


**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
Факультет транспорту і будівництва  
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до дипломної кваліфікаційної роботи  
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

галузі знань 27 – «Транспорт»  
спеціальності 275.3 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

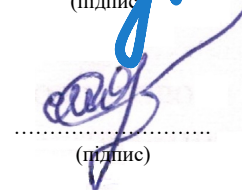
на тему: «Підвