільного транспорту у містах

В своїй статтях [15-17] Катерна О. К. розглядає інтелектуальні транспортні системи як важливу складову сучасного комплексного підходу до підвищення ефективності функціонування систем наземного транспортування за рахунок розширення їх інформаційної інфраструктури: автоматизованого збору даних про стан системи в масштабі реального часу, моделювання та прямого й опосередкованого оперативного впливу на формування і зміну транспортних потоків.

Об’єктивне зростання і глобалізація світової економіки, якісні зміни в українській економіці, якісне збільшення інтенсивності і обороту транспортних потоків, зміна масштабів комп’ютеризації систем управління та моніторингу найрізноманітніших економічних і просторових процесів вимагають інтелектуальної підтримки управління цими процесами.

Дослідження показали, що розвиток інтелектуальних транспортних систем природним чином пов’язаний з винаходами у галузі транспортної навігації. Так, основні дослідження розвитку та становлення ринку сучасних інтелектуальних транспортних систем, головним чином, сконцентровані у США, у Японії і Європі. Проте й досі в Україні цій темі приділяється мало уваги [18].

Але в результаті підвищення вимог до транспортного комплексу країни висувається ряд першочергових задач:

1. Збільшення кількості транспортних засобів.

2. Організація своєчасної доставки пасажирів та вантажу (логістичний принцип «just in time»).

3. Організація якісної доставки та забезпечення безпеки на всьому ланцюгу

транспортування.

4. Зниження завантаженості транспортних шляхів, усунення скупчення транспортних засобів, підвищення швидкості перевезення, ліквідація заторів, зменшення транспортних втрат – зменшення логістичної складової у собівартості продукту.

5. Покращення екологічної, економічної, соціальної складової тощо [19].

Вирішення даних проблем в України можливе за рахунок будівництва нових магістралей, шляхопроводів, тунелів, мостів, терміналів, портів або розширення та вдосконалення існуючої інфраструктури. Також необхідна оптимізація управління транспортними потоками на базі впровадження сучасних технологій.

Найбільш важливою стадією при впровадженні елементів ІТС є планування. Дана стадія включає в себе дії, спрямовані на усунення ризику і мінімізацію наслідків його впливу: оцінку загрози; аналіз ризиків і обробку ризику. Досить часто помилки на даному етапі ведуть до незворотних негативних наслідків. Наприклад, при розробці проекту Даллас Грінуей (США) за підрахунками фахівців зростання попиту на даний маршрут передбачався на рівні 14 % за перші шість років. Вихідна оцінка – 34 000 транспортних засобів на добу, виявилася занадто оптимістичною. Фактична середня добова інтенсивність склала 11 500 транспортних засобів, що призвело до масштабних фінансових збитків проекту [20, 21]. Якщо розглядати окремо планування, то в останні роки набуло розповсюдження імітаційне моделювання транспортної системи міста.

Транспорт міст в розумінні різних верств суспільства за професійним і соціальним статусом несе на собі широкий спектр функціонального навантаження. Транспортна система міста може розглядатися як частина інформаційної системи, а цільовим критерієм функціонування міського транспорту вважати якість життя на території.

Завдання прогнозу завантаження транспортної мережі полягає в розрахунку усереднених характеристик руху, інтенсивності, розподіл пасажирів і автомобілів по шляхах руху та ін.

Імітаційне моделювання ставить перед собою мету відтворення всіх деталей руху, включаю розвиток процесу в часі. Імітаційні моделі дозволяють оцінити швидкості руху, затримки на перехрестях, довжину і динаміку утворення заторів, і інші характеристики.

Вирішуючи завдання вдосконалення організації дорожнього руху в окремому елементі вулично-дорожньої мережі міста, не можна орієнтуватися тільки на існуючі в ньому обсяги руху. Зміна в транспортній пропозиції неминуче призведе до зміни попиту на цю ділянку мережі або вузла інших учасників дорожнього руху. Для вирішення завдання організації дорожнього руху на окремому елементі або вузлу може бути використана імітаційна модель. Новий розподіл транспортного руху по мережі і зміна навантаження, і обсягу руху на цій ділянці знову вимагатиме коригувань організації дорожнього руху [22].

Якщо переходити від транспортного планування до організації руху на цих планувальних об’єктах, то можна також виділити ряд важливих питань, які актуальні в будь-якому великому українському місті. Науковці Клинковштейн Г. І., Афанасьєв М. Б., в своїй праці розглядали найбільш важливі питання пов’язані з цією темою [23].

Можна назвати три найважливіші характерні риси сучасних автомобільних перевезень, які викликають низький рівень безпеки [24**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]:

– недостатня забезпеченість автомобільного транспорту відповідно до своїх параметрів дорогами;

– недостатня ізоляція транспортних потоків від інших учасників дорожнього руху;

– невисокий середній рівень кваліфікації водіїв.

Істотні проблеми в плані безпеки руху виникають також у зв'язку з бажанням величезного числа людей стати водіями. У США практично все доросле населення має водійські посвідчення. У нашій країні щорічно отримують водійські посвідчення близько одного мільйона чоловік. Однак через відсутність розвиненої матеріально-технічної бази, брак кваліфікованих педагогів процес

підготовки нових водіїв не забезпечує формування у них необхідних навичок і знань [25].

Разом з цим при сучасному рівні розвитку автомобільної техніки надійність водія є вирішальним фактором безпеки руху. Напрямок автомобіля по заданій траєкторії, дотримання відповідних дистанцій та інтервалів між транспортними засобами, які рухаються, вирішення виникаючих на дорогі конфліктних ситуацій залежать в основному від водія.

На дорогах функціонує складна соціально-технічна система, що представляє собою сукупність, в якій беруть участь пішоходи, різні типи транспортних засобів і люди, яка в свою чергу називається дорожнім рухом [26].

Специфічні особливості та проблеми дорожнього руху обумовлені, перш за все, системою «водій - автомобіль - дорога - середовище руху» (ВАДС).

Цю систему можна представити у вигляді взаємопов'язаних компонентів ВАД, що функціонують в середовищі С. Крім того, в структурі системи можна виділити механічну підсистему АТ – «автомобіль-дорога» і біомеханічні підсистеми ВА – «водій – автомобіль» і ВД – «водій – дорога», а також підсистеми СВ, СА, СД [27]. У даній інтерпретації термін «середовище» охоплює пішоходів, а також погодно-кліматичні чинники (метеорологічну видимість, опади, вітер, температуру повітря). Середовище впливає на водія, автомобіль і дорогу в процесі їх взаємодії.

Стосовно до водія мова повинна йти про стан його здоров'я, ступеня стомленості, рівні підготовки, умінні приймати рішення в умовах дефіциту часу і правильно вибирати швидкість відповідно до умов руху.

Стосовно до автомобіля можна відзначити, що на безпеку руху істотно впливають його габаритні розміри, тягові і гальмівні якості, освітлення, зручність робочого місця водія, маневреність, елементи пасивної безпеки та ін.

Стосовно до дороги виділяють характеристики, такі як ширина проїжджої частини, коефіцієнт зчеплення і рівність покриття, геометричні параметри, стан узбіч, наявність і якість огорож та інших елементів інженерного обладнання.

Стосовно до середовища руху можна відзначити, що на безпеку руху впливають погодно-кліматичні умови, наявність пішоходів [28].

Наукові дослідження та практична інженерна діяльність в області організації руху дозволили накопичити широкий комплекс вимог до дорожнього будівництва і специфічних інженерних рішень, що дозволяють отримати бажаний ефект при масовому русі транспортних засобів і пішоходів.

Всі розробки різних методів організації руху мають тісний взаємозв'язок і навіть взаємопроникнення. Тому дуже складно створити чітку і незаперечну класифікацію цих методів. Проте, для систематизації знань науковцям необхідно узагальнити і класифікувати ці методи, хоча і дещо умовним способом.

Можна умовно виділити найбільш значущі методичні напрямки організації руху [29]:

– поділ руху в просторі;

– поділ руху в часі;

– формування однорідних транспортних потоків;

– оптимізація швидкісного режиму руху;

– рішення проблем організації руху пішоходів;

– рішення проблем тимчасових стоянок;

– впровадження автоматичних систем управління дорожнім рухом.

Проте різноманіття умов, в яких відбувається дорожній рух, різноманітний склад його учасників і транспортних засобів роблять необхідним вводити різні обмеження в режими руху за допомогою знаків, розмітки, світлофорів для досягнення необхідної швидкості і безпеки при відповідному рівні зручності. Наприклад, світлофорна сигналізація дозволяє виключити конфлікти на перехрестях між різними по напрямку транспортними потоками. Установка знаків пріоритету запобігає можливим ДТП через недотримання черговості руху на перехрестях доріг. Обмеження швидкості в населених пунктах є мірою захисту пішоходів і виключає тяжкі наслідки в разі ДТП.

В кінцевому підсумку заходи щодо організації дорожнього руху спрямовані на підвищення надійності системи транспорту і зведення до мінімуму можливих

помилок водія в оцінці умов руху [30].

Але помилки в роботі водія та організації дорожнього руху можуть становити лише малу частину проблем, які може потягти за собою неякісне транспортне планування окремого району міста.

Науковець Куфтинова Н.Г. в своїх статтях [31, 32] приводить задачі за допомогою яких можливе моделювання трафіка міста.

Як показує зарубіжний і вітчизняний досвід, проблема перевантаженості ВДМ в містах не може бути успішно вирішена за рахунок застосування окремих рішень по одному або декільком із зазначених вище напрямків. Міська ВДМ, що працює в режимі перевантаження, може бути приведена в режим «нормального» функціонування (тобто в режим, що забезпечує деякі задані показники якості дорожнього руху, такі, наприклад, як швидкість сполучення, гарантованість доставки та ін.) тільки за умови узгодженого застосування деякого пакета заходів по всім перерахованим напрямками [43]:

– вдосконалення містобудівного планування і підвищення ефективності містобудівної політики;

– будівництво та реконструкція дорожньої інфраструктури, поліпшення якості її ремонту та утримання;

– вдосконалення логістики та організації перевезень на вантажному автотранспорті;

– вдосконалення роботи громадського пасажирського транспорту;

– забезпечення дотримання правил дорожнього руху;

– вдосконалення організації дорожнього руху;

– реалізація паркувальної політики;

– введення обмежень на рух автотранспорту.

В області управління транспортними системами цікаві праці вітчизняних і зарубіжних вчених, що займалися проектуванням систем управління транспортними потоками [44]. У них розглядалися питання світлофорного регулювання на перехрестях, управління потоками на примиканнях другорядних доріг до магістралей.

З робіт, присвячених питанням розвитку транспортних систем міст, слід виділити [45], де детально викладено нові методи прогнозування транспортного попиту населення, обґрунтований рівень розвитку транспортних систем і їх комплексної оцінки, розкрито роль транспортних систем міст і регіонів у життєдіяльності суспільства, вплив транспортного каркаса на формування розселення, сформульовані пропозиції щодо вдосконалення нормативної бази розвитку транспортних систем. Необхідність в побудові масштабних транспортних моделей українських міст ще не набрала достатню гостроту. В цьому аспекті розвитку транспортної думки Україна відстає на 10-15 років від Європи, як, власне, і в розвитку автомобілізації.

Задовольнити попит на використання автомобіля в місті поки не вдалося ні в одному місті світу. Розвиток ВДМ (будівництво) вирішує короткочасні проблеми на ділянках і з плином часу стимулює обсяги транспортного руху і відновить попередній стан.

Перш ніж пропонувати конкретні організаційно-технічні заходи, необхідно представляти не тільки до чого це призведе після їх реалізації, а й навіщо це робити взагалі. Рішення таких завдань неможливе без моделювання процесів, що виникають при взаємодії існуючих транспортних мереж міст і їх споживачів [46].

Головне завдання всіх математичних моделей – заглянути в майбутнє, в той час, коли модельованого об'єкта ще немає, або створити умови, в яких цей об'єкт ще не був. Серед розмаїття математичних моделей, практично застосовуваних для аналізу транспортних мереж міст і регіонів, можна виділити три основні групи моделей: прогнозні, імітаційні, оптимізаційні моделі. У свою чергу, кожній групі моделей можна поставити певне коло вирішуваних завдань.

1.4 Організація руху транспорту при обслуговуванні підприємств міста

Обслуговування промислових та торгових підприємств міста в основному здійснюється автомобільним транспортом. З розвитком різноманітних галузей бізнесу, в торговельній сфері зростає потреба в дрібнопартійних перевезеннях вантажів широкої номенклатури великому числу споживачів. Дрібнопартійні

перевезення більш поширені у транспортних системи великих і середніх міст. Раніше при доставці різних вантажів критерієм ефективності було лише виконання плану перевезення, але у сучасних умовах головною метою є доставка вантажу потрібної кількості та якості у задане місце, у призначений час та з мінімальними витратами.

У теперішніх умовах управління на автомобільному транспорті немає чітко вибудуваної теорії для вирішення транспортних задач на рівні маршрутів. Залежно від технології виконання, розрізняють перевезення помашинні та дрібнопартійні перевезення [33].

При виконанні перевезень вантажів машинними відправками розрізняють човникові, кільцеві та радіальні схеми маршрутів. При доставці вантажів дрібними партіями маршрути бувають розвізні (продукція завантажується у одного постачальника і розвозить декільком споживачам), збірні (продукція завантажується у кількох постачальників і доставляється одному споживачеві) і збірно-розвізні (поєднання розвізного і збірного маршрутів), які є різновидом кільцевого маршруту [33, 34].

Актуальною проблемою при транспортному обслуговувані районів міста залишається питання удосконалення технології саме обслуговування та маршрутизації доставки дрібнопартійних вантажів в умовах великого міста з розгалуженою транспортною мережею.

Вирішення питання маршрутизації є необхідним для ефективного управління перевізним процесом. При формулюванні задачі важливою є роль усіх елементів транспортного процесу. Вибір маршрутів руху повинен здійснюватися з урахуванням багатьох факторів: масовості перевезень; розмірів перевезених партій вантажів; розташування відправників та одержувачів вантажів; типу й вантажопідйомності рухомого складу; термінів доставки вантажів; умов здійснення вантажно-розвантажувальних робіт. Також важливим елементом маршрутизації, на думку дослідників, є визначення траси маршруту на транспортній мережі [35].

Основними критеріями оцінки ефективності маршрутизації є пробіг і транспортна робота. Транспортна робота автотранспортного засобу, яка виконується за одиницю часу, являє собою продуктивність.

На практиці прийнято оцінювати роботу автомобіля у тонах і тонно-кілометрах. Однак у своїх роботах [33, 34, 36] професор А.І. Воркут стверджує, що при розвізних маршрутах робота в тонно-кілометрах не являється критерієм ефективності, тому що величина вантажообігу при такій технології доставки визначається послідовністю об'їзду пунктів завезення (вивезення) і вантажопідйомністю, від якої залежить кількість пунктів в маршруті. На основі експериментальних досліджень автор зробив висновок, що вибір оптимальної схеми перевезення при розвізних маршрутах не може ґрунтуватися на таких показниках, як коефіцієнт використання пробігу та динамічний коефіцієнт використання вантажопідйомності.

Удосконалення організації транспортного обслуговування підприємств міста шляхом дрібнопартійних перевезень передбачає рішення оптимізаційних задач. У загальному вигляді, завдання маршрутизації передбачає [34, 37]: відомі місцезнаходження вантажовідправників і вантажоодержувачів; обсяги вивезення і завезення вантажів; рухомий склад (РС); транспортна мережа, а також умови руху. Необхідно знайти такі впорядковані множини пунктів, пов'язаних між собою, які формують маршрути, а доставка вантажів по ним приводить до досягнення оптимального значення цільової функції.

На розвізних маршрутах фактичне завантаження автомобіля менше, через відвантаження партії вантажу в і-й пункт. Завдання маршрутизації являє собою складну математичну проблему, яку можна вирішувати за допомогою методів математичного моделювання. Необхідно визначити набір пунктів, які входять в цикл перевезень, а також знайти послідовність їх об'їзду. Математична задача знаходження порядку кільцевого маршруту визначається за допомогою задачі Комівояжера.

Задача Комівояжера – одна з найвідоміших задач комбінаторної оптимізації. Проблема вирішення цієї задачі вперше офіційно з'явилася в

наукових колах в 1832 році, проте оптимальні методи її вирішення почали з'являтися тільки в середині 20 століття, коли вона була представлена в якості завдання дискретної оптимізації. В умовах задачі вказуються критерій вигідності маршруту (найкоротший чи найдешевший) і відповідні матриці відстаней або вартості. Маршрут визнається оптимальним, якщо на ньому досягається критичне значення цільової функції в залежності від поставленої мети. Цільова функція повинна описувати зміни основного критерію оптимізації, в ролі якого можуть виражатися пробіг автомобіля, час руху, транспортна робота, транспортні витрати, тощо.

Задача Комівояжера відноситься до числа трансобчислювальних: при відносно невеликому числі пунктів (більше 66) вона не може бути вирішена методом перебору варіантів ніякими теоретично можливими комп'ютерами за час, менше кількох мільярдів років [38, 39].

Методи розв’язання задач оптимізації маршруту діляться на дві основні групи. Перша з них – точні методи, що гарантують об'єктивно оптимальні рішення. Друга – наближені методи, що дозволяють наблизитися до оптимального рішення з заданою точністю наближення [40].

За допомогою точних методів таких, як метод гілок та меж та методів цілочисельного лінійного і динамічного програмування можливо отримання оптимального значення цільової функції. Однак, точні методи припускають перебір великої кількості варіантів, тому для використання таких методів виникає необхідність у використанні персональних комп'ютерів [38**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 41, 42].

1.5 Постановка задач дослідження

Проаналізувавши викладений матеріал, можна зробити висновок, що автомобільний транспорт займає важливу роль у формуванні та розвитку економічної, політичної та соціальної складових країни. На сьогодні більша частка вантажних перевезень при коротких дистанціях припадає саме на

автотранспорт, що викликає необхідність у раціональній організації транспортного обслуговування.

Отже, підводячи підсумки аналітичної частини роботи можна підвередити актуальність теми організації руху та безпеки у будь-якому районі кожного міста. Конфліктні точки між пішоходами та водіями залишаються найбільш розповсюдженими і небезпечними транспортними конфліктами в місті. В свою чергу, в зменшенні кількості конфліктних точок між транспортом і пішоходами криються подальші значні резерви зменшення аварійності.

Реалізація методів організації дорожнього руху здійснюється за допомогою технічних засобів організації руху. До основних з них відносять: розмітку, напрямні пристрої, дорожні знаки і покажчики, елементи інженерного обладнання доріг, світлофори.

При організації процесу доставки продукції найважливішим є вибір маршруту руху, який повинен здійснюватися з урахуванням розмірів партій вантажів, розташування відправників та одержувачів, типу й вантажопідйомності рухомого складу. Транспортне обслуговування всередині міста виконується зазвичай за допомогою організації розвізних маршрутів, для яких характерні перевезення сировини та продукції підприємств міста.

2. АНАЛІЗ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ

Україна займає 52 місце в світі за щільністю автомобільних доріг (відношення довжини дорожньої мережі до площі території країни), останні роки цей показник змінювався не дуже суттєво і складає 28,1 *км/100км*^{2} [47].

У 2019 році за даними Центру транспортних стратегій Україна посіла в світовому рейтингу організації «Всесвітній економічний форум» 57 місце серед 141 країни за показником розвитку інфраструктури, 85 місце за показником конкурентоспроможності економіки країни та лише 114 місце за показником якості дорожньої інфраструктури [48] (дивись рисунок 2.1).

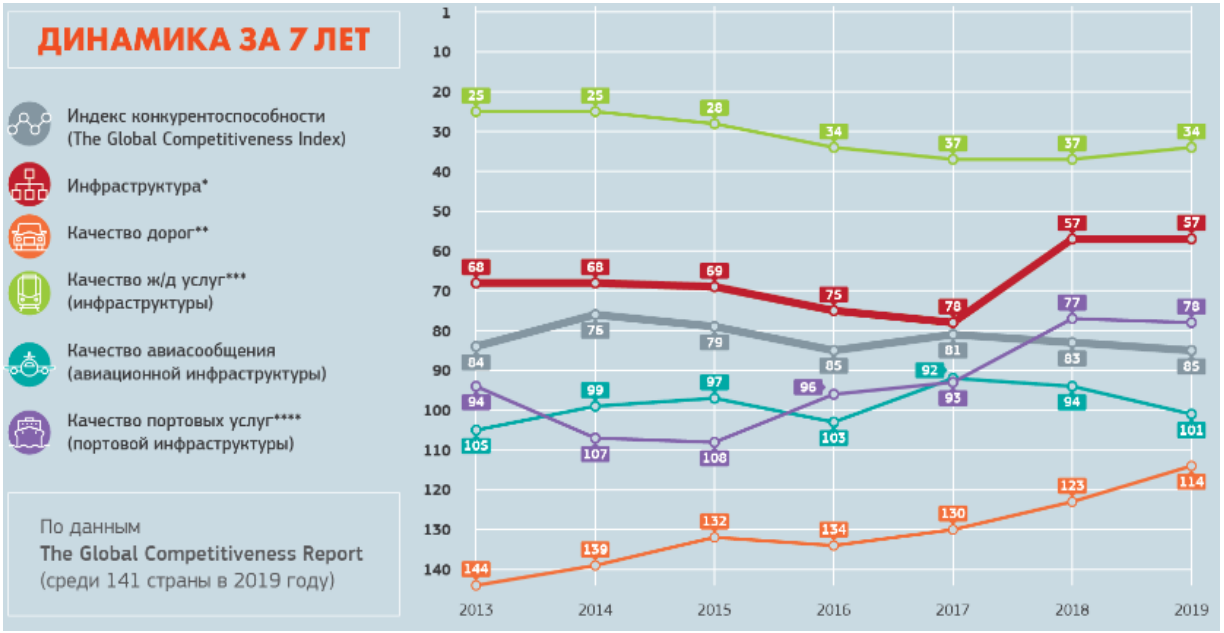


Рисунок 2.1 – Рейтинг інфраструктури України

Слід відмітити, що для дорожньої інфраструктури сучасне значення показника якості є найвищим за останні роки.

2.1 Аналіз пасажирських перевезень

Як інформує державне управління статистики [49], за період з січня по березень 2020 року всі види пасажирського транспорту в Україні показали зменшення обсягів перевезень, в середньому, на 16 % усіма видами транспорту. Це пов'язаноз припиненням всього міжнародного і міжміського пасажирського сполучення через карантин, що діє з березня. Слід зауважити, що в січні і лютому

обсяги перевезень на 2-3 % перевищували аналогічні показники за січень і лютий 2019 року.

В цілому пасажирооборот за три місяці становив 19,6 мільярдів пасажиро-кілометрів, що складає 83,7 % від аналогічного періоду 2019 року. Як ми бачимо з таблиці 2.1, залізниця показала найбільший спад перевезень - до 4,885 мільярда пасажиро-кілометрів (78,7% від 2019 г.) або 29,1 мільйона пасажирів.

Таблиця 2.1 – Пасажирські перевезення за видами транспорту у січні – березні 2020 р.

	Пасажирообіг		Перевезено пасажирів	
	млн.пас.км	у % до січня–березня 2019	млн	у % до січня–березня 2019
Транспорт	**19556,6**	**83,7**	**898,2**	**84,5**
залізничний[1]	4885,4	78,7	29,1	80,6
автомобільний	6990,7	86,4	383,4	84,2
водний	0,03	128,0	0,0	125,0
авіаційний	4612,8	84,5	2,0	82,7
трамвайний	805,5	89,4	137,1	90,2
тролейбусний	1195,0	87,2	207,4	85,9
метрополітенівський	1067,2	79,5	139,2	79,3

[1] З урахуванням перевезень міською електричкою.

На другому місці за збитками, які зазнали від карантину і повного припинення роботи, метрополітен у Києві, Харкові та Дніпрі - на метро перевезли 1,067 мільярда пасажиро-кілометрів (79,5%) або 139,2 млн. пасажирів.

Незвичайний приріст показав пасажирський водний транспорт, на якому було 0,03 млн. пасажиро-кілометрів з ростом у 128 % – ці цифри отримані за рахунок «евакуаційних» рейсів поромів з Грузії і Туреччини, на яких повернулося кілька тисяч українців.

Автобуси, трамваї і тролейбуси показали спад від 11 до 14% – так як в великих містах робота громадського транспорту не припинялася, але було введено режим «спеціальних перевезень».

Пасажирські перевезення авіаційним транспортом «скоротилася» до 84,5 % від показників минулого року. Справа в тому, що не дивлячись на заборону регулярних авіаперевезень, в кінці березня було виконано значну кількість «евакуаційних» авіарейсів.

2.2 Аналіз вантажних перевезень

У січні-червні 2020 року порівняно з аналогічним періодом минулого року в Україну з Євросоюзу на автотранспорті перевезено 2 895 тис. тонн вантажів, що на 0,9 % менше аналогічного періоду 2019 року, з України до Євросоюзу перевезено 3 012 тис. тонн вантажів (дивись рисунок 2.3), що на 3,6 % менше аналогічного періоду 2019 року [50].

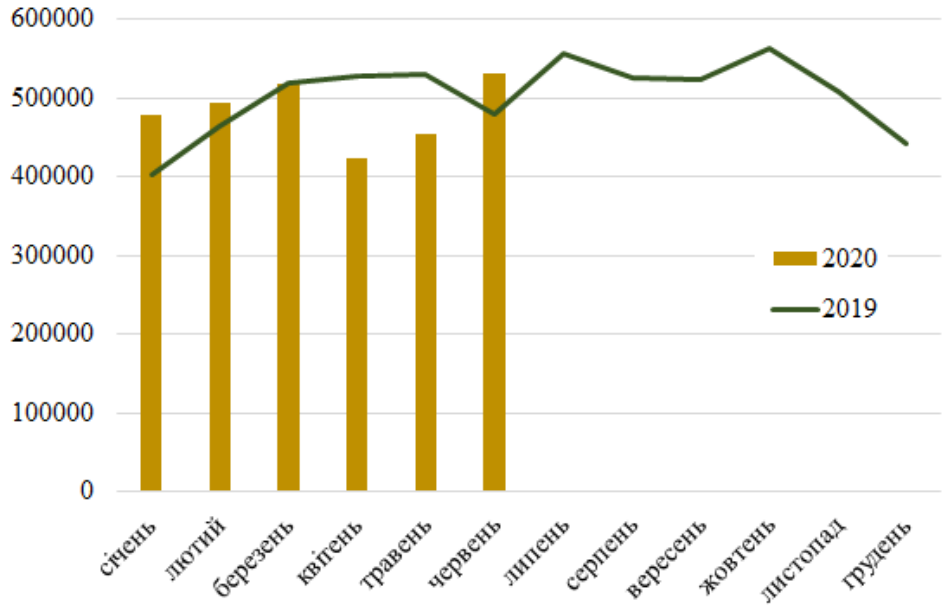


Рисунок 2.2 – Динаміка автомобільних перевезень з ЄС в Україну, 2019/2020 рр, тонн

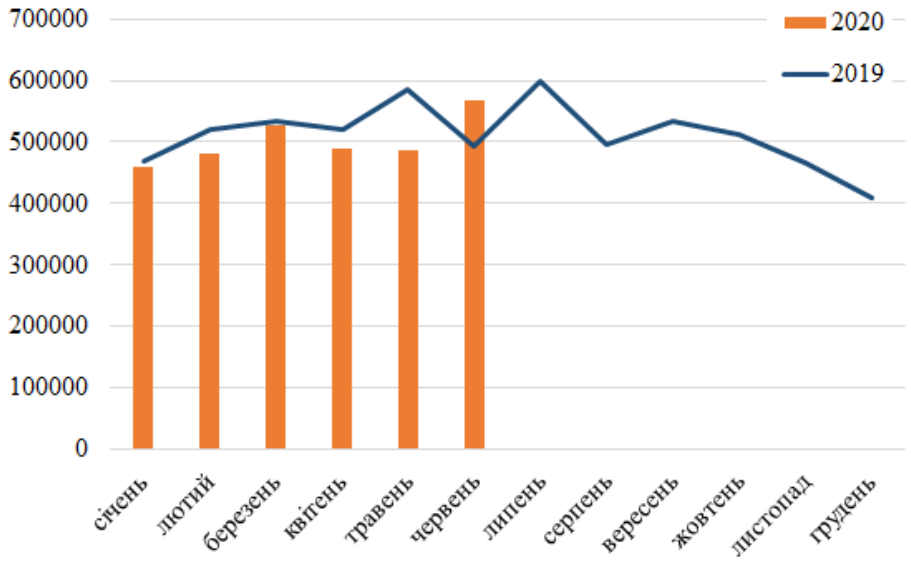


Рисунок 2.3 – Динаміка автомобільних перевезень з України в ЄС, 2019/2020 рр, тонн

Моніторинг ринку вантажоперевезень автомобільним транспортом в Україні показав зростання в 2016-2019 роках [51]. Головними факторами збільшення обсягу ринку були:

– підвищення оборотів вантажів в промисловості, будівництві та на ринку споживчих товарів;

– зростання експорту;

– відновлення купівельної спроможності населення.

У першій половині 2020 року об`єм міжнародних перевезень на ринку вантажоперевезень автомобільним транспортом в Україні скоротився на 26,1 % в порівнянні з аналогічним періодом минулого року (дивись рисунок 2.4). Скорочення пов'язане з падінням світової та української економіки через реакцію урядів на пандемію коронавируса.

Рисунок 2.4 – Динаміка міжнародних автомобільних перевезень, 2016/2020 рр, млн. тонн

Таку ситуацію на ринке автомобільних перевезень не виправило навіть зниження на 5 грн (21,8 %) ціни на літр палива за перші 5 місяців року.

За період 2010–2019 спостерігається коливання перевезення вантажів автомобільним транспортом [52] і з 2019 є тенденція на зниження обсягів (дивись

рисунок 2.5). Позитивним моментом сьогодення можна вважати збільшення кількості вантажовідправників, які обирають автомобільний транспорт через зростання тарифів залізничного транспорту та зношеність його рухомого складу.

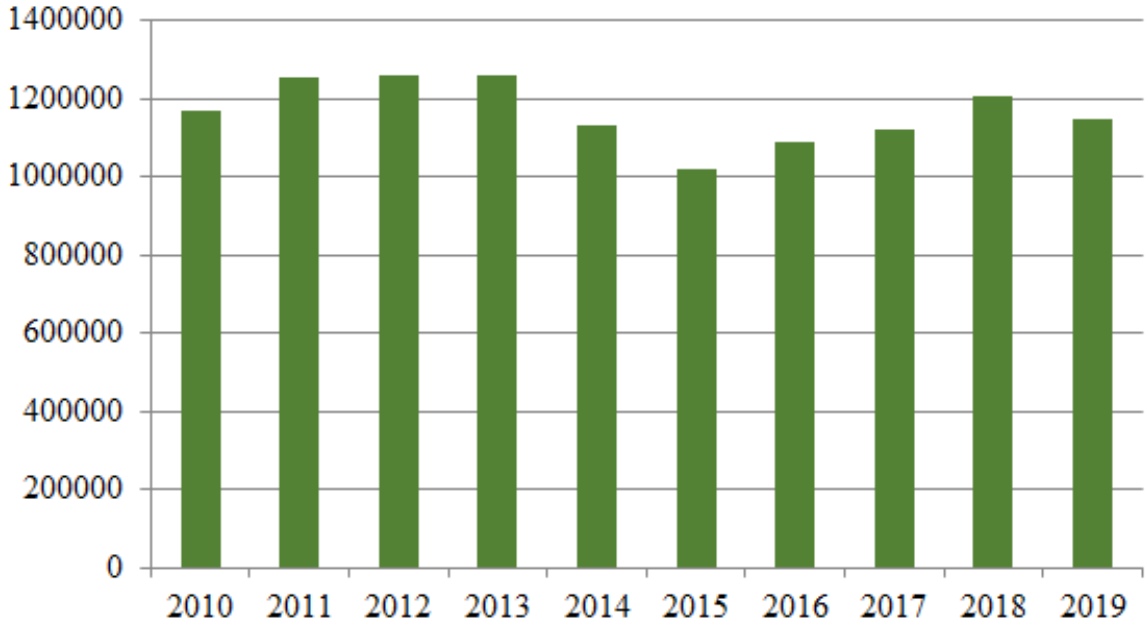


Рисунок 2.5 – Динаміка обсягів перевезення вантажів автомобільним транспортом, 2010–2019 рр, тис. тонн

На ринок вантажоперевезень впливають такі макроекономічні фактори:

– темпи і обсяги виробництва різноманітних товарів;

– тенденції розвитку оптової та роздрібної торгівлі в Україні;

– динаміка розвитку зовнішньої торгівлі;

– доходи населення;

– рівень цін, показники інфляції;

– політична ситуація в країні та світі.

За офіційною статистикою найбільшим постачальником логістичний послуг в Україні є залізничні перевезення – приблизно 60 % всього ринку перевезень. Така доставка теоретично вигідна при замовленнях на великі відстані при великих обсягах поставок. Але в Україні спостерігається значний знос інфраструктури і обладнання залізниць в цілому, що змушує керівництво постійно підвищувати ціни на свої послуги. При значній вартості залізничних перевезень замовники шукають альтернативні варіанти, а саме річкові та автомобільні вантажоперевезення.

В поточних тенденціях прогнозують збільшення кількості вантажоперевезень автотранспортом будь-якого розміру, включаючи негабаритні вантажі на далекі відстані, наприклад, в країни Євросоюзу. Однак існує багато факторів, які суттєво обмежують ринок автоперевезень. Наприклад, ліміт на масу автопоїзда до 40 тонн, прийняте в Україні. Також поточний істотний знос доріг посилюється при збільшенні тоннажності вантажоперевезень автотранспортом.

Всередині ринку є протиріччя між учасниками, які пов'язані з габаритно-ваговими контролем (ГВК) на автодорогах. Частина автоперевізників працює в рамках ГВК, але більшість не виконує ці умови. Найбільший обсяг перевезень вантажів з порушенням ГВК фіксується на аграрному ринку. Приблизно 60-65 % аграрної продукції автоперевізники перевозять з порушенням ГВК [53].

В цілому ринок автоперевезень залишається високо конкурентним - йде гостра тарифна боротьба за вантажну базу. У той же час автоперевізники слабо організовані, відсутні ефективні об'єднання і асоціації автоперевізників (за винятком міжнародних автоперевізників).

3. ВАРІАНТИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ

3.1 Поділ дорожнього руху в просторі

Для вирішення проблем проектування перехресть в одному рівні існує два основні методи організації дорожнього руху. Це поділ дорожнього руху в просторі і поділ руху в часі. Перший метод поділу є основним методом створення сприятливих і безпечних умов руху транспортних засобів.

3.1.1 Поділ дорожнього руху в просторі

Даний метод організації дорожнього руху має на увазі поділ транспортних, а також пішохідних потоків за напрямками по найбільш сприятливою і безпечної траєкторії. Метод добре застосовується до нерегульованих перехресть. Існує два прийоми поділу дорожнього руху в просторі: каналізування руху і введення одностороннього руху.

Каналізування руху – прийом поділу транспортних потоків поблизу перехрестя з допомогою технічного облаштування по траєкторії найбільш сприятливій з точки зору безпеки маневрування. Каналізування руху полегшує орієнтування водіїв на складних перехрестях або в місцях, де зайва площа призводить до хаотичності руху через довільнообираєму траєкторію руху, зі створенням численних точок потенційного конфлікту.

Планування каналізованих перетинів повинно відповідати таким вимогам: план перетинів повинен бути простим і зрозумілим, чітко виділяти напрямки руху автомобілів, забезпечуючи переважні умови і незмінну швидкість для транзитного руху дорогою більш високої категорії. Розташування острівців у плані має візуально запобігати можливості їх об'їзду зліва. Кількість острівців має бути мінімально необхідним. Конфігурація острівців повинна визначати кут маневрів, забезпечуючи перетин потоків руху під оптимальними для виконання відповідного маневру кутами.

Вплив каналізування перехресть на пропускну здатність доріг не досліджувався раніше.

Впровадження одностороннього руху вважається другим прийомом поділу руху в просторі. Він полягає в скороченні числа конфліктних точок і, перш за все, в усуненні конфлікту зустрічних транспортних потоків. Конфліктні точки зустрічного руху є найбільш небезпечними. Розвитком методу організації одностороннього руху на перетинах доріг стосовно перехресть і міських площ є введення на них кругового руху. Умови руху на кільцевих перетинах визначаються діаметром центрального острівця [54].

3.1.2 Поділ дорожнього руху в часі

Другий метод організації дорожнього руху – це поділ дорожнього руху в часі. Він полягає в реалізації широкого кола завдань, які охоплюють питання від регулювання руху на перехрестях до регулювання перевізних процесів для зниження пікової інтенсивності руху.

Виконання поділу транспортних потоків у часі відбувається за допомогою правил дорожнього руху, світлових сигналів світлофора та дорожніх знаків. Головним завданням методу є звести до мінімуму конфлікти при проїзді перетину. Найбільш стандартним способом є введення пріоритету на перехрестях. В силу збільшення інтенсивності руху, світлофорне регулювання вирішує проблеми з установкою пріоритету на перетину.

3.2 Метод порівняльного аналізу сучасних кругових розв'язок і традиційних перехресть

Серйозні труднощі в організації руху створюють так звані «пікові навантаження» – різкі збільшення інтенсивності руху (часто в 2–4 рази відносно середнього значення протягом доби) в ранкові та вечірні години доби, викликані початком і закінченням робочого дня.

Труднощі, пов'язані з пропуском транспортних потоків високої інтенсивності, посилюються великої кількістю пішохідних потоків, організація руху яких викликає набагато більші труднощі, ніж рух автомобілів. Близькість

пішохідних потоків до автомобільних і поєднання їх руху на одній вулиці є одними з основних причин дорожньо-транспортних пригод в містах. Їх число на 1 млн авт.-км в 10–12 разів більше, ніж на автомобільних дорогах.

Ці труднощі в сучасному місті вирішуються двома способами: організацією руху на існуючій системі вулиць і реконструкцією мережі, що дозволяє розділити транспортні потоки за їх функціональною ознакою, відокремити пішоходів від потоку автомобілів і забезпечити високу пропускну здатність вулиці.

Для вибору оптимального типу перетину автомобільних доріг в різний час пропонувалися і застосовувалися на практиці критерії: пропускна здатність перетину, величина транспортної затримки на перетині, а також займана площа і безпеку руху.

3.2.1 Безпека перехресть

Зниження швидкості транспортного потоку напряму пов'язано з безпекою всіх видів пересування.

Сигнальне регулювання є дієвим способом управління рухом, але, як правило, воно не класифікується як засіб зниження швидкості транспортного потоку [55]. Світлофори і знаки встановлюються тільки за необхідності в місцях з високим обсягом транспортних потоків, числом подій або іншими умовами. Світлофори і знаки керують рухом і збільшують безпеку, регулюючи пріоритет руху; вони не призначені для регулювання швидкості або підвищення пішохідного та велосипедного руху.

Кільцеві розв'язки мають переваги щодо зниження швидкості транспорту, змушують транспорт знижувати швидкість за мірою наближення до перетину. Перетин стає більш безпечним для всіх видів пересування, включаючи пішохідний і велосипедний. Дизайн сучасних кільцевих розв'язок передбачає відхилення на кожному в'їзді на перехрестя. Через це жоден транспортний засіб не може пройти перетин без зниження швидкості.

Дослідження Інститутом дорожньої безпеки 24 перехресть в США було встановлено що з заміною перетини зі знаком «СТОП» і зі світлофорним

регулюванням на сучасну кільцеву розв'язку, підвищується безпека перехрестя (дивись рисунок 3.1) [56].

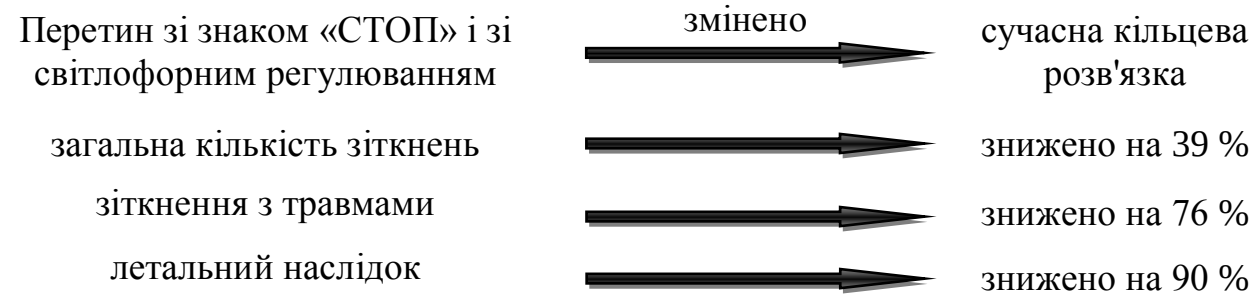


Рисунок 3.1 – Зміна безпеки після впровадження кільцевих розв'язок

Часто для збільшення пропускної здатності жвавих перехресть пропонується будівництво додаткових смуг руху. Практика багатьох країн показує, що збільшення кількості смуг руху на перехрестях веде до зростання числа ДТП. Норвезькі дослідження показують, що після розширення перехрестя кількість ДТП з пораненнями, в середньому, збільшується на 10 %, а кількість ДТП з матеріальними збитками вдвічі.

Наступними факторами підвищення безпеки при впровадженні кільцевих розв'язок є те, що:

– кільцева розв'язка знижує швидкість руху транспорту на перетині і створює більш гострі кути, а це призводить до менш сильних зіткнень з менш серйозними наслідками;

– кільцева розв'язка має менше конфліктних точок в порівнянні зі звичайним перехрестям;

– на кільцевій розв'язці неможливі лівобічні маневри, як на звичайному перехресті;

– кільцеві розв'язки покращують безпеку пішоходів у порівнянні зі звичайними перехрестями (менша дистанція переходу; перехід у дві стадії, по одній смузі за раз; менша швидкість руху транспорту, фізична огорожа від руху транспорту).

3.2.2 Пропускна здатність, час затримки і рівень обслуговування

Для вирішення даної проблеми було запропоновано підхід, заснований на аналізі пропускної здатності і безпеки руху на пересіченнях.

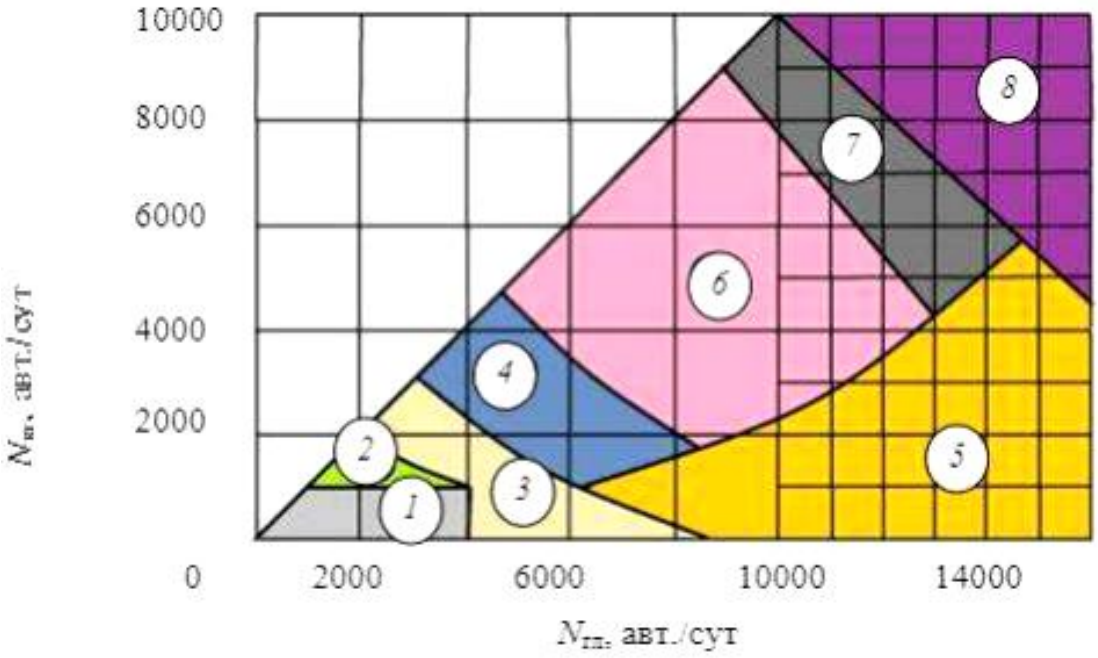
В результаті розроблена діаграма застосовностя різних видів планувальних рішень та наведено рекомендації щодо їх обладнання: облаштування острівців є необов'язковим при інтенсивності руху на другорядній дорозі менше 500 авт./добу та малої частки автомобілів, що повертають на головній дорозі; при інтенсивності руху понад 500 авт./добу як головним, так і по другорядни напрямком, і сприятливих умовах руху, рекомендується зробити розмітку проїзної частини головного напрямку і виділити острівці на другорядному напрямку; лівоповоротні смуги, як і напрямні острівці, додаються на головній дорозі в сприятливих умовах руху при інтенсивності другорядного напрямку понад 1750 авт./добу і понад 1000 авт./добу в несприятливих умовах; головний напрямок визначається за інтенсивністю руху. У несприятливих умовах при інтенсивності руху по другорядному напрямку понад 500-1000 авт./добу. і понад 800-1750 авт./добу в сприятливих необхідно або облаштування перетину в різних рівнях, або організація світлофорного регулювання. Для оцінки, існуючої або проектованої планування вузла необхідне знання таких показників, як можлива кількість автомобілів у черзі на другорядній дорозі і втрати часу транспортним потоком на пересічних дорогах [57].

Межі застосування різних типів планувальних рішень визначаються на підставі терміну окупності витрат [57–59] та подаються у вигляді номограм.

Граничне співвідношення інтенсивностей руху на дорогах,, що перетинаються, при яких доцільне застосування транспортних вузлів в одному рівні, трохи нижче, ніж пропускна здатність цих вузлів. Передбачається, що при інтенсивності руху, близькою до практичної пропускної здатності, втрати часу автомобілями досягають такої величини. Такий підхід в подальшому розвивався в Відомчі будівельні норми [60] (дивись рисунок 3.2).

Остаточний варіант планування перетину повинен обиратися на підставі техніко-економічного розрахунку величини сумарних витрат з урахуванням

будівельної вартості перетину, витрат на його ремонт і утримання, експлуатаційних і транспортних витрат по кожному варіанту, втрат від ДТП і вилучення земельних угідь.



1 - просте необладнане перетинання, 2 - частково каналізовані перетинанняу з направляючими острівками на другорядній дорозі; 3 - повністю каналізовані перетинання і примикання з направляючими острівцями на обох дорогах, перехідно-швидкісними смугами, розміткою проїзної частини; 4 - конкуруючі варіанти кільцевих перетинів; 5 - конкуруючі варіанти: кільцеві перетини, в різних рівнях і варіанти стадійного будівництва; 6 - конкуруючі варіанти перетинів: кільцеві з малими центральними острівцями і етапне розвиток; 7 - конкуруючі планувальні рішення: стадійний розвиток і в різних рівнях; 8 - перетини в різних рівнях.

Рисунок 3.2 – Номограма для вибору типу планувальних рішень

3.2.3 Вплив перехресть на навколишнє середовище

Перехрестя, регульовані світлофором або знаками, більш компактні, ніж кільцеві розв'язки подібних розмірів; тому вони часто є найбільш доцільним рішенням, особливо в міських умовах, коли прилегла територія може бути забудована.

Кільцеві розв'язки, як правило, займають велику площу, ніж перетину, регульовані світлофором. Коло і центральний острівець вимагають більшої площі, ніж прямокутний простір всередині традиційного перехрестя з чотирма

входами/виходами. Отже, спорудження кільцевої розв'язки більше впливає на місцевість, особливо якщо мова йде про вулиці місцевого значення, де місця для побудови кругової розв'язки може бути недостатньо.

Рівень шуму кільцевої розв'язки незначно відрізняється від рівня шуму традиційного перехрестя. Проте, такі властивості кільцевої розв'язки, як зниження швидкості транспортного потоку, можуть привести до зниження рівня шуму.

3.2.4 Витрати перехресть

Витрати на технічне обслуговування регульованих перехресть як правило включає витрати на електрику, детекторні шлейфи, світлофори, контролери, плани синхронізації, освітлення, і періодичну заміну знаків. Світлофор може вимагати не тільки витрат на технічне обслуговування, а й на можливий ремонт. Він також залежить від електроенергії і, отже, не може регулювати рух під час перебоїв в подачі електрики.

Будівництво кільцевої розв'язки коштує дорожче, ніж будівництво регульованого світлофором або знаками перехрестя. Велика вартість будівництва пов'язана з більшою займаною площею, яка за попередніми розрахунками може бути на 30 % більше, ніж площа традиційного перехрестя.

Незважаючи на те, що вартість спорудження кільцевої розв'язки перевищує номінальну вартість спорудження регульованого світлофором перехрестя, економічний аналіз життєвого циклу (будівництва, експлуатації, технічного обслуговування, поточного ремонту, аварійного функціонування), як правило демонструє, що коефіцієнт прибутковості кільцевої розв'язки вище, ніж у регульованого перехрестя .

3.2.5 Відповідність перехресть вимогам

Перетин зі знаком СТОП – найбільш поширений тип перетину. Він добре підходить для ділянок з низькою завантаженістю транспортом і відсутністю пробок. Перетин зі знаком СТОП не гарантує високого рівня безпеки, однак це недороге і широко застосовується рішення, особливо підходить міському середовищі. При збільшенні обсягу руху для того, щоб підтримувати високу

пропускну здатність і певний рівень безпеки перетин зі знаком СТОП може бути заміниней регульованим світлофорним перехрестям.

Першим пунктом планування будь-якого перетину завжди є аналіз попиту. Для будь-якого типу перетину попит завжди є ключовим параметром, за яким слід визначати найбільш доцільний варіант. Зазвичай кільцева розв'язка є найкращим варіантом, коли обсяг транспортних потоків помірно великі, або коли цей обсяг перевищує певний поріг, що диктуються типом перетину. Іноді кільцева розв'язка може бути обрана з міркувань підвищення безпеки перетину.

3.3 Розробка методики та порівняння сучасних кругових розв'язок і традиційних перехресть

При попередній розробці варіантів планувальних рішень, тип перетинів, з урахуванням наведеної інтенсивності руху на основний і другорядній дорозі, вибиратися з номограм. Для таких видів планувальних рішень перетинів застосовується існуюча або перспективна сумарна інтенсивність. Потоки поділяють на другорядний і головний рух. В реальних умовах розміри руху на дорогах не завжди однакові, часто істотньо відрізняються.

Методика передбачає, що при плануванні перетинів автомобільних доріг в одному рівні, має враховуватися завантаження кожного напряму. Методика повинна конкретизувати вибір способу регулювання перехрестя. Для реалізації методики необхідно визначити пропускну здатність перетинів і примикань в різних умовах завантаження.

Для визначення пропускної здатності перетину необхідно встановити розрахункову схему руху автомобілів вулицями, що перетинаються. Ця схема наведена на рисунку 3.3 і полягає в наступному: оскільки вулиці поділяються на головну і другорядну, і перевага в праві проїзду надано головній, автомобілі другорядного напрямку перетинають головний потік лише за наявності в ньому досить великих інтервалів.

Відповідно до даних спостережень проміжок в основному потоці $\Delta t_{гл}$ вважається достатнім для виконання маневру автомобілем другорядного

напрямку за умови, що $\Delta t_{гл} > \Delta t_{гр}$, де $\Delta t_{гр}$ – граничний інтервал між автомобілями в потоці на головній вулиці, при появі якого автомобіль, що очікує на другорядній вулиці, може виконати маневр перетинання або злиття.

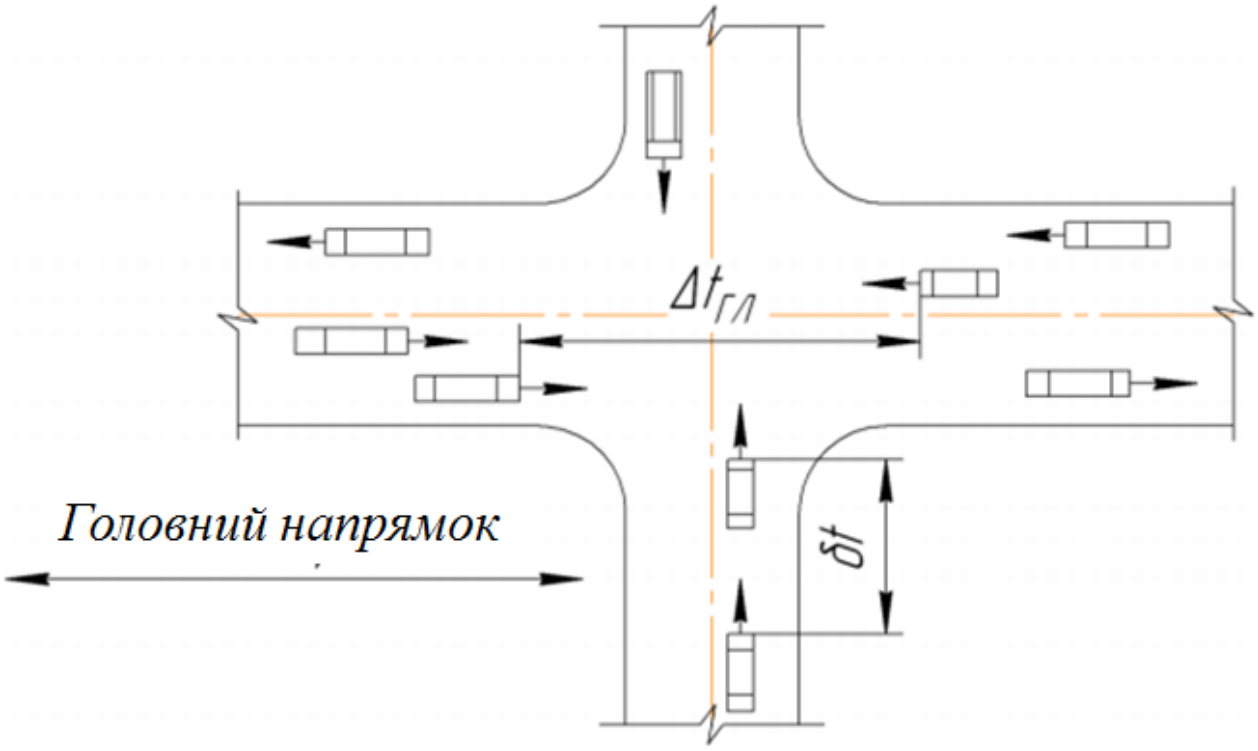
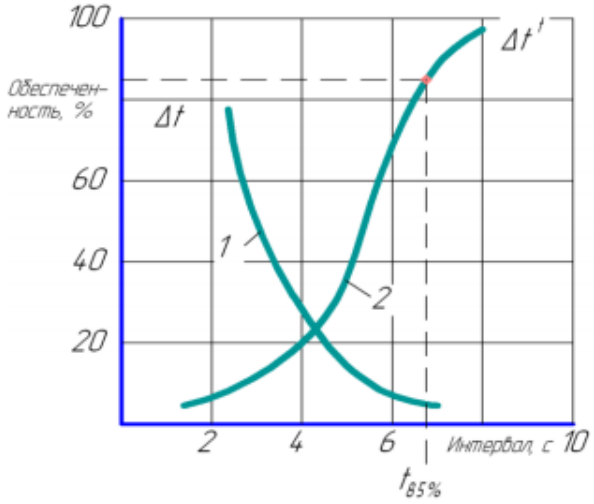


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема

Величина цього інтервалу визначається з умови, що він буде прийнятний більш ніж для 85 % водіїв наведений на рисунку 3.4 і дорівнює $\Delta t_{гр} = 6{,}5 c$.



1) відкинуті інтервали; 2) прийняті інтервали

Рисунок 3.4 – Визначення граничного інтервалу

У головному потоці є інтервали між автомобілями самої різної довжини, тому можуть з'являтися інтервали $\Delta t_{\text{гл}}$ в кілька разів більші, ніж $\Delta t_{\text{гр}}$. У цьому випадку за час одного проміжку зможуть пройти кілька автомобілів другорядного напрямку. Кількість автомобілів другорядної вулиці, що пройшли через основний потік протягом одного інтервалу $\Delta t_{\text{гл}}$, залежить від його тривалості.

Загальна кількість всіх автомобілів другорядного напрямку, які пройшли за час інтервалів $\Delta t_{\text{гл}} > \Delta t_{\text{гр}}$, дасть пропускну здатність перетину при заданій інтенсивності головного напрямку. Знаючи функцію розподілу інтервалів в основному потоці, можна визначити кількість інтервалів різної тривалості ($\Delta t_{\text{гл}}$) для пропуску *i*-ї кількості автомобілів і, отже, пропускну здатність другорядного напрямку:

$$P_{\text{вт}} = N \frac{e^{-m\Delta t_{\text{гр}}}}{1 - e^{-m\delta t}}. \qquad (3.1)$$

N – інтенсивність руху автомобілів по головній вулиці в двох напрямках, од/год.;

δt – інтервали між автомобілями, що виходять на перетин з другорядної вулиці, приймаємо згідно з Додатком А;

m – математичне очікування числа автомобілів в даному перетині в одиницю часу (в секунду), визначається за формулою

$$m = \frac{N}{3600} \qquad (3.2)$$

Рівні завантаження перетинів другорядного напрямку визначаються за формулою

$$Z = \frac{N_i}{N_{\text{вт}} \cdot \gamma} \qquad (3.2)$$

γ – коефіцієнт багатосмуговості.

Для розрахунку пропускної здатності і рівня завантаження проїзної частини

в перетині стоп-лінії регульованого вузла необхідно вибрати режим регулювання і кількість смуг проїзної частини. Для оцінки пропускної здатності вибираємо 2-тактне регулювання з однією смугою руху в кожному перетині. Для регульованих перетинів встановлені наступні параметри циклу роботи світлофора (тривалість): жовтого сигналу – 3 *с*, червоного сигналу – 60 і 28 *с*, зеленого сигналу – 57 і 25 *с* (дивись Додаток А). Регулювання 2-тактне. $T = 57 + 3 + 25 + 3 = 88$ *с*.

При розрахунку пропускної здатності прийняті два припущення:

1) всі автомобілі, що проходять через перехрестя, можуть затримуватися перед світлофором;

2) всі автомобілі після включення зеленого сигналу проходять через перехрестя з однаковою швидкістю і рівними інтервалами часу.

Виходячи з цього, для розрахунку пропускної здатності однієї смуги руху обрана формула

$$N_{\text{п}} = \frac{3600 \cdot (t_{\text{з}} - t_{\text{а}})}{T_{\text{ц}} \cdot t_{\text{п}}} \qquad (3.3)$$

$t_{\text{з}}$ – тривалість дозволяючого сигналу світлофора;

$t_{\text{а}}$ – відрізок часу між включенням зеленої фази світлофора і припиненням стоп-лінії першим автомобілем;

$t_{\text{п}}$ – інтервал часу між автомобілями при проходженні стоп лінії.

В цьому випадку пропускна здатність проїзної частини визначається за формулою

$$N_{\text{м}} = \eta \cdot N_{\text{п}} \qquad (3.4)$$

η – коефіцієнт, що враховує пропускну здатність смуги ліво-поворотного руху. Якщо в перерізі тільки одна смуга руху для всіх напрямків, то слід приймати $\eta = 0,6$.

Розрахована пропускна здатність кожного напрямку руху в перетинах порівнюється з фактичною інтенсивністю руху $N_{\text{факт}}$. Рівень завантаження

визначається за формулою

$$Z = \frac{N_{\text{факт}}}{N_{\text{м}}} \leq 0,8 - 0,9 \qquad (3.5)$$

Рівень завантаження не повинен перевищувати при 2-тактному регулюванні 0,9. Порушення цієї умови свідчить про вичерпання пропускної спроможності магістралі в перетині стоп-лінії або у вузлі в цілому.

Кільцевих саморегульованим вузлом називається такий вузол, в якому рух транспортних засобів здійснюється навколо центрального острівця в одному напрямку проти годинникової стрілки і на якому перетини транспортних потоків під кутом перетворені в злиття або відгалуження (дивись рисунок 3.5).

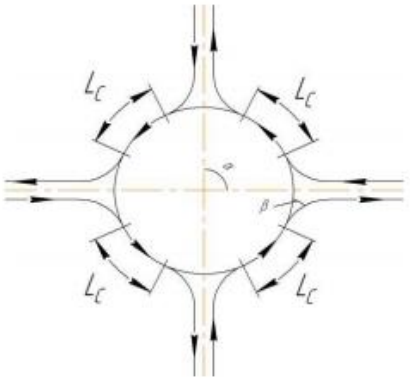


Рисунок 3.5 – Геометрична схема кільцевого саморегуюємого вузла

Частина кільцевого проїзду, на якому зливаються і розплітаються транспортні потоки і відбувається зміна смуги або напрямки руху, називається лінією злиття представлений на рисунку 3.6

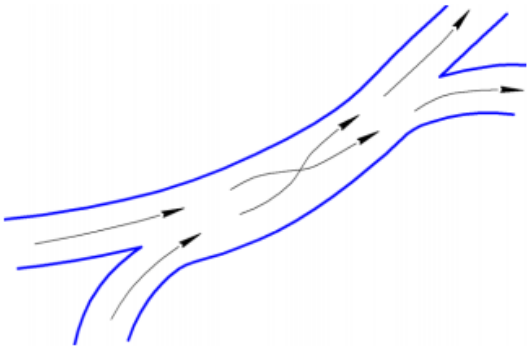


Рисунок 3.6 – Ділянка переплетіння транспортних потоків

Маневр переплетіння стає можливим, якщо в головному напрямку з'являються інтервали $\Delta t_{гл} > \Delta t_{гр}$. Максимальна пропускна здатність може бути отримана, якщо все інтервали $\Delta t_{гл} > \Delta t_{гр}$ будуть повністю використані. Знаючи закономірність розподілу інтервалів між автомобілями на головному напрямку, можна визначити кількість інтервалів $\Delta t_{гл} > \Delta t_{гр}$, а, отже, і пропускну здатність зони переплетіння за формулою

$$P_{сл} = M \frac{1 + e^{-m\Delta t_{гр}}}{1 - e^{-m\delta t}} \tag{3.6}$$

$P_{сл}$ – пропускна здатність лінії злиття;

M – інтенсивність руху головним напрямком (без правоповоротних потоків).

Пропускна здатність кільцевого вузла в цілому визначається за формулою

$$P_{кв} = 2 \cdot P_{сл} \cdot n \tag{3.7}$$

n – коефіцієнт, що враховує інтенсивність правоповоротного руху визначається за формулою

$$n = \frac{P + P_{п}}{P} \tag{3.8}$$

P – інтенсивність правоповоротного руху на вулицях, що впадають в вузол;

$P_{п}$ – повний обсяг руху на вулицях, що впадають в вузол

Розрахунок рівнів завантаження окремих перетинів і вузла в цілому зводиться в таблицю. За максимальну інтенсивність вважатимемо 100 % обираємо 1000 од/год по одній смузі в кожному напрямку (дивись Додаток А).

Для порівняння кругових розв'язок з трьома напрямками руху і традиційних Т-подібних перехресть обрані кілька варіантів, наведених в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Варіанти порівняння Т-подібних перехресть

Варіант	Інтенсивність руху на напрямку № 1	Інтенсивність руху на напрямку № 2	Інтенсивність руху на напрямку № 3
1	100 %	100 %	100 %
2	100 %	75 %	75 %
3	25 %	100 %	100 %
4	75 %	50 %	100 %
5	75 %	100 %	25 %

Схема Т-подібного перехрестя наведена на рисунку 3.7.

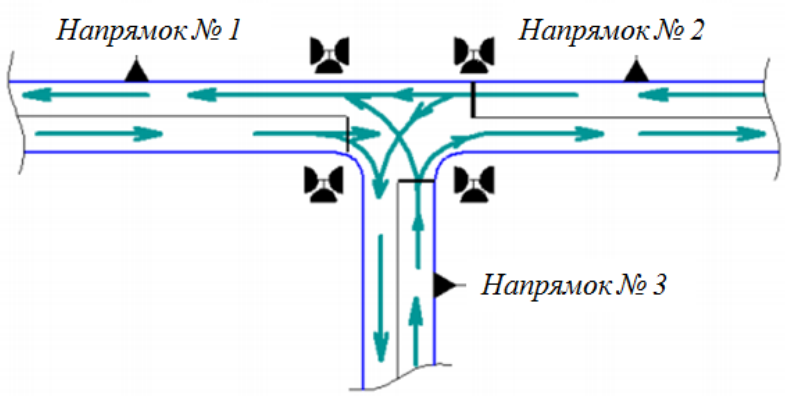


Рисунок 3.7 – Схема Т-подібного перехрестя

Схема кільцевого перетину трьох доріг наведена на рисунку 3.8, $\Delta t_{\text{гр}} = 7{,}0c$, інтервал між автомобілями $\delta t = 3{,}1c$, згідно з Додатком А.

Для порівняння кругових розв'язок з чотирма напрямками руху і традиційних Х-подібних перехресть обрані кілька варіантів, наведених в таблиці 3.2

Таблиця 3.1 – Варіанти порівняння Х-подібних перехресть

Варіант	Інтенсивність руху на напрямку № 1	Інтенсивність руху на напрямку № 2	Інтенсивність руху на напрямку № 3	Інтенсивність руху на напрямку № 4
1	100 %	100 %	100 %	100 %
2	100 %	75 %	75 %	75 %
3	25 %	100 %	100 %	50 %
4	75 %	50 %	100 %	50 %
5	75 %	100 %	25 %	75 %

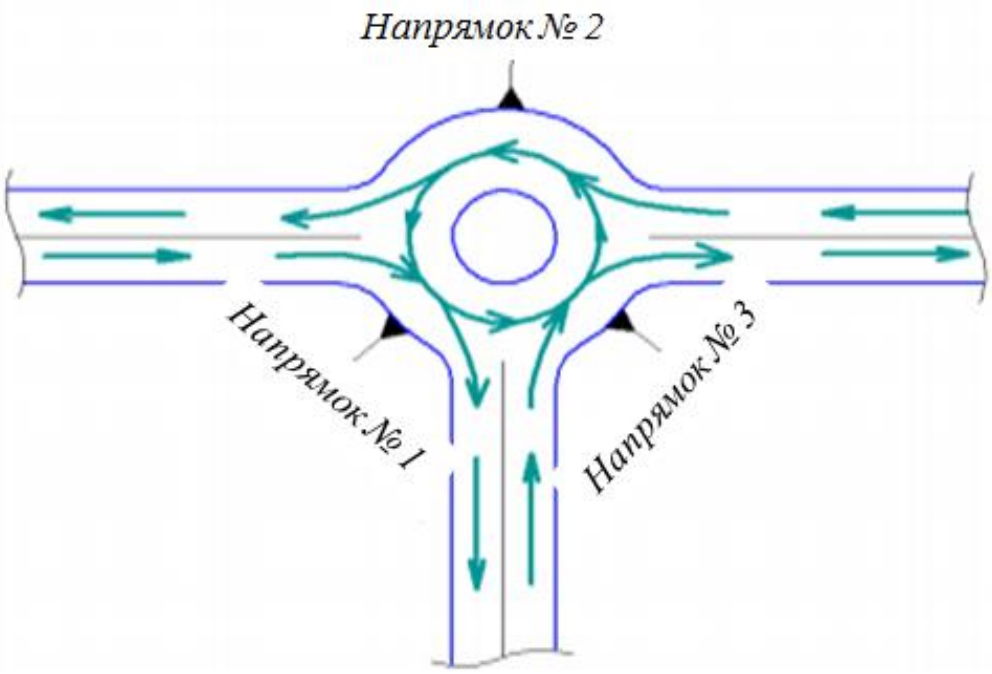


Рисунок 3.8 – Кільцевий перетин трьох доріг

Традиційне Х-подібне перехрестя представлене на рисунку 3.9.

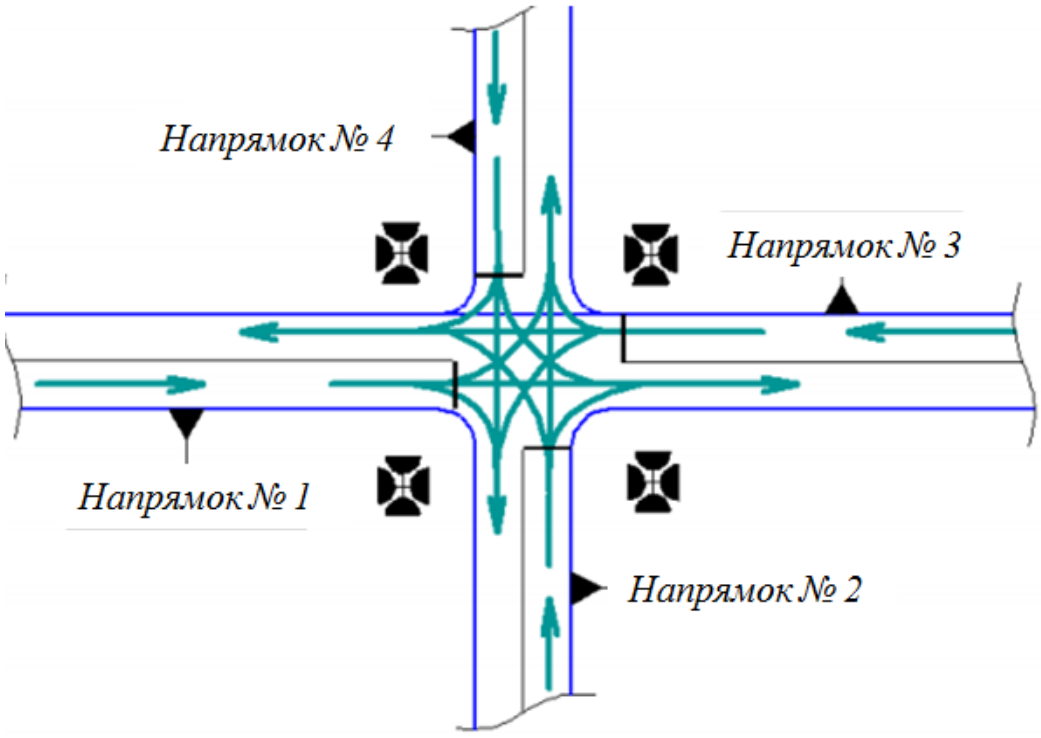


Рисунок 3.9 – Схема Х-подібного перехрестя

Схема кільцевого перетину чотирьох доріг наведена на рисунку 3.10, $\Delta t_{\text{гр}} = 7,0c$, інтервал між автомобілями $\delta t = 3,1c$, згідно з Додатком А.

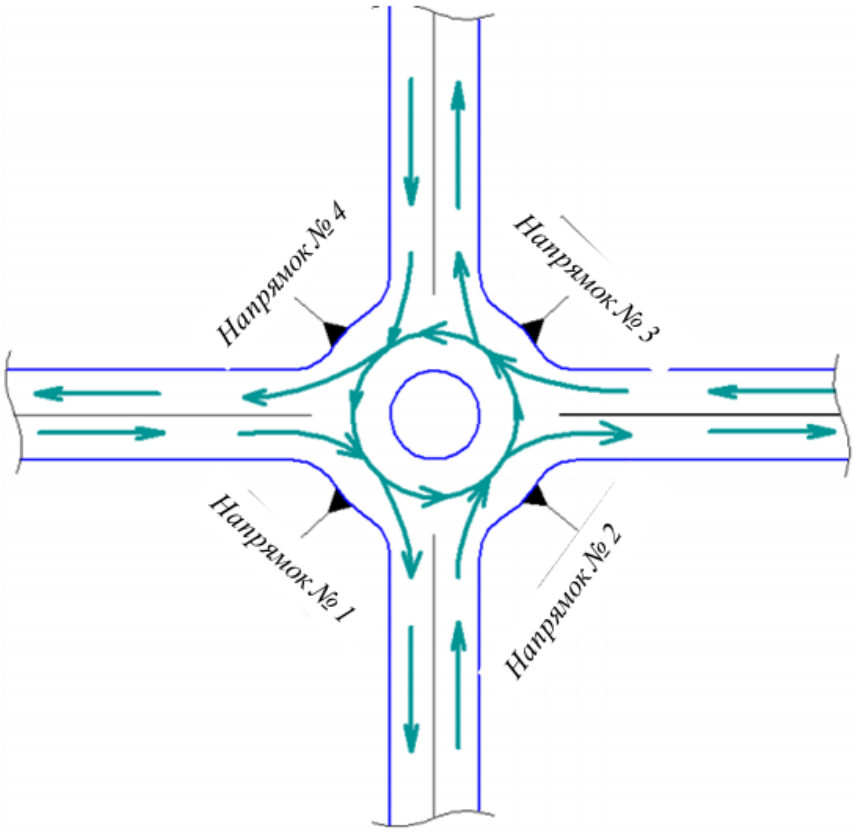


Рисунок 3.10 – Кільцевий перетин чотирьох доріг

Результати розрахунку пропускної здатності кожного варіанта представлені в таблицях 3.3 та 3.4.

Рівень завантаження не повинен перевищувати 0,9. Порушення цієї умови свідчить про вичерпання пропускної здатності магістралі в напрямку або в вузлі в цілому. Наведена методика порівняльної оцінки завантаження передбачає, що при плануванні перетинів автомобільних доріг в одному рівні, має враховуватися завантаження кожного напряму.

З результатів розрахунку видно, що кільцеві розв'язки працюють в більш збалансованих варіантах 1 і 2, навіть при високій інтенсивності. При варіантах 4 і 5 традиційні перехрестя є більш ефективними, і будуть рекомендуватися для вибору регулювання. Варіант 3 для кругових розв'язок з трьома напрямками руху більш ефективний ніж традиційний Т-подібне перехрестя, кільцева розв'язка більш збалансована, оскільки пропускні спроможність кожного перетину приблизно рівні. Для варіант 3 більш ефективне традиційне Х-оподібне перехрестя. Кільцеве регулювання не справляється з незбалансованим завантаженням.

Таблиця 3.3 – Порівняльная оцінка завантаження кільцевого перетину трьох доріг та Т-подібного перехрестя

Варіант	кільцевий перетин					Т-подібне перехрестя			
	напрямок	інтенсивність, *од/год*	мат. очікув. числа автомобілів, *од/год*	Пропускна здатність, *од/год*	Рівень завантаження	напрямок	інтенсивність, *од/год*	Пропускна здатність, *од/год*	Рівень завантаження
1	1	1 000	0,277	964	1,03	1	1 000	1125	0,88
	2	1 000	0,277	998	1,01	2	1 000	730	1,36
	3	1 000	0,277	930	1,07	3	1 000	730	1,36
	Підсумок	***3 000***		***2 892***	***1,03***	***Підсумок***	***3 000***	***2 585***	***1,16***
2	1	1 000	0,277	1199	0,83	1	1 000	1125	0,88
	2	750	0,208	847	0,88	2	750	730	1,02
	3	750	0,208	661	1,13	3	750	730	1,02
	Підсумок	***2 500***		***2 707***	***0,92***	***Підсумок***	***2 500***	***2 585***	***0,96***
3	1	250	0,069	434	0,57	1	250	510	0,49
	2	1 000	0,277	873	1,14	2	1 000	950	1,05
	3	1 100	0,277	1259	0,79	3	1 100	1125	0,88
	Підсумок	***2 250***		***2 566***	***0,87***	***Підсумок***	***2 250***	***2 585***	***0,87***
4	1	750	0,208	889	0,84	1	750	910	0,82
	2	500	0,138	518	0,96	2	500	730	0,68
	3	1 000	0,277	890	1,12	3	1 000	910	1,09
	Підсумок	***2 250***		***2 297***	***0,97***	***Підсумок***	***2 250***	***2 550***	***0,88***
5	1	750	0,208	538	1,39	1	750	1125	0,66
	2	1 000	0,277	1039	0,96	2	1 000	950	1,05
	3	250	0,069	352	0,71	3	250	510	0,49
	Підсумок	***2 000***		***1 929***	***1,03***	***Підсумок***	***2 000***	***2 585***	***0,77***

Таблиця 3.4 – Порівняльная оцінка завантаження кільцевого перетину чотирьох доріг та Х-подібного перехрестя

Варіант	кільцевий перетин					Х-подібне перехрестя			
	напрямок	інтенсивність, *од/год*	мат. очікув. числа авто, *од/год*	Пропускна здатність, *од/год*	Рівень завантаження	напрямок	інтенсивність, *од/год*	Пропускна здатність, *од/год*	Рівень завантаження
1	1	1 000	0,277	1 033	0,96	1	1 000	991	1,01
	2	1 000	0,277	1 027	0,97	2	1 000	853	1,17
	3	1 000	0,277	1 049	0,95	3	1 000	991	1,01
	4	1 000	0,277	1 075	0,93	4	1 000	853	1,17
	Підсумок	***4 000***		***4 184***	***0,95***	***Підсумок***	***4 000***	***3 624***	***1,10***
2	1	1 000	0,277	1 091	0,91	1	1 000	991	1,01
	2	750	0,208	813	0,92	2	750	853	0,87
	3	750	0,208	871	0,86	3	750	991	0,75
	4	750	0,208	980	0,76	4	750	853	0,87
	Підсумок	***3 250***		***3 755***	***0,86***	***Підсумок***	***3 250***	***3 624***	***0,89***
3	1	250	0,069	527	0,47	1	250	853	0,29
	2	1 000	0,277	1 061	0,94	2	1 000	991	1,01
	3	1 100	0,277	893	1,12	3	1 100	853	1,17
	4	750	0,208	832	0,90	4	750	991	0,75
	Підсумок	***3 000***		***3 313***	***0,90***	***Підсумок***	***3 000***	***3 624***	***0,82***
4	1	750	0,208	952	0,78	1	750	853	0,75
	2	500	0,138	708	0,70	2	500	991	0,58
	3	1 000	0,277	978	1,02	3	1 000	853	1,01
	4	500	0,138	506	0,98	4	500	991	0,58
	Підсумок	***2 750***		***3 144***	***0,87***	***Підсумок***	***2 750***	***3 624***	***0,75***
5	1	750	0,208	911	0,82	1	750	853	0,87
	2	1 000	0,277	1 124	0,88	2	1 000	991	1,01
	3	250	0,069	480	0,52	3	250	853	0,29
	4	500	0,138	645	0,77		500	991	0,50
	Підсумок	***2 500***		***3 160***	***0,79***	***Підсумок***	***2 500***	***3 624***	***0,68***

4. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТУ РУХУ АВТОТРАНСПОРТУ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ТОРГОВОЇ МЕРЕЖІ

Визначення оптимального маршруту доставки партій вантажу торговим точкам являє собою вирішення задачі Комівояжера, в основу якої покладено знаходження раціональної послідовності обходу точок графу. Дана задача вирішується за допомогою існуючих точних та наближених методів. Найпоширенішим серед точних методів є метод гілок та меж, який базується на складані «дерева» рішення.

Для вирішення задачі Комівояжера необхідно побудувати матриці відстаней, на основі яких буде відбуватися пошук оптимальних маршрутів доставки вантажу торговим точкам. Матриці відстаней для кожної торгової мережі будуються на базі схем розміщення точок, які наведені у додатку А. За допомогою картографічного сервісу *Google Maps* були знайдені відстані між всіма точками торгових мереж. При визначенні відстаней між точками враховувались пропускна здатність вулиць та напрямки руху транспортних потоків. Основним критерієм при складанні матриць відстаней торгових мереж була умова, що маршрут між двома окремими точками не повинен проходити через інші наявні точки мережі. Матриці відстаней торгових мереж наведені у додатку Б.

4.1 Вирішення задачі Комівояжера методом гілок та меж

4.1.1 Теоретичні відомості

Метод гілок та меж – це загальний алгоритмічний метод для знаходження оптимальних рішень різних задач оптимізації. Загальна ідея методу може бути описана на прикладі пошуку мінімуму функції $f(x)$ на множині допустимих значень змінної x. Для методу гілок та меж необхідні дві процедури: розгалуження (створення гілок) та знаходження оцінок (меж) [61, 62].

Комівояжер повинен об'їздити n пунктів. Для того щоб скоротити витрати, необхідно побудувати такий маршрут, щоб побувати у кожному пункті тільки по одному разу і повернутися у вихідний з мінімумом витрат [62, 63].

У термінах теорії графів завдання можна сформулювати наступним чином. Задано n вершин і матриця *{dij}*, де *dij* ≥ 0 – довжина ребра (*i, j*), 1 ≤ *i; j* ≤ *m*. Під маршрутом комівояжера *Z* необхідно розуміти цикл i_1, i_2, ..., i_n, точок 1, 2, .., *n*. Таким чином, маршрут є набором ребр. Якщо між пунктами *i* та *j* немає переходу, то в матриці ставиться символ «∞». Він обов'язково ставиться по діагоналі, що означає заборону на повернення в точку, через яку вже проходив маршрут Комівояжера, довжина маршруту *L(z)* дорівнює сумі довжин ребр, що входять в маршрут. Нехай *Z* – множина всіх можливих маршрутів. Початкова вершина i_1 - фіксована. Потрібно знайти маршрут $z_0 \in Z$, такий, що $L(z_0) = \min L(Z)$, $z \in Z$ [62, 63].

4.1.2 Алгоритм вирішення задачі

Основна ідея методу гілок і меж полягає в тому, що спочатку будують довільний план обходу пунктів та визначають верхню межу В довжин множини маршрутів *Z*. Верхня межа *B* – найкраще рішення, яке відоме на даний момент. Потім виконується спрямований перебір варіантів, на кожному кроці якого визначається нижня межа розв'язку *H* – найменше можливе значення показника при прийнятому на даному етапі порядку обходу вершин [62, 64].

Для визначення нижньої межі необхідно виконати редукцію матриці відстаней по рядках та стовпцях. Для цього в кожному рядку визначається мінімальний елемент d_i, який необхідно відняти від усіх елементів рядка і. Після цього подібна операція виконується зі стовпцями. В матриці, з якої відняли мінімальні елементи рядків, знаходять мінімальний елемент в кожному стовпці d_j та віднімається від елементів стовпця *j* [65, 64] .

Отримана матриця називається приведеною по рядках і стовпцях, де сума всіх віднятих чисел називається константою приведення. Константу приведення слід вибирати в якості нижньої межі довжини маршрутів [64, 66].

Нижня межа множини *H* визначається за формулою:

$$H = \sum d_i + \sum d_j \ , \qquad (4.1)$$

де H – нижня межа довжини маршрутів;

$\sum d_i$ – сума мінімальних елементів по рядках;

$\sum d_j$ – сума мінімальних елементів по стовпцях.

Далі необхідно додати до маршруту одне ребро. Для виділення претендентів до включення в множину ребр, за якими проводиться розгалуження, необхідно розглянути в приведеній матриці всі елементи, які рівні нулю. Для визначення такого ребра необхідно розрахувати ступінь нульових елементів Φ_{ij} (штрафи додаткових пробігів) цієї матриці. Штраф нульового елемента Φ_{ij} дорівнює сумі мінімального альтернативного елемента в рядку Аі та мінімального альтернативного елемента у стовпці *Bj* – мінімальні елементи за виключенням даного нульового. Штрафи нульового елемента визначаються для рядків та стовпців [62, 66].

Штраф додаткового пробігу, який виникає через виключення ребра (i – j), розраховується за формулою:

$$\Phi_{ij} = A_{ij} + B_{ij}, \tag{4.2}$$

де A_{ij} – альтернативний мінімальний елемент в рядку;

B_{ij} – альтернативний мінімальний елемент в стовпці.

З найбільшою ймовірністю до маршруту належать ті ребра, виключення якого максимально збільшить довжину маршруту [38, 66]. Надалі множина маршрутів розбивається на дві підмножини таким чином, щоб перша підмножина Z_{ij}^{1} складалася з маршрутів, що містить деяке ребро (i – j), а інша підмножина $Z_{ij}^{\overline{1}}$ не містить цього ребра. Для кожної з підмножин визначаються нижні межі по тому ж правилу, що і для початкової множини маршрутів – $H^{'}$ для ребра, що включається в маршрут, та $\overline{H^{'}}$ [64 – 66].

Для визначенні нижньої межі при виключені ребра необхідно скористуватися формулою:

$$\overline{H_{\bar{ij}}^{'}} = H + \Phi_{ij}, \tag{4.3}$$

де $\overline{H_{ij}^{'}}$ – нижня межа при виключенні ребра ($i - j$);

H – прийнята на даному етапі нижня межа матриці відстаней;

Φ_{ij} – штраф додаткового побігу при виключені ребра ($i - j$).

Щоб визначити нижню межу розв'язку, у який входить ребро (i – j) , необхідно викреслити з матриці відповідний рядок i та стовпець j. Щоб не допустити утворення циклу в маршруті, необхідно замінити елемент, який замикає поточний ланцюг, на нескінченність «∞» [38, 63, 64, 66]. Розрахунок нижньої межі при включенні ребра ($i - j$) $H^{'}$ проводиться за формулою:

$$H^{'} = H + \sum d_i + \sum d_j, \tag{4.4}$$

де $H^{'}$ – нижня межа при включенні ребра ($i - j$);

H – прийнята на даному етапі нижня межа матриці відстаней;

$\sum d_i$ – сума мінімальних елементів по рядкам матриці;

$\sum d_j$ – сума мінімальних елементів по стовпцям матриці.

Отримані нижні межі підмножин Z_{ij}^{1} і $Z_{ij}^{\overline{1}}$ не є меншими нижньої межі всієї множини всіх маршрутів, тобто $H(Z) \le H^{'}(Z_{ij}^{1})$, $H(Z) \le \overline{H_{\bar{i}\bar{j}}^{'}}(Z_{ij}^{\overline{1}})$. Порівнюючи нижні межі $H^{'}(Z_{ij}^{1})$ та $\overline{H_{\bar{i}\bar{j}}^{'}}(Z_{ij}^{\overline{1}})$, можна виділити підмножину маршрутів, яка з більшою ймовірністю містить маршрут мінімальної довжини [38, 63, 65, 66].

Потім одна з підмножин Z_{ij}^{1} або $Z_{ij}^{\overline{1}}$ за аналогічним правилом розбивається на дві нових Z_{ij}^{2} і $Z_{ij}^{\overline{2}}$. Для них знову відшукуються нижні межі $H^{'}(Z_{ij}^{2})$ і $\overline{H_{\bar{i}\bar{j}}^{'}}(Z_{ij}^{\overline{2}})$, і так далі. Процес розгалуження триває до тих пір, поки не знайдеться єдиний маршрут. Його називають першим рекордом [64, 66].

Потім переглядають альтернативні гілки. Якщо їх нижні межі більше довжини першого рекорду, то задача вирішена. Якщо ж є такі, для яких нижні межі менше, ніж довжина першого рекорду, то підмножина з найменшою нижньою межею піддається подальшому розгалуженню, поки не буде перевірено, що альтернативна гілка не містить кращий маршрут. Якщо такий знайдеться, то

аналіз альтернативних гілок триває відносно нового значення довжини маршруту. Його називають другим рекордом. Процес рішення закінчується, коли будуть проаналізовані всі підмножини [38, 63, 65, 66].

4.2 Визначення оптимального маршруту доставки вантажу ТМ-1А

Попередній маршрут розвезення партії вантажу по ТМ-1А згідно додатка А, має вигляд:

$$01А \rightarrow 9 \rightarrow 8 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 01А$$

На основі матриці відстаней, зазначеної у додатку Б, довжина маршруту обслуговування ТМ-1А при прийнятій схемі складає :

$$L_{м}^{1А} = 4,9 + 3,8 + 1,9 + 1,7 + 3,3 + 2,7 + 1,4 + 3,2 + 2,2 + 10,7 = 35,8 \; км$$

Отриманий результат являє собою верхню межу В = 35,8. Метою вирішення оптимізаційної задачі є покращення даного маршруту, тобто необхідно знайти таку послідовність об'їзду торгової мережі, при якому довжина маршруту обслуговування буде меншою ніж довжина маршруту обслуговування конкурентом АТП-1.

Для визначення нижньої межі множини необхідно виконати редукцію рядків. За формулою (4.1) необхідно знайти мінімальний елемент по рядках. У таблиці 4.1 показано матрицю із визначними мінімальними елементами по рядках. В матриці відстаней точка складу 01А позначена як 0, номери інших торгових точок співпадають із зазначеними номерами на схемах розміщення (див. Додаток А).

Далі необхідно виконати редукцію по рядках – відняти мінімальне значення рядка d_i з усіх елементів даного рядка. Після виконання операції редукції по рядках, наступним кроком у вирішенні є визначення мінімальних елементів по стовпцям за формулою (4.2). У таблиці 4.2 показано матрицю із зазначенням мінімального елемента по стовпцю.

Таблиця 4.1 – Матриця відстаней із мінімальними елементами по рядках

i / *j*	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	d_i
0	∞	2,8	5	9,8	9,9	4,7	6,6	4,7	7,8	4,9	2,8
1	3,6	∞	2,7	6,7	6,8	2,3	5,6	3,3	6,8	6,3	2,3
2	4,9	2	∞	5,2	3,8	1,4	5,3	4,7	8	7,7	1,4
3	10,7	6,7	4,9	∞	2	5	6	6,4	8,4	13,4	2
4	8,6	5,5	3,6	2,2	∞	3,6	3,4	4,6	6,1	8,3	2,2
5	5,6	2,5	1,5	4,4	3,2	∞	3,7	4,9	6,4	8,4	1,5
6	7	6,1	5,3	5,2	3,2	4	∞	1,7	2,2	5,4	1,7
7	5,6	3,3	5,5	7,5	5,5	5,1	1,7	∞	3,3	3,8	1,7
8	8,4	6,7	8,7	8,8	6,6	7,4	1,9	3,1	∞	2,4	1,9
9	3	5,5	7,6	11,8	9,3	7,3	4,2	2,9	3,8	∞	2,9

Таблиця 4.2 – Матриця відстаней із мінімальними елементами по стовпцям

i / *j*	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
0	∞	0	2,2	7	7,1	1,9	3,8	1,9	5	2,1
1	1,3	∞	0,4	4,4	4,5	0	3,3	1	4,5	4
2	3,5	0,6	∞	3,8	2,4	0	3,9	3,3	6,6	6,3
3	8,7	4,7	2,9	∞	0	3	4	4,4	6,4	11,4
4	6,4	3,3	1,4	0	∞	1,4	1,2	2,4	3,9	6,1
5	4,1	1	0	2,9	1,7	∞	2,2	3,4	4,9	6,9
6	5,3	4,4	3,6	3,5	1,5	2,3	∞	0	0,5	3,7
7	3,9	1,6	3,8	5,8	3,8	3,4	0	∞	1,6	2,1
8	6,5	4,8	6,8	6,9	4,7	5,5	0	1,2	∞	0,5
9	0,1	2,6	4,7	8,9	6,4	4,4	1,3	0	0,9	∞
d_j	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5

Аналогічно операції редукції по рядках виконуємо віднімання мінімальних елементів із кожного стовпця. Після виконання редукції по рядках та стовпцях, записуємо результат приведеної матриці у таблицю 4.3

За формулою (4.1) визначається константа приведення, яка дорівнює нижній межі для множини H:

$$H = 2,8 + 2,3 + 1,4 + 2 + 2,2 + 1,5 + 1,7 + 1,7 + 1,9 + 2,9 + 0,1 + 0,5 + 0,5 = 21,5$$

Таким чином, довжина маршруту доставки вантажу торговим точкам не може бути меншою за 21,5 км. На дереві пошуку рішення зображується вершина, на якій позначають нижню та верхню межу.

Таблиця 4.3 – Приведена матриця відстаней

i / j	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	d_i
0	∞	0	2,2	7	7,1	1,9	3,8	1,9	4,5	1,6	2,8
1	1,2	∞	0,4	4,4	4,5	0	3,3	1	4	3,5	2,3
2	3,4	0,6	∞	3,8	2,4	0	3,9	3,3	6,1	5,8	1,4
3	8,6	4,7	2,9	∞	0	3	4	4,4	5,9	10,9	2
4	6,3	3,3	1,4	0	∞	1,4	1,2	2,4	3,4	5,6	2,2
5	4	1	0	2,9	1,7	∞	2,2	3,4	4,4	6,4	1,5
6	5,2	4,4	3,6	3,5	1,5	2,3	∞	0	0	3,2	1,7
7	3,8	1,6	3,8	5,8	3,8	3,4	0	∞	1,1	1,6	1,7
8	6,4	4,8	6,8	6,9	4,7	5,5	0	1,2	∞	0	1,9
9	0	2,6	4,7	8,9	6,4	4,4	1,3	0	0,4	∞	2,9
d_j	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	**21,5**

Далі визначаємо ребро, яке необхідно включити у маршрут. Для цього необхідно знайти штрафи додаткових пробігів. У таблиці 4.4 показано знайдені альтернативні мінімальні елементи по рядках A_i та стовпцях B_j.

Таблиця 4.4 – Приведена матриця з альтернативами мінімальних елементів

i / j	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	d_i	A_i
0	∞	0	2,2	7	7,1	1,9	3,8	1,9	4,5	1,6	2,8	1,6
1	1,2	∞	0,4	4,4	4,5	0	3,3	1	4	3,5	2,3	0,4
2	3,4	0,6	∞	3,8	2,4	0	3,9	3,3	6,1	5,8	1,4	0,6
3	8,6	4,7	2,9	∞	0	3	4	4,4	5,9	10,9	2	2,9
4	6,3	3,3	1,4	0	∞	1,4	1,2	2,4	3,4	5,6	2,2	1,2
5	4	1	0	2,9	1,7	∞	2,2	3,4	4,4	6,4	1,5	1
6	5,2	4,4	3,6	3,5	1,5	2,3	∞	0	0	3,2	1,7	0
7	3,8	1,6	3,8	5,8	3,8	3,4	0	∞	1,1	1,6	1,7	1,1
8	6,4	4,8	6,8	6,9	4,7	5,5	0	1,2	∞	0	1,9	0
9	0	2,6	4,7	8,9	6,4	4,4	1,3	0	0,4	∞	2,9	0
d_j	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	**21,5**	0
B_j	1,2	0,6	0,4	2,9	1,5	0	0	0	0,4	1,6		

За формулою (4.2) визначаються штрафи додаткових пробігів, які утворюються при виключені ребра із маршруту:

$\Phi_{0\text{-}1} = 1,6 + 0,6 = 2,2$; $\Phi_{7\text{-}6} = 1,1 + 0 = 1,1$; $\Phi_{1\text{-}5} = 0,4 + 0 = 0,4$;

$\Phi_{8\text{-}6} = 0 + 0 = 0$; $\Phi_{2\text{-}5} = 0,6 + 0 = 0,6$; $\Phi_{8\text{-}9} = 0 + 1,6 = 1,6$;

$\Phi_{3\text{-}4} = 2,9 + 1,5 = 4,4$; $\Phi_{9\text{-}7} = 0 + 0 = 0$; $\Phi_{4\text{-}3} = 1,2 + 2,9 = 4,1$;

$\Phi_{5\text{-}2} = 1 + 0,4 = 1,4$; $\Phi_{6\text{-}7} = 0 + 0 = 0$; $\Phi_{9\text{-}0} = 0 + 1,2 = 1,2$;

$\Phi_{6\text{-}8} = 0 + 0{,}4 = 0{,}4$

Найбільший штраф додаткового пробігу становить $\Phi_{3\text{-}4} = 2{,}9 + 1{,}5 = 4{,}4$ при виключенні ребра (3 – 4) з маршруту доставки. Отже, множина розбивається на дві підмножини (3 – 4) та ($\overline{3-4}$). За формулою (4.3) розраховується нижня межа множини рішення, яка при виключенні ребра (3 – 4) становить :

$$\overline{H'_{3-4}} = 21{,}5 + 4{,}4 = 25{,}9$$

Включення ребра (3 – 4) до множини рішення проводиться шляхом викреслювання всіх елементів 3-го рядка та 4-го стовпця, а також необхідно замінити елемент $d_{4\text{-}3}$ на ∞, щоб уникнути утворення зустрічного пробігу. У таблиці 4.5 показано як відбувається включення ребра (3 – 4) до маршруту доставки вантажу.

Таблиця 4.5 – Операція включення ребра (3 – 4) до множини рішення

i / *j*	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
0	∞	0	2,2	7	7,1	1,9	3,8	1,9	4,5	1,6
1	1,2	∞	0,4	4,4	4,5	0	3,3	1	4	3,5
2	3,4	0,6	∞	3,8	2,4	0	3,9	3,3	6,1	5,8
3	~~8,6~~	~~4,7~~	~~2,9~~	~~∞~~	~~0~~	~~3~~	~~4~~	~~4,4~~	~~5,9~~	~~10,9~~
4	6,3	3,3	1,4	∞	∞	1,4	1,2	2,4	3,4	5,6
5	4	1	0	2,9	1,7	∞	2,2	3,4	4,4	6,4
6	5,2	4,4	3,6	3,5	1,5	2,3	∞	0	0	3,2
7	3,8	1,6	3,8	5,8	3,8	3,4	0	∞	1,1	1,6
8	6,4	4,8	6,8	6,9	4,7	5,5	0	1,2	∞	0
9	0	2,6	4,7	8,9	6,4	4,4	1,3	0	0,4	∞

В результаті включення ребра до множини рішення, отримаємо скорочену матрицю, розміром 9 на 9, яка підлягає операції приведення. У таблиці 4.6 показана скорочена матриця відстаней після операції приведення та із зазначенням мінімумів по рядках та стовпцях.

Нижня межа підмножини включення ребра (3 – 4) до маршруту за формулою (4.3) становить :

$$H'_{3-4} = 21{,}5 + 4{,}1 = 25{,}6$$

Оскільки $H'_{3-4} = 25,6 < \overline{H'_{3-4}} = 25,9$, то ребро (3 – 4) включається в маршрут. Нова нижня межа становить H = 25,6. На рисунку 4.1 зображено дерево пошуку після включення ребра (3 – 4).

Таблиця 4.6 – Скорочена матриця відстаней після операції приведення

i / *j*	**0**	**1**	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	d_i
0	∞	0	2,2	7	1,9	3,8	1,9	4,5	1,6	0
1	1,2	∞	0,4	4,4	0	3,3	1	4	3,5	0
2	3,4	0,6	∞	3,8	0	3,9	3,3	6,1	5,8	0
4	6,3	3,3	1,4	∞	1,4	1,2	2,4	3,4	5,6	1,2
5	4	1	0	2,9	∞	2,2	3,4	4,4	6,4	0
6	5,2	4,4	3,6	3,5	2,3	∞	0	0	3,2	0
7	3,8	1,6	3,8	5,8	3,4	0	∞	1,1	1,6	0
8	6,4	4,8	6,8	6,9	5,5	0	1,2	∞	0	0
9	0	2,6	4,7	8,9	4,4	1,3	0	0,4	∞	0
d_j	0	0	0	2,9	0	0	0	0	0	**4,1**

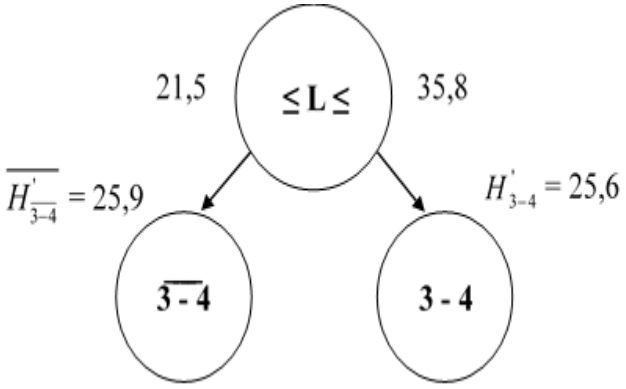


Рисунок 4.1 – Дерево пошуку після включення ребра (3 – 4)

Подальші розрахунки для пошуку рішення оптимального рішення задачі Комівояжера проводяться аналогічно за формулами (4.1) – (4.6). У таблицях 4.7 – 4.26 показані подальші етапи вирішення задачі Комівояжера.

$\underline{\Phi_{0-1} = 1,6 + 0,6 = 2,2;}$ $\Phi_{7-6} = 1,1 + 0 = 1,1;$ $\Phi_{1-5} = 1,6 + 0 = 1,6;$

$\Phi_{8-6} = 0 + 0 = 0;$ $\Phi_{2-5} = 0,6 + 0 = 0,6;$ $\Phi_{8-9} = 0 + 1,6 = 1,6;$

$\Phi_{4-6} = 0,2 + 0 = 0,2;$ $\Phi_{9-0} = 0 + 1,2 = 1,2;$ $\Phi_{5-2} = 0 + 0,2 = 0,2;$

$\Phi_{9-7} = 0 + 0 = 0;$ $\Phi_{5-3} = 0 + 0,6 = 0,6;$ $\Phi_{6-7} = 0 + 0 = 0;$

$\Phi_{6-8} = 0 + 0,1 = 0,1$

Нижня межа множини рішення при виключенні ребра (0 – 1) становить:

$$\overline{H'_{0-1}} = 21,6 + 2,2 = 27,8$$

Таблиця 4.7 – Матриця після редукції з викреслюванням ребра (0 – 1)

i / *j*	**0**	**1**	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	d_i	A_i
0	~~∞~~	~~0~~	~~2,2~~	~~4,1~~	~~1,9~~	~~3,8~~	~~1,9~~	~~4,5~~	~~1,6~~	0	1,6
1	1,2	∞	0,4	1,5	0	3,3	1	4	3,5	0	0,4
2	3,4	0,6	∞	0,9	0	3,9	3,3	6,1	5,8	0	0,6
4	5,1	2,1	0,2	∞	0,2	0	1,2	2,2	4,4	0	0,2
5	4	1	0	0	∞	2,2	3,4	4,4	6,4	0	0
6	5,2	4,4	3,6	0,6	2,3	∞	0	0	3,2	0	0
7	3,8	1,6	3,8	2,9	3,4	0	∞	1,1	1,6	0	1,1
8	6,4	4,8	6,8	4	5,5	0	1,2	∞	0	0	0
9	0	2,6	4,7	6	4,4	1,3	0	0,4	∞	0	0
d_j	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	
B_j	1,2	0,6	0,2	0,6	0	0	0	0,1	1,6		

Таблиця 4.8 – Матриця після включення ребра (0 – 1) до множини рішення

i / *j*	**0**	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	d_i
1	∞	0,4	1,5	0	3,3	1	4	3,5	0
2	3,4	∞	0,9	0	3,9	3,3	6,1	5,8	0
4	5,1	0,2	∞	0,2	0	1,2	2,2	4,4	0
5	4	0	0	∞	2,2	3,4	4,4	6,4	0
6	5,2	3,6	0,6	2,3	∞	0	0	3,2	0
7	3,8	3,8	2,9	3,4	0	∞	1,1	1,6	0
8	6,4	6,8	4	5,5	0	1,2	∞	0	0
9	0	4,7	6	4,4	1,3	0	0,4	∞	0
d_j	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Нижня межа підмножини при включенні ребра (0 – 1) становить:

$$H'_{0-1} = 25,6 + 0 = 25,6$$

Оскільки, $H'_{0-1} = 25,6 < \overline{H'_{0-1}} = 27,8$, то ребро (0 – 1) включаємо в маршрут рішення, нова нижня межа «дерева» рішення складає H = 25,6. На рисунку 4.2 показано дерево рішення після включення ребра (3 – 4) та (0 – 1) до множини рішення.

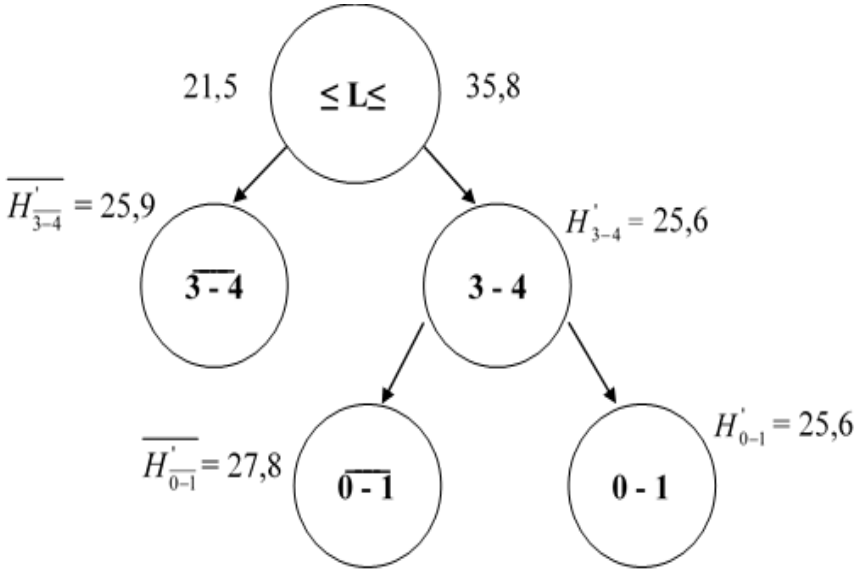


Рисунок 4.2 – Дерево пошуку після включення ребр (3 – 4) та (0 – 1) до множини рішення

Таблиця 4.9 – Матриця після редукції з викреслюванням ребра (9 – 0)

i / *j*	**0**	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	d_i	A_i
1	∞	0,4	1,5	0	3,3	1	4	3,5	0	0,4
2	3,4	∞	0,9	0	3,9	3,3	6,1	5,8	0	0,9
4	5,1	0,2	∞	0,2	0	1,2	2,2	4,4	0	0,2
5	4	0	0	∞	2,2	3,4	4,4	6,4	0	0
6	5,2	3,6	0,6	2,3	∞	0	0	3,2	0	0
7	3,8	3,8	2,9	3,4	0	∞	1,1	1,6	0	1,1
8	6,4	6,8	4	5,5	0	1,2	∞	0	0	0
9	0	4,7	6	4,4	1,3	0	0,4	∞	0	0
d_j	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	
B_j	3,4	0,2	0,6	0	0	0	0,4	1,6		

$\Phi_{1-5} = 0,4 + 0 = 0,4$; $\Phi_{7-6} = 1,1 + 0 = 1,1$; $\Phi_{2-5} = 0,9 + 0 = 0,9$;

$\Phi_{8-6} = 0 + 0 = 0$; $\Phi_{4-6} = 0,2 + 0 = 0,2$; $\Phi_{8-9} = 0 + 1,6 = 1,6$;

$\Phi_{5-2} = 0 + 0,2 = 0,2$; $\Phi_{9-0} = 0 + 3,4 = 3,4$; $\Phi_{5-3} = 0 + 0,6 = 0,6$;

$\Phi_{9-7} = 0 + 0 = 0$; $\Phi_{6-7} = 0 + 0 = 0$; $\Phi_{6-8} = 0 + 0,4 = 0,4$

Нижня межа множини «дерева» рішення при виключенні ребра (9 – 0) розраховується за формулою (4.3):

$$\overline{H'_{9-0}} = 25,6 + 3,4 = 29$$

Таблиця 4.10 – Матриця відстаней після включення ребра (9 – 0)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	d_i
1	0,4	1,5	0	3,3	1	4	3,5	0
2	∞	0,9	0	3,9	3,3	6,1	5,8	0
4	0,2	∞	0,2	0	1,2	2,2	4,4	0
5	0	0	∞	2,2	3,4	4,4	6,4	0
6	3,6	0,6	2,3	∞	0	0	3,2	0
7	3,8	2,9	3,4	0	∞	1,1	1,6	0
8	6,8	4	5,5	0	1,2	∞	0	0
d_j	0	0	0	0	0	0	0	**0**

Нижня межа підмножини при включенні ребра (9 – 0) становить:

$$H'_{9-0} = 25,6 + 0 = 25,6$$

Оскільки $H'_{9-0} = 25,6 < \overline{H'_{9-0}} = 29$, ребро (9 – 0) включається в маршрут рішення, нова нижня межа множини розв'язку дорівнює H = 25,6.

Таблиця 4.11 – Матриця після редукції з викреслюванням ребра (8 – 9)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	d_i	A_i
1	0,4	1,5	0	3,3	1	4	3,5	0	0,4
2	∞	0,9	0	3,9	3,3	6,1	5,8	0	0,9
4	0,2	∞	0,2	0	1,2	2,2	4,4	0	0,2
5	0	0	∞	2,2	3,4	4,4	6,4	0	0
6	3,6	0,6	2,3	∞	0	0	3,2	0	0
7	3,8	2,9	3,4	0	∞	1,1	1,6	0	1,1
~~**8**~~	~~6,8~~	~~4~~	~~5,5~~	~~0~~	~~1,2~~	~~∞~~	~~0~~	0	0
d_i	0	0	0	0	0	0	0	**0**	
B_j	0,2	0,6	0	0	1	1,1	1,6		

$\Phi_{1-5} = 0,4 + 0 = 0,4$; $\Phi_{7-6} = 1,1 + 0 = 1,1$; $\Phi_{2-5} = 0,9 + 0 = 0,9$;

$\Phi_{8-6} = 0 + 0 = 0$; $\Phi_{4-6} = 0,2 + 0 = 0,2$; $\Phi_{8-9} = 0 + 1,6 = 1,6$;

$\Phi_{5-2} = 0 + 0,2 = 0,2$; $\Phi_{5-3} = 0 + 0,6 = 0,6$; $\Phi_{6-7} = 0 + 1 = 1$;

$\Phi_{6-8} = 0 + 1,1 = 1,1$

Нижня межа множини рішення при виключенні ребра (8 – 9) становить:

$$\overline{H'_{8-9}} = 25,6 + 1,6 = 27,2$$

Таблиця 4.12 – Матриця відстаней після включення ребра (8 – 9)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	**8**	d_i
1	0,4	1,5	0	3,3	1	4	0
2	∞	0,9	0	3,9	3,3	6,1	0
4	0,2	∞	0,2	0	1,2	2,2	0
5	0	0	∞	2,2	3,4	4,4	0
6	3,6	0,6	2,3	∞	0	0	0
7	3,8	2,9	3,4	0	∞	1,1	0
d_j	0	0	0	0	0	0	**0**

Нижня межа підмножини при включенні ребра (8 – 9) становить:

$$H'_{8-9} = 25,6 + 0 = 25,6$$

Оскільки $H'_{8-9} = 25,6 < \overline{H'_{8-9}} = 27,2$, то ребро (8 – 9) включається в маршрут рішення, новою нижньою межею множини являється значення H = 25,6. Для того, щоб виключити наявність зустрічних пробігів, необхідно в матриці відстаней замінити значення ребра (1 – 8) на знак « ∞ ».

Таблиця 4.13 – Матриця відстаней після виконання операції редукції та з викреслюванням ребра (6 – 8)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	**8**	d_i	A_i
1	0,4	1,5	0	3,3	1	∞	0	0,4
2	∞	0,9	0	3,9	3,3	6,1	0	0,9
4	0,2	∞	0,2	0	1,2	2,2	0	0,2
5	0	0	∞	2,2	3,4	4,4	0	0
6	~~3,6~~	~~0,6~~	~~2,3~~	~~∞~~	~~0~~	~~0~~	0	0
7	3,8	2,9	3,4	0	∞	1,1	0	1,1
d_j	0	0	0	0	0	0	**0**	
B_j	0,2	0,6	0	0	1	1,1		

$\Phi_{1-5} = 0,4 + 0 = 0,4$; $\Phi_{7-6} = 1,1 + 0 = 1,1$; $\Phi_{2-5} = 0,9 + 0 = 0,9$;

$\Phi_{4-6} = 0,2 + 0 = 0,2$; $\Phi_{5-2} = 0 + 0,2 = 0,2$; $\Phi_{5-3} = 0 + 0,6 = 0,6$;

$\Phi_{6-7} = 0 + 1 = 1$; $\Phi_{6-8} = 0 + 1,1 = 1,1$

Нижня межа при виключенні ребра (6 – 8) з множини рішення становить:

$$\overline{H'_{6-8}} = 25,6 + 1,1 = 26,7$$

Таблиця 4.14 – Матриця відстаней після включення ребра (6 – 8) у маршрут

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	d_i
1	0,4	1,5	0	3,3	1	0
2	∞	0,9	0	3,9	3,3	0
4	0,2	∞	0,2	0	1,2	0
5	0	0	∞	2,2	3,4	0
7	3,8	2,9	3,4	0	∞	0
d_j	0	0	0	0	1	**1**

Нижня межа підмножини «дерева» рішення при включенні ребра (6 – 8) становить за формулою (4.4):

$$H'_{6-8} = 25,6 + 1 = 26,6$$

Оскільки $H'_{6-8} = 26,6 < \overline{H'_{6-8}} = 26,7$, в маршрут рішення включається ребро (6 – 8) та нова нижня межа множини «дерева» рішення дорівнює $H = 26,6$. Для запобігання наявності зустрічних пробігів, необхідно значення ребра (1 – 6) у приведеній матриці відстаней замінити на знак « ∞ » .

Таблиця 4.15 – Матриця відстаней після виконання операції редукції та з викреслюванням ребра (1 – 6)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	d_i	A_i
1	0,4	1,5	0	∞	0	0	0
2	∞	0,9	0	3,9	2,3	0	0,9
4	0,2	∞	0,2	0	0,2	0	0,2
5	0	0	∞	2,2	2,4	0	0
~~**7**~~	~~3,8~~	~~2,9~~	~~3,4~~	~~0~~	~~∞~~	0	2,9
d_j	0	0	0	0	0	**0**	
B_j	0,2	0,9	0	0	0,2		

$\Phi_{1-5} = 0 + 0 = 0$; $\Phi_{7-6} = 2,9 + 0 = 2,9$; $\Phi_{2-5} = 0,9 + 0 = 0,9$;

$\Phi_{4-6} = 0,2 + 0 = 0,2$; $\Phi_{5-2} = 0 + 0,2 = 0,2$; $\Phi_{5-3} = 0 + 0,9 = 0,9$

Нижня межа при виключенні ребра (7 – 6) розраховується за формулою (4.5):

$$\overline{H'_{7-6}} = 26,6 + 2,9 = 29,5$$

Таблиця 4.16 – Матриця відстаней після включення ребра (7 – 6)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**7**	d_i
1	0,4	1,5	0	0	0
2	∞	0,9	0	2,3	0
4	0,2	∞	0,2	0,2	0,2
5	0	0	∞	2,4	0
d_j	0	0	0	0	**0,2**

Нижня межа підмножини при включенні ребра (7 – 6) становить за формулою (4.6):

$$H'_{7-6} = 26,6 + 0,2 = 26,8$$

На даному етапі рішення, нижня межа підмножини включення ребра (7 – 6) більша за нижню межу підмножини рішення, при виключенні ребра (6 – 8) з множини «дерева» рішення. Тобто, $H'_{7-6} = 26,8 > \overline{H'_{6-8}} = 26,7$. Тому, необхідно виключити підмножину (7 – 6) з множини рішення оптимізаційної задачі. Гілка (7 – 6) подальшому розгалуженню не підлягає. Необхідно повернутися до гілки ($\overline{6-8}$) та виконувати подальше розгалуження «дерева рішення». Новою нижньою межею множини рішення становиться нижня межа підмножини ($\overline{6-8}$) , яка дорівнює $H = \overline{H'_{6-8}} = 26,7$.

Щоб повернутися до розгалуження гілки ($\overline{6-8}$), необхідно повернутися до матриці відстаней, яка зазначена в табл. 4.13, та замінити значення ребра (6 – 8) на знак « ∞ » для виключення даного ребра з множини «дерева» рішення.

Таблиця 4.17 – Матриця відстаней після виключення ребра (6 – 8)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	**8**	d_i
1	0,4	1,5	0	3,3	1	∞	0
2	∞	0,9	0	3,9	3,3	6,1	0
4	0,2	∞	0,2	0	1,2	2,2	0
5	0	0	∞	2,2	3,4	4,4	0
6	3,6	0,6	2,3	∞	0	∞	0
7	3,8	2,9	3,4	0	∞	1,1	0
d_j	0	0	0	0	0	1,1	**1,1**

Таблиця 4.18 – Приведена матриця відстаней з викреслюванням ребра (6 – 7)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	**7**	**8**	d_i	A_i
1	0,4	1,5	0	3,3	1	∞	0	0,4
2	∞	0,9	0	3,9	3,3	5	0	0,9
4	0,2	∞	0,2	0	1,2	1,1	0	0,2
5	0	0	∞	2,2	3,4	3,3	0	0
6	~~3,6~~	~~0,6~~	~~2,3~~	~~∞~~	~~0~~	~~∞~~	0	0,6
7	3,8	2,9	3,4	0	∞	0	0	0
d_j	0	0	0	0	0	0	**0**	
B_j	0,2	0,6	0	0	1	1,1		

$\Phi_{1\text{-}5} = 0,4 + 0 = 0,4;$ $\Phi_{7\text{-}6} = 1,1 + 0 = 1,1;$ $\Phi_{2\text{-}5} = 0,9 + 0 = 0,9;$

$\Phi_{4\text{-}6} = 0,2 + 0 = 0,2;$ $\Phi_{5\text{-}2} = 0 + 0,2 = 0,2;$ $\Phi_{5\text{-}3} = 0 + 0,6 = 0,6;$

$\Phi_{6\text{-}7} = 0 + 1 = 1;$ $\Phi_{6\text{-}7} = 0,6 + 1 = 1,6$

Нижня межа при виключенні ребра (6 – 7) з множини рішення за формулою (4.5) становить:

$$\overline{H'_{6-7}} = 26,7 + 1,6 = 28,3$$

Таблиця 4.19 – Матриця відстаней після включення ребра (6 – 7) до множини рішення

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	**8**	d_i
1	0,4	1,5	0	3,3	∞	0
2	∞	0,9	0	3,9	5	0
4	0,2	∞	0,2	0	1,1	0
5	0	0	∞	2,2	3,3	0
7	3,8	2,9	3,4	∞	0	0
d_j	0	0	0	0	0	**0**

При цьому, нижня межа підмножини включення ребра (6 – 7) за формулою (4.6) становить:

$$H'_{6-7} = 26,7 + 0 = 26,7$$

Оскільки $H'_{6-7} = 26,7 < \overline{H'_{6-7}} = 28,3$ ребро (6 – 7) включається в маршрут рішення. Нова нижня межа складає H = 26,7. На рисунку 4.3 зображено дерево пошуку рішення після включення ребра (6 – 7) до гілки рішення ($\overline{6-8}$).

Таблиця 4.20 – Матриця після редукції з викреслюванням ребра (7 – 8)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	**8**	d_i	A_i
1	0,4	1,5	0	3,3	∞	0	0,4
2	∞	0,9	0	3,9	5	0	0,9
4	0,2	∞	0,2	0	1,1	0	0,2
5	0	0	∞	2,2	3,3	0	0
7	~~3,8~~	~~2,9~~	~~3,4~~	∞	~~0~~	0	2,9
d_j	0	0	0	0	0	**0**	
B_j	0,2	0,9	0	2,2	1,1		

$\Phi_{1\text{-}5} = 0{,}4 + 0 = 0{,}4$; $\Phi_{2\text{-}5} = 0{,}9 + 0 = 0{,}9$; $\Phi_{4\text{-}6} = 0{,}2 + 2{,}2 = 2{,}4$;

$\Phi_{5\text{-}2} = 0 + 0{,}2 = 0{,}2$; $\Phi_{5\text{-}3} = 0 + 0{,}9 = 0{,}9$; $\Phi_{7\text{-}8} = 2{,}9 + 1{,}1 = 4$

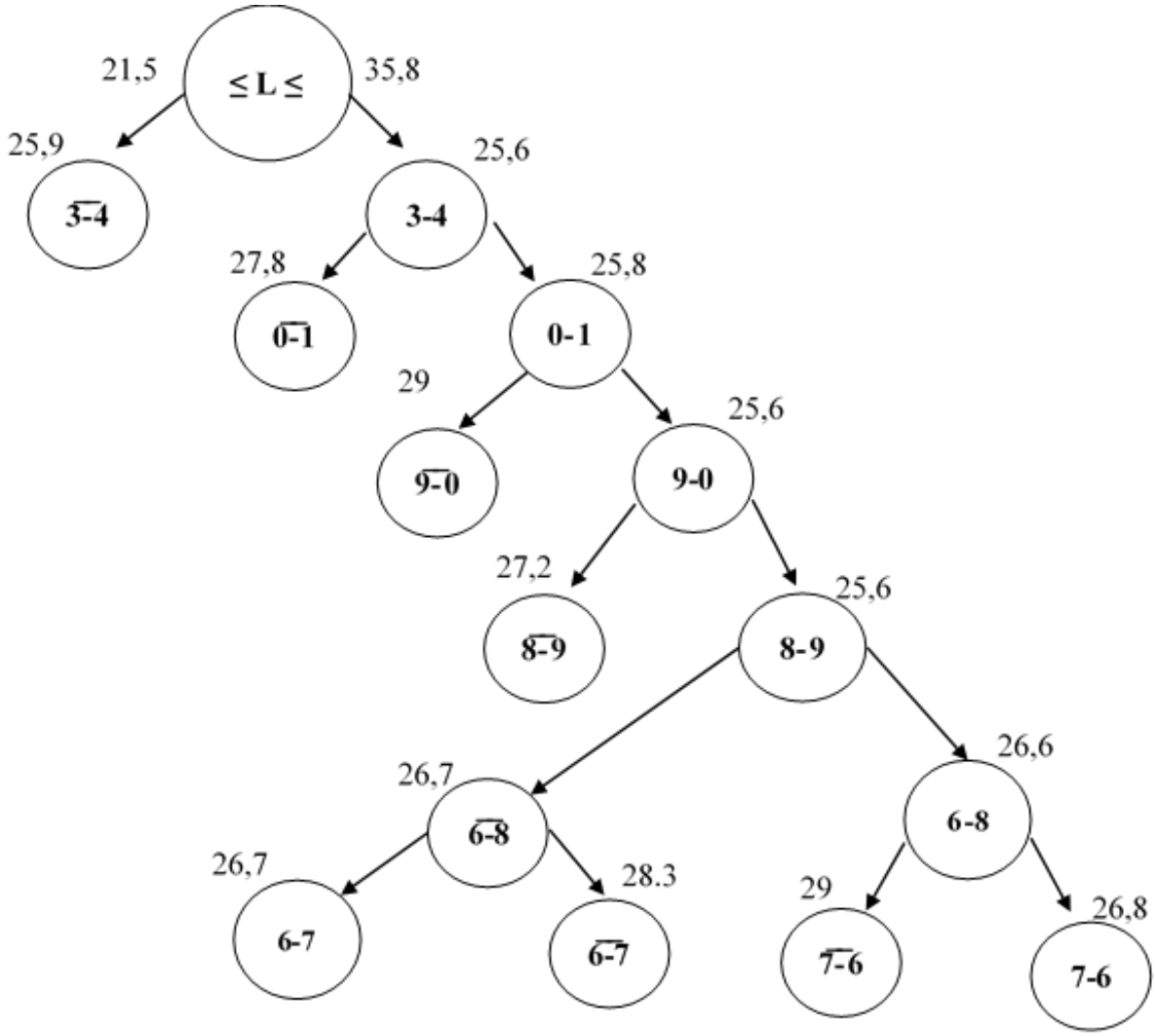


Рисунок 4.3 - Дерево пошуку після включення ребра (6 – 7) до гілки рішення ($\overline{6-8}$)

Нижня межа при виключенні ребра (7 – 8) з множини рішення становить:

$$\overline{H'_{7-8}} = 26,7 + 4 = 30,7$$

Таблиця 4.21 – Матриця відстаней після включення ребра (7 – 8)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	d_i
1	0,4	1,5	0	3,3	0
2	∞	0,9	0	3,9	0
4	0,2	∞	0,2	0	0
5	0	0	∞	2,2	0
d_j	0	0	0	0	**0**

Нижня межа підмножини при включенні ребра (7 – 8) до «дерева» рішення становить:

$$H'_{7-8} = 26,7 + 0 = 26,7$$

Оскільки $H'_{7-8} = 26,7 < \overline{H'_{7-8}} = 30,7$, включається в маршрут ребро (7 – 8) з новою нижньою межею H = 26,7. Щоб виключити наявність зустрічних пробігів, необхідно виключити ребро (1 – 6) з множини рішення, для цього значення даного ребра замінюємо на знак « ∞ » у приведеній матриці відстаней..

Таблиця 4.22 – Приведена матриця відстаней з викреслюванням ребра (4 – 6)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	**6**	d_i	A_i
1	0,4	1,5	0	∞	0	0,4
2	∞	0,9	0	3,9	0	0,9
4	~~0,2~~	~~∞~~	~~0,2~~	~~0~~	0	0,2
5	0	0	∞	2,2	0	0
d_j	0	0	0	0	**0**	
B_j	0,2	0,9	0	2,2		

$\Phi_{1-5} = 0,4 + 0 = 0,4$; $\Phi_{2-5} = 0,9 + 0 = 0,9$; $\Phi_{4-6} = 0,2 + 2,2 = 2,4$;

$\Phi_{5-2} = 0 + 0,2 = 0,2$; $\Phi_{5-3} = 0 + 0,9 = 0,9$

Нижня межа при виключенні ребра (4 – 6) з множини рішення становить:

$$\overline{H'_{4-6}} = 26,7 + 2,4 = 29,1$$

Нижня межа підмножини при включенні ребра (4 – 6) становить:

$$H'_{4-6} = 26,7 + 0 = 26,7$$

Таблиця 4.23 – Матриця при включені ребра (4 – 6) до «дерева» рішення

i / *j*	**2**	**3**	**5**	d_i
1	0,4	1,5	0	0
2	∞	0,9	0	0
5	0	0	∞	0
d_j	0	0	0	**0**

Оскільки $H'_{4-6} = 26,7 < \overline{H'_{4-6}} = 29,1$, включається в маршрут ребро (4 – 6). Нова нижня межа множини дорівнює H = 26,7. Щоб виключити наявність зустрічних пробігів, необхідно виключити ребро (1 – 3) з множини рішення.

Таблиця 4.24 – Матриця відстаней після виконання операції редукції з викреслюванням ребра (5 – 3)

i / *j*	**2**	**3**	**5**	d_i	A_i
1	0,4	∞	0	0	0,4
2	∞	0,9	0	0	0,9
5	0	0	∞	0	0
d_j	0	0	0	**0**	
B_j	0,2	0,9	0		

$\Phi_{1-5} = 0,4 + 0 = 0,4$; $\Phi_{2-5} = 0,9 + 0 = 0,9$; $\Phi_{5-2} = 0 + 0,2 = 0,2$;

$\Phi_{5-3} = 0 + 0,9 = 0,9$

Нижня межа при виключенні ребра (5 – 3) становить:

$$\overline{H'_{5-3}} = 26,7 + 0,9 = 27,6$$

Таблиця 4.25 – Матриця відстаней після включення ребра (5 – 3)

i / *j*	**2**	**5**	d_i
1	0,4	0	0
2	∞	0	0
d_j	0,4	0	**0,4**

Нижня межа підмножини при включенні ребра (5 – 3) становить:

$$H'_{5-3} = 26,7 + 0,4 = 27,1$$

Оскільки нижня межа підмножини включення ребра (5 – 3) є меншою за нижню межу підмножини виключення цього ребра $H'_{5-3} = 27,1 < \overline{H'_{5-3}} = 27,6$, то

ребро (5 – 3) включається в маршрут з новою нижньою межею H = 27,1.

Таблиця 4.26 – Приведена матриця відстаней

i / *j*	**2**	**5**	d_i
1	0	0	0
2	∞	0	0
d_j	0,4	0	**0,4**

Відповідно до матриці з таблиці 4.27, включаємо в Гамільтонів маршрут ребра (2 – 5) і (1 – 2).

На рисунку 4.4 показано «дерево» пошуку рішення маршруту транспортного обслуговування ТМ-1А.

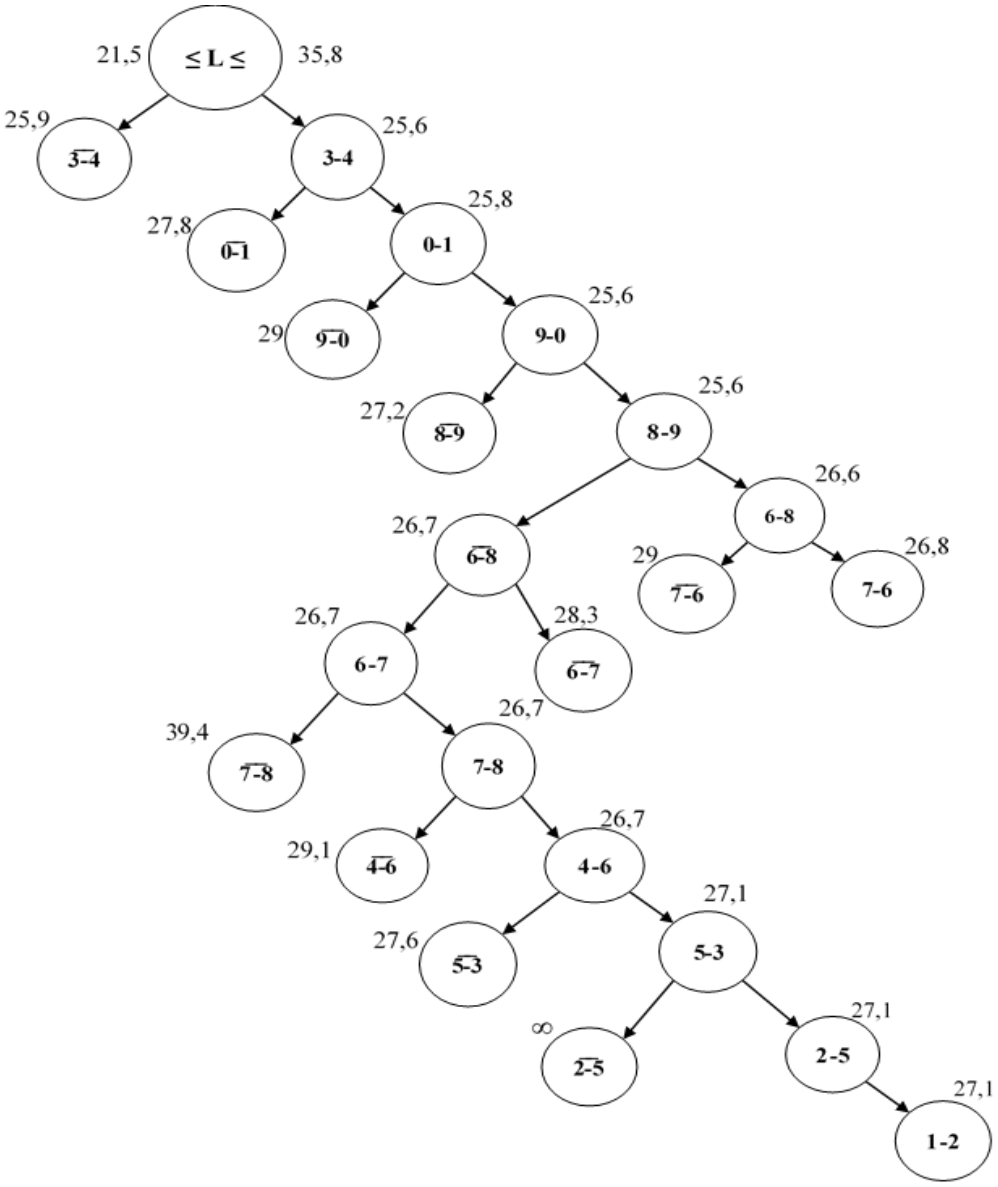


Рисунок 4.4 – Дерево пошуку рішення оптимального маршруту обслуговування торгових точок мережі ТМ-1А

В результаті проведених розрахунків, оптимальний маршрут доставки вантажів утворюють ребра:

(3 – 4), (4 – 6), (6 – 7), (7 – 8), (8 – 9), (9 – 0), (0 – 1), (1 – 2), (2 – 5), (5 – 3)

Оптимальний маршрут доставки дрібнопартійного вантажу торгової мережі ТМ-1А складається з послідовного об’їзду точок:

$$0^{1A} \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 0^{1A}$$

На рисунку 4.5 зображений маршрут доставки вантажу до торгових точок мережі ТМ-1А на карті міста Дніпро.

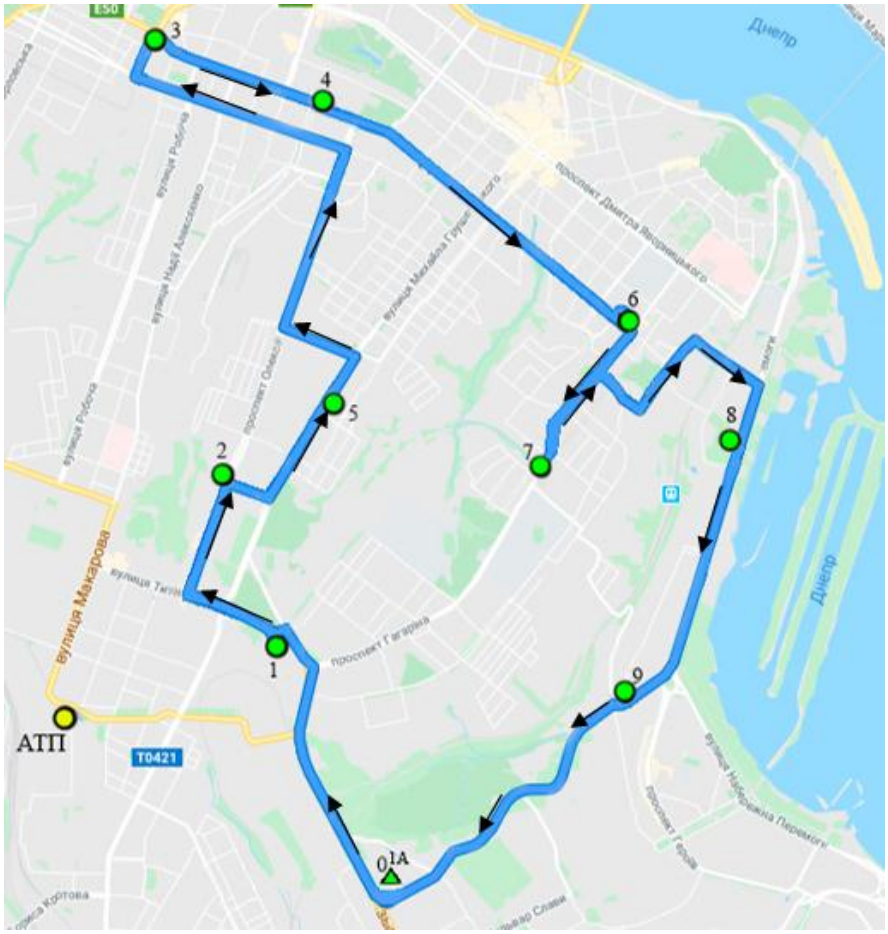


Рисунок 4.5 – Схема оптимізованого маршруту обслуговування торгових точок мережі ТМ-1А

Довжина маршруту обслуговування дорівнює :

$$L_{\text{м}} = 5,3 + 2,5 + 2,3 + 2,8 + 3,1 + 4,8 + 3,5 + 4,6 + 3,7 + 5,3 + 2,4 = 40,3 \; км$$

5. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

5.1 Вплив автомобільного транспорту на стан екосистеми

Вплив будь-якого транспорту на екосистеми виражається у наступному [67]:

– споживання природних ресурсів – атмосферного повітря, необхідного для протікання робочих процесів в двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) транспортних засобів; нафтопродуктів і природного газу, що є паливом для ДВЗ; води для систем охолодження ДВЗ і миття транспортних засобів, виробничих і побутових потреб підприємств транспорту; земельних ресурсів, відчужуваних йод будівництво автомобільних і залізних доріг, аеропортів, трубопроводів, річкових і морських портів та інших об'єктів інфраструктури транспорту;

– забруднення атмосфери, водних об'єктів і земель, зміні хімічного складу грунтів і мікрофлори, утворенні виробничих відходів, в тому числі токсичних та радіоактивних, шламів, замазученного грунту, котелень шлаків, золи і сміття. Забруднюючі речовини негативно впливають на створені людиною системи, особливо на будівельні матеріали, історичні архітектурні і скульптурні пам'ятники та інші твори мистецтва, викликають корозію металів, псування шкіряних і текстильних виробів;

– виділення тепла в навколишнє середовище при роботі ДВЗ і паливоспалюючих установок в транспортних виробництвах;

– створенні високих рівнів шуму і вібрації;

– активізації несприятливих природних процесів типу водної ерозії, заболочування місцевості, освіти селевих потоків, зсувів, обватов;

– травматизм і загибелі людей, тварин, нанесенні великої матеріальної шкоди при аваріях і катастрофах;

– руйнуванні грунтово-рослинного покриву і зменшенні врожайності сільськогосподарських культур.

На сьогодні викиди забруднювальних речовин автомобільним транспортом у

середньому за рік становлять близько 5,5 млн. т, це близько 39 % усього обсягу шкідливих викидів в Україні [68].

Законодавством встановлено, що підприємства транспорту несуть відповідальність за шкоду, заподіяну навколишньому природному середовищу. Вони зобов'язані забезпечувати безпеку життя і здоров'я громадян, безпеку експлуатації транспортних засобів, охорону навколишнього природного середовища [69].

Аналізуючи обсяги викидів шкідливих речовин різними видами транспорту, можна дійти висновку, що найбільша частка у викидах належить також автомобільному транспорту. Приблизний розподіл викидів за видами транспорту у відсотках наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Викиди основних шкідливих речовин за галузями транспорту

Шкідливі речовини	Вид транспорту , %		
	Автомобільний	Залізничний	Водний
Свинець – Pb	98,8	0,9	0,3
Чадний газ – CO	96,7	2,2	1,1
Вуглеводень – C_xH_y	96,2	2,46	1,34
Оксиди азоту – NO_x	73,6	9,2	17,2
Вуглець – C	66,7	17,7	15,6
Оксид сірки – SO_2	64	22,9	13,1

Автомобільний транспорт є основним джерелом забруднення повітря у великих містах. Під час експлуатації автотранспорту шкідливі речовини потрапляють у повітря з вихлопними газами, випарами з паливних систем, під час заправки паливом.

Більша частина забруднень припадає на великі міста. У деяких з них відсоток забруднення повітря вихлопними газами часом досягає 70 – 90 % загального рівня забруднень. Підприємства технічного обслуговування автомобілів: автозаправні станції (АЗС), станції технічного обслуговування (СТО), пункти огляду автомобілів тощо, які знаходяться в придорожній смузі, — суттєво забруднюють навколишнє середовище нафтопродуктами (бензином, дизельним

пальним, трансмісійними й моторними мастилами), консистентними змащувальними оливами, промивальними рідинами [68].

Обсяг відпрацьованих мастил, які викидають під час заміни, становить 13 – 33 % від витрати свіжих мастил, залежно від типу автомобіля і його технічного стану. Частинки різних нафтопродуктів, що знаходяться на поверхнях деталей, вузлів і агрегатів під час зовнішнього миття автомобілів потрапляють у ґрунт і водойми. При цьому вода після миття потрапляє у поверхневі водойми або у ґрунтові потоки взагалі без жодного очищення, суттєво шкодячи навколишньому середовищу [68].

На рисунку 5.1 показані види шкідливого впливу автомобільного транспорту на навколишнє природне середовище.

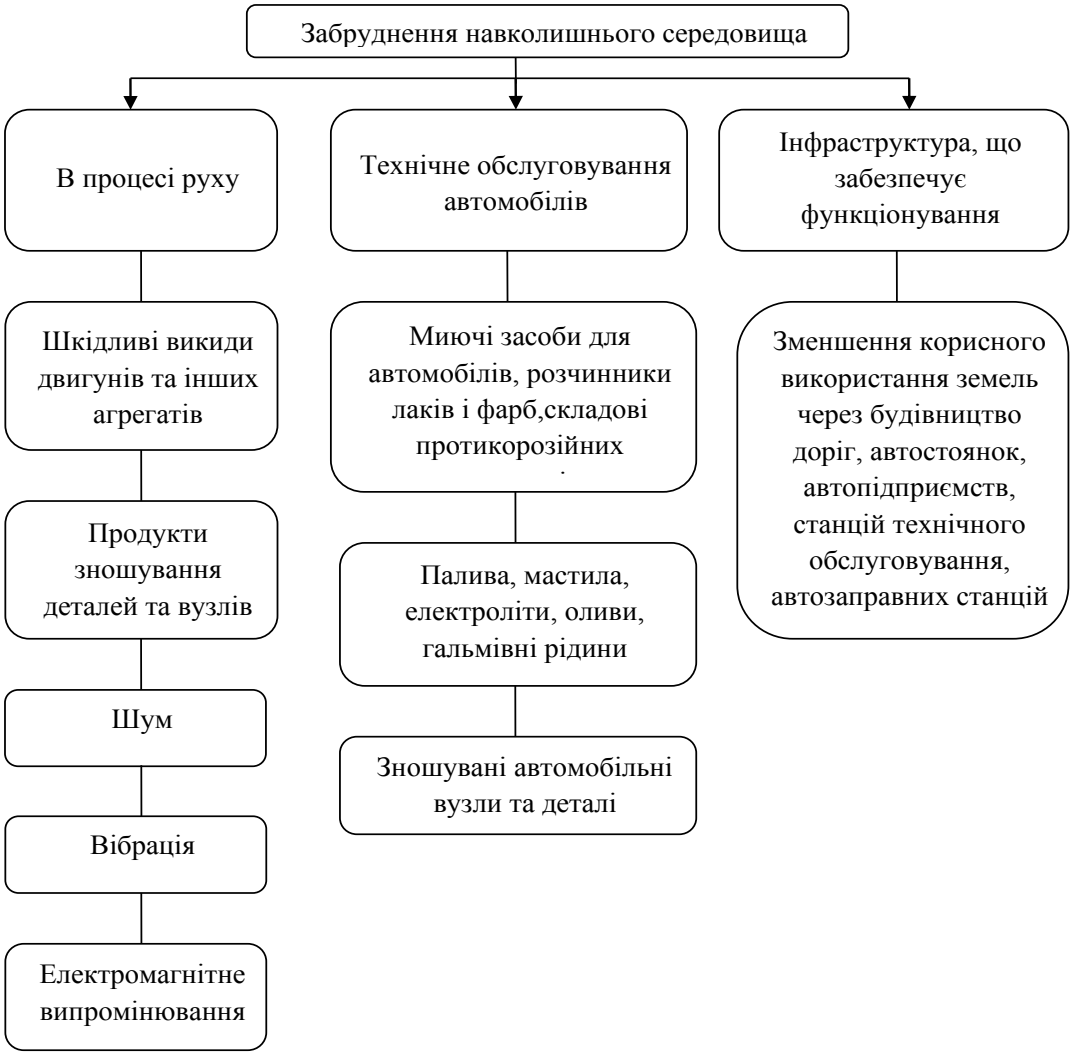


Рисунок 5.1 – Види шкідливого впливу автомобільного транспорту на довкілля

5.2 Вплив рухомого складу автотранспорту на навколишнє середовище

Автомобілі значною мірою впливають на екологічний стан країни, а отже АТП є джерелами несприятливих екологічних факторів, таких як – шум, вібрація, електромагнітні перешкоди, викиди вихлопних газів, забруднення території паливно-мастильними матеріалами, тощо [70].

Специфікою рухомих джерел забруднення, тобто автомобілів є:

– високі темпи зростання чисельності рухомого складу;

– просторова розосередженість автотранспорту;

– безпосередня близькість до житлових районів;

– вища токсичність викидів рухомого складу автотранспорту у порівнянні з викидами стаціонарних джерел;

– складність технічної реалізації засобів захисту від забруднень на рухомих джерелах;

– низьке розташування джерел забруднення, внаслідок чого відпрацьовані гази автотранспорту накопичуються біля поверхні землі в зоні дихання людей [68].

Джерелами випаровування пального у паливній системі є переважно карбюратор і паливний бак. Дизельне пальне має меншу здатність випаровуватися, а паливна система дизельних двигунів більш герметична. Картерні гази, як і випаровування з системи живлення, містять переважно вуглеводні. Їх кількість у двигуні зростає зі збільшенням зношення. Крім того, вона залежить від умов руху й режиму роботи двигуна. Відпрацьовані гази утворюються унаслідок спалювання пального в камерах згоряння двигуна [68, 70].

Шум, що створюється автотранспортним засобом, складається з таких основних складових: шуму двигуна, шуму агрегатів автомобіля, шуму кузова, шуму додаткового обладнання, шуму шин, аеродинамічного шуму потоків повітря під час руху. Виділяють зовнішній шум автомобіля і внутрішній шум автомобіля [68].

Рівень шуму істотно змінюється в залежності від типу двигуна, технічного стану автомобіля, режиму й швидкості руху, завантаженості автомобіля,

інтенсивності руху. Змінюються також основні джерела шуму. Так, якщо за швидкості руху 75 – 80 *км/год*. та повної завантаженості автомобіля основним джерелом шуму є двигун, то за швидкості 80 – 100 *км/год*. основний шум створюють автомобільні шини [68,71].

Під час руху автомобіля виникають коливання, спричинені нерівностями дороги, а також неврівноваженими силами двигуна й трансмісії, які здійснюють обертальні або зворотно-поступальні рухи. Ці коливання передаються на раму, кузов автомобіля і через полотно дороги на елементи придорожнього простору [68].

Вібрації, що виникають під час взаємодії коліс із покриттям, передаються через полотно дороги у навколишнє середовище у вигляді хвиль. При цьому передача вібрації відбувається через ґрунт на будівлі й споруди. Рівень вібрації при цьому залежить від інтенсивності транспортного потоку, швидкості руху, складу транспортного потоку, нерівності дорожнього покриття [68,71].

Автомобільний транспорт є порівняно малопотужним джерелом електромагнітних випромінювань. Проте збільшення кількості автомобілів на території житлової забудови призводить до того, що їх внесок у загальний фон електромагнітного випромінювання стає помітним. На сьогодні значного поширення набуває електротранспорт, зокрема, з’являються електромобілі. Вже сьогодні електромагнітне поле на 20 – 30 % території міст формується унаслідок або з урахуванням автомобільного руху [68].

Ступінь впливу електромагнітних випромінювань визначається кількістю енергії, що ним переноситься. Залежно від виду тканини й характеру випромінювання (частоти або довжини хвилі) частка поглиненої енергії електромагнітного випромінювання може коливатися від 20 до 100 %. Поглинена тканинами енергія перетворюється на теплову [68, 71].

Під час руху автотранспортних засобів у навколишнє середовище викидаються продукти зношування, які утворюються переважно внаслідок тертя деталей між собою. Основні джерела такого забруднення: деталі двигуна та трансмісії, гальмівні колодки, шини [68,71].

Продукти зношування автомобільних шин становлять приблизно 1 % шкідливих викидів від автотранспортного засобу. При цьому вміст особливо шкідливих речовин у них значно вищий, ніж у інших викидах. Латексна гума, що входить до складу шинного пилу, може викликати алергічні реакції [68, 71].

Ефективними методами уповільнення зношування автомобільних шин є контроль тиску безпосередньо в шинах, контроль технічного стану автомобіля, зокрема розхилу коліс та їх сходження [68,71].

5.3 Загальна характеристика екологічної документації

Кожне транспортне підприємство повинно мати екологічну документацію. До такої документації відносять [68]:

– розрахунки гранично допустимих викидів (ГДВ), або тимчасово погоджених викидів (ТПВ) в атмосферу та гранично допустимих скидів (ГДС) у водойми;

– дозвіл на ГДВ, або на ТПВ;

– дозволи на водокористування та на скидання вод;

– дозвіл на зберігання та вивезення відходів;

– екологічний паспорт підприємства;

– державну звітність з охорони навколишнього середовища.

Екологічний паспорт підприємства – це документ, який комплексно характеризує стан природоохоронних робіт на підприємстві. Екологічний паспорт промислового підприємства. Основні положення». До екологічного паспорту прикладають карту–схему підприємства. На карту–схему наносять джерела забруднення атмосфери, водних об’єктів, місця складування відходів, місця розташування водозаборів, межі санітарно–захисних зон [68].

Транспортне підприємство повинно мати паспорт відходів, який складається щорічно. Санітарними правилами встановлюється гранична кількість токсичних відходів, які підприємство може накопичувати на своїй території. Окрім обов’язкової документації, на підприємствах мають бути різні довідково–інформаційні дані, методичні рекомендації, інші допоміжні документи, котрі

необхідні для належного здійснення та оформлення результатів діяльності з охорони навколишнього середовища та раціонального природокористування [68].

Аналізуючи вищесказане, можна зробити висновок, що діяльність автотранспортних підприємств та здійснення перевезень автомобільним транспортом мають суттєвий вплив на стан екосистеми країни. За статистичними даними, саме на автомобільний транспорт припадає близько 83% використання моторного палива серед інших галузей транспорту. Основним джерелом забруднення повітря у великих містах є автомобільний транспорт. Під час експлуатації автомобілів шкідливі речовини потрапляють у повітря з вихлопними газами, випарами з паливних систем, під час заправки паливом.

Забруднення навколишнього середовища відходами роботи автотранспорту відбувається не тільки безпосередньо у процесі руху транспортного засобу, але й від технічного обслуговування автомобілів та від інфраструктури, яка забезпечує функціонування автомобільного транспорту.

5.4 Заходи боротьби зі шкідливим впливом на довкілля автомобільного транспорту

Аналіз заходів із зниження токсичності відпрацьованих газів автомобілів дозволяє виділити такі основні напрями [72]:

1. Використання нових типів силового устаткування, з мінімальним викидом шкідливих речовин.

2. Заміна конструкції, робочих процесів, технології виробництва автомобілів з метою зниження токсичності відпрацьованих газів. Вдосконалення конструкції і робочих процесів бензинових двигунів спрямоване на підвищення стійкості займання і швидкості згоряння збіднених паливно-повітряних сумішей, які забезпечують низьку токсичність відпрацьованих газів. Для підвищення економічності керування складом паливно-повітряної суміші і кутом випередження запалювання використовується мікропроцесорна техніка.

3. Застосування пристроїв очищення або нейтралізації відпрацьованих газів. Для автомобілів з бензиновими двигунами дуже ефективні каталітичні

нейтралізатори потрійної дії. Для автомобілів з дизелями застосовують фільтри, які очищають відпрацьовані гази від сажі.

4. Використання альтернативного або зміна характеристик традиційного палива. До перспективного палива із зниженим рівнем токсичності вихлопних газів, відносять водень, етанол, метанол, стиснений природний і зріджений нафтовий газ, неетильовані високооктанові бензини.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі виконаний аналіз наукових праць, присвячених проблемі організації руху та безпеки на автомобільному транспорті. Автомобільний транспорт займає важливу роль у формуванні та розвитку економічної, політичної та соціальної складових країни. На сьогодні більша частка вантажних перевезень при коротких дистанціях припадає саме на автотранспорт, що викликає необхідність у раціональній організації транспортного обслуговування. Отже, підводячи підсумки аналітичної частини роботи можна підвередити актуальність теми організації руху та безпеки у будь-якому районі кожного міста. Конфліктні точки між пішоходами та водіями залишаються найбільш розповсюдженими і небезпечними транспортними конфліктами в місті.

При організації процесу доставки продукції найважливішим є вибір маршруту руху, який повинен здійснюватися з урахуванням розмірів партій вантажів, розташування відправників та одержувачів, типу й вантажопідйомності рухомого складу. Транспортне обслуговування всередині міста виконується зазвичай за допомогою організації розвізних маршрутів, для яких характерні перевезення сировини та продукції підприємств міста.

В цілому ринок автоперевезень залишається високо конкурентним - йде гостра тарифна боротьба за вантажну базу. У той же час автоперевізники слабо організовані, відсутні ефективні об'єднання і асоціації автоперевізників (за винятком міжнародних автоперевізників). В поточних тенденціях прогнозують збільшення кількості вантажоперевезень автотранспортом

Існуючі перехрестя порівнюються за наступними параметрами: безпека, пропускна здатність, часу затримки, рівню обслуговування, вплив на навколишнє середовище, витрати і відповідність вимогою. І за всіма параметрами багато авторів стверджують, що кільцева розв'язка є більш вигідним і надійним проектним рішеніем.Основним критерієм вибору раціонального типу перетину автомобільних доріг в даний час є показник економічної ефективності в вигляді мінімуму приведених витрат на його будівництво, утримання і експлуатацію.

Також очевидно, що величина даного показника в значній мірі залежить від величини втрат часу транспортом при простоях на перетині.

Отримані дані всіх видів перехресть показують, що в даний час на більшості перехресть передбачувані значення пропускної здатності сильно завищені. Так само зміна традиційного перехрестя на круговий перетин не є дієвим способом вирішення проблем і підвищенням швидкості.

Для визначення області дослідження варіантів перетинів автомобільних доріг доцільно обмежитися типовими варіантами. Якщо будуть виявлені ділянки з надмірно високими завантаженнями, слід розглянути можливість застосування очевидних рішень щодо вдосконалення ОДР.

Визначення оптимального маршруту доставки вантажу торговим точкам являє собою вирішення задачі Комівояжера, в основу якої покладено знаходження раціональної послідовності обходу точок графу. Дана задача вирішується за допомогою існуючих точних та наближених методів. Найпоширенішим серед точних методів є метод гілок та меж, який базується на складані «дерева» рішення.

Діяльність автотранспортних підприємств та здійснення перевезень автомобільним транспортом мають суттєвий вплив на стан екосистеми країни. За статистичними даними, саме на автомобільний транспорт припадає близько 83 % використання моторного палива серед інших галузей транспорту. Основним джерелом забруднення повітря у великих містах є автомобільний транспорт. Під час експлуатації автомобілів шкідливі речовини потрапляють у повітря з вихлопними газами, випарами з паливних систем, під час заправки паливом.

Забруднення навколишнього середовища відходами роботи автотранспорту відбувається не тільки безпосередньо у процесі руху транспортного засобу, але й від технічного обслуговування автомобілів та від інфраструктури, яка забезпечує функціонування автомобільного транспорту.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.07.01–89 Градостроительство. Планировка и настройка городских и сельских поселений [Текст]. – М: Изд-во стандартов, 2000. – 59 с.;

2. Кузьмич, С. И. Транспортные проблемы современных городов и моделирование загрузки улично-дорожной сети [Текст] / С. И. Кузьмич , Т. О. Федина // «Известия Тульского государственного университета. Технические науки». – 2008. – № 3. – С.159-166

3. Kittelson W. K. Historical Overview of the Committee on Highway Capacity and Quality of Service. – Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity. – P.5-16;

4. Сильянов, В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения [Текст]. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

5. Михайлов, А. Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов [Текст]/ А. Ю. Михайлов, И. М. Головных, – Новосибирск: Наука, – 2004. – 267 с.

6. Агасьянц, А. А. Основные предпосылки повышения эффективности улично-дорожной сети [Текст] / А. А. Агасьянц // Совершенствование транспортных систем городов: Тез. Сообщений Всесоюз. науч.-техн. сем. – Суздаль, 9–11 ноября 1989. – М.: ЦНИИП градостроительства, 1989. – С. 20 - 23.;

7. Гохман, В. А., Пересечения и примыкания автомобильных дорог [Текст] / В. А. Гохман, В. М. Визгалов, М. П. Поляков // М.: Высш. шк, 1989. – С. 10-12.;

8. Воробьев А.И Современные методы светофорного регулирования [Текст] / А. И. Воробьев // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 2. – С. 3-6;

9. Воробьев, А. И. Анализ технологий косвенного управления транспортными потоками на примере зарубежного опыта [Текст] / А. И. Воробьев, Б. С. Субботин, Г. В. Власенко // Вестник МАДИ. – 2013. – № 4. – С. 83-89;

10. Воробьев, А. И. Концепция интеграции подсистем директивного и косвенного управления транспортными потоками [Текст] / А.И. Воробьев, А. В.

Шадрин, Г. В. Власенко // В мире научных открытий. – 2012. – № 12 (36). – С. 149-156;

11. Современные кольцевые пересечения и сфера их применения / А. В. Зедгенизов, Р. Ю. Лагерев, А. Г. Левашев, А. С. Липницкии, А. Ю. Михайлов, М. И. Шаров [Текст] //Иркутский-государственный технический университет. Иркутск. 2009. – 106 с.

12. Сильянов, В. В. Методические указания по проектированию кольцевых пересечений автомобильных дорог [Текст] // В. В. Сильянов, Б. К. Каюмов. – М.: Транспорт, 1980. – 69 с.

13. Arem B., van de Vos A. P., Vanderschuren M. J. W. A. The Microscopic Traffic Simulation Model, MIXIC 1.3, Report TNO, The Netherlands, 2014.

14. Choudhury C. F. Modeling Lane-changing Behavior in Presence of Exclusive Lanes, Massachusetts Institute of Technology, 2015.

15. Катерна О.К. Стратегія розвитку України [Текст] (економіка, соціологія, право: наук. журнал – К.: НАУ, 2013. – №1. – С. 96-98.

16. Катерна О. К. Економічний аналі [Текст] : зб. наук.праць. – Тернопіль : Вид-вополіграф. центр ТНЕУ«Економічна думка», 2012. –№11. – Ч.3.– С. 245-249.

17. Катерна О.К. Проблеми підвищення ефективності інфраструктури [Текст]: зб. наук. праць. – К. : НАУ, 2012. – № 35. – С. 105- 111.

18. Bob McQueen, Judy McQueen. Intelligent transportation systems architectures. Artech House, 1999. – 467 p.

19. Jesse Russell. Intelligent transportation system.VSD, 2012. – 110 p

20. Горев А.Є. Інформаційні технології в управлінні логістичними системами [Текст] // СПбГАСУ, 2004. – 180 с.

21. Зирянов В.В. Розподіл інтервалів між пробними автомобілями [Текст] // Науковий огляд, 2014. № 10-2. – С. 572-575.

22. Бєляєв В.М. Організація автомобільних перевезень та безпека руху [Текст] / навч. посібник М.: МАДИ, 2014 – 204 с.

23. Клинковштейн Г. І., Афанасьєв М. Б. Організація дорожнього руху: [Текст] Учбовий посібник для вузів. – 5-е вид., перероб. і доп. - М: Транспорт,

2001.– 247 с.

24. Автомобільні перевезення і організація дорожнього руху: Довідник [Текст] / В. У. Ренкін, П. Клаф, С. Халберт і ін .; Пер. з англ. – М .: Транспорт, 1981. – 592 с.

25. Автотранспортні потоки і навколишнє середовище: Учбовий посібник [Текст] / В. Н. Луканин, А. П. Буслаев, Ю. В. Трофименко та ін .; Під ред. В. Н. Луканіна. – М.: Инфра, 1998. – 408 с.

26. Клебельсберг Д. Транспортна психологія [Текст] / Пер. з нім. – М .: Транспорт, 1989. – 365 с.

27. Степанов О. В. Вплив психологічного чинника людини на безпеку системи «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище» [Текст] / О. В. Степанов // Теорія і практика управління соціальними системами: філософія, психологія, педагогіка, соціологія. – 2015. – № 4. – С. 85-93.

28. Ротенберг Р. В. Основи надійності системи «Водій – автомобіль – дорога – середовище» [Текст]. – М .: Машинобудування, 1986. – 216 с.

29. Клинковштейн Г. І., Ситник В. Н., Смирнов С. І. Методи оцінки якості організації дорожнього руху: Учбовий посібник. [Текст]. – М .: МАДІ, 1987. –77 с.

30. Хом'як Я. В. Організація дорожнього руху [Текст]. – Київ .: Вища школа, 1981. – 270 с.

31. Куфтинова Н. Г. Можливість використання імітаційного моделювання для аналізу транспортних вузлів [Текст] // Транспортне планування та моделювання: зб. праць II Міжнар. науч.- практ. конф .; СПбГАСУ. – СПб., 2017. – 341 с.

32. Боровков А. О., Куфтинова Н. Г. Аналіз транспортних потоків за допомогою програмних засобів імітаційного моделювання [Текст] // Автоматизація та управління в технічних системах. – 2017. – № 2

33. Николин В. И. Грузовые автомобильные перевозки [Електронний ресурс]: монография / В. И. Николин, Е. Е. Витвицкий, С. М. Мочалин. – Омск: «Вариант-Сибирь», 2004. – 277 с. – Режим доступу https://search.rsl.ru/ru/record/01002482060

34. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки [Текст] / А. И.

Воркут. – М.: Транспорт, 1986. – 447 с.

35. Воркут, А. И. Основы теории транспортного процесса [Текст]: учеб. пособие для вузов / А. И. Воркут. – Киев: Вища школа, 1979. – 392 с.

36. Воркут А. И. Разработка теоретических основ и методов рациональной организации транспортного процесса при автомобильных перевозках партионных грузов [Текст]: дис. докт. техн. наук / А. И. Воркут. – Киев, 1986. – 442 с.

37. Просов С. Н. Маршрутизация грузовых автомобильных перевозок [Текст]: дис. канд. техн. наук / С. Н. Просов // МАДИ-ТУ – 2002. – С. 77 – 92.

38. Литтл Дж. Алгоритм решения задачи коммивояжера [Текст] / Дж. Литтл и др. // Экономика и математические методы. – 1965. – №1. – С. 94 – 107.

39. Мирзоев М. С. Основы математической обработки информации: учебное пособие [Текст] / М. С. Мирзоев – М.: Прометей, 2016 – 316 с.

40. Ніколаєнко Д. В. Аналіз методів вирішення завдань доставки дрібнопартійних вантажів [Текст] / Д. В. Ніколаєнко // Вісник ХНУ. – 2013 – № 3, Том 1. – С. 195-197.

41. Житков В. А. Методы оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок [Текст] / В. А. Житков, К. В. Ким. – М.: Транспорт, 1984. – 218 с.

42. Житков В. А. Планирование автомобильных перевозок грузив мелкими партиями [Текст] / В. А. Житков. – М.: Транспорт, 1976. – 112 с.

43. Трофименко, Ю. В. Транспортне планування: формування ефективних транспортних систем великих міст: Монографія [Текст] / Ю. В. Трофименков, М. Р. Якімов. – М.: Логос, 2013. – 447 с.

44. Герамі В.Д. Методологія формування системи міського пасажирського громадського транспорту: дис. д-ра техн. наук. [Текст] – М., 2001. – 416 с.

45. Управління вантажними потоками в транспортно-логістичних системах: монографія / Л.Б. Миротин, В.А. Гудков [і ін.]; під ред. Л.Б. Миротин. [Текст] – М: Гаряча лінія-Телеком, 2010. – 704 с.

46. Семенов В.В. Математичне моделювання динаміки транспортних потокв мегаполісу [Текст]. – М .: Інститут прикладної математики ім. М.В.

Келдиша, 2004. – 44 с.

47. Украина - Плотность автомобильных дорог [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://knoema.ru/atlas/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B8%D0%BD%D0%B0/topics/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C-%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D1%85-%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B3

48. Рейтинг инфраструктуры Украины: динамика за 7 лет [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://cfts.org.ua/infographics/reyting_infrastruktury_ukrainy_dinamika_za_7_let;

49. В первом квартале 2020 года в украине уменьшились пассажирские перевозки [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://traffic.od.ua/news/eltransua/1226743

50. Отчет о динамике автомобильных грузоперевозок ЕС - Россия, Беларусь, Украина, Казахстан (январь-июнь 2020) [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://eurostatica.com/news/516/;

51. Рынок грузоперевозок автомобильным транспортом в Украине: не везет из-за карантина [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://eurostatica.com/news/516/https://pro-consulting.ua/pressroom/rynok-gruzoperevozok-avtomobilnym-transportom-v-ukraine-ne-vezet-iz-za-karantina;

52. Держане управління статистики [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/tr.htm;

53. Транспортные вопросы: каковы перспективы развития отрясли [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://mind.ua/ru/openmind/20207842-

transportnye-voprosy-kakovy-perspektivy-razvitiya-otrasli;

54. Поздняков, М. Н. Совершенствование организации дорожного движения на кольцевых пересечениях: дис. канд. техн. Наук [Текст]: 05.22.10. - Ростов н/Д., 2005. – 164 с.

55. Митрофанова М. А. Новая система эффективного управления транспортным потоком // Молодой ученый. – 2017. – №4. – С. 669-671. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL https://moluch.ru/archive/138/38641/;

56. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration June 2014 Roundabouts: An Informational Guide.;

57. Падня, В. А. Применение теории массового обслуживания на транспорте [Текст] / В.А. Падня. – М.: Транспорт, 1978. –176 с.;

58. Ставничий, Ю.А. Транспортные системы городов [Текст] / Ю.А. Ставничий. –М.: Стройиздат, 1990. – 224 с.;

59. Столяров, В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска: учеб. пособие [Текст] / В.В. Столяров. – Саратов: СГТУ, 1994. – 84 с;

60. Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. ВСН 25-86/Министсрство автомобильных дорог РСФСР. – М.: ГУП ЦПП, 1999 – 183 с.;

61. Land A. H., Doig A. G. An automatic method of solving discrete programming problems [Електронний ресурс]/ A. H. Land, A. G. Doig // The Econometric Society – 1960 – № 3 – С. 497-520 – Режим доступу https://www.jstor.org/stable/1910129

62. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем [Електронний ресурс]/ А. В. Колесников, И. А. Кириков, С. В. Листопад, С. Б. Румовская, А. А. Доманицкий // М.: ИПИ РАН, 2011. — 295 с. Режим доступу http://raai.org/library/books/kolesnikov/kommivoyazher-2011_kolesnikov.pdf

63. Gutin G., Yeo A., Zverovich A. Traveling salesman should not be greedy: domination analysis of greedy-type heuristics for the TSP [Електронний ресурс]/ G. Gutin, A. Yeo, A. Zverovich – Discrete Applied Mathematics – 2002 – 117 с. – Режим

доступу https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166218X01001950

64. Мешалкин В. П., Заходякин Г. В., Ходченко С. М. Методы комбинаторной оптимизации. Метод ветвей и границ [Електронний ресурс]: В. П. Мешалкин, Г. В. Заходякин, С. М. Ходченко// М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. – 84 с. – Режим доступу https://istina.msu.ru/publications/book/83975743/

65. Пападимитриу Х. Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность [Електронний ресурс]/ Х. Х Пападимитриу, К. Стайглициц// М.: Мир, 1984. – Режим доступу https://www.studmed.ru/papadimitriu-x-stayglic-k-kombinatornaya-optimizaciya-algoritmy-i-slozhnost_dbbafdb8b04.html

66. Костюк Ю. Л. Эффективная реализация алгоритма решения задачи Коммивояжера методом ветвей и границ [Електронний ресурс]/ Ю. Л. Костюк // Прикладная дискретная математика. – 2013. – №2 – Режим доступу https://elibrary.ru/item.asp?id=19102329

67. Экологические аспекты функционирования транспорта [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://studme.org/155225/ekologiya/prikladnaya_ekologiya;

68. Транспортна екологія [Текст]: навчальний посібник/ О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвєєва, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха, С. М. Маджд – К.: НАУ, 2017. – 507 с.

69. Закон України «Про транспорт» /[Електронний ресурс]: за станом на 16 липня 2019 / Верховна Рада України – від 10.11.1994 – № 232/94-ВР. – Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-вр

70. Петрук В. Г. Основи екології [Текст]/ В. Г. Петрук.– Вінниця: ВНТУ, 2006. – 133 с;

71. Гутаревич Ю.Ф. Екологія автомобільного транспорту [Текст]: навч. посіб. / Ю. Ф. Гутаревич, Д. В. Зеркалов – К.: Арістей, 2006. — 296 с.

72. Техноекологія та охорона навколишнього середовища : навчальний посібник / посібник / Н. Г. Міронова, Г. А. Білецька. - Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 256 с.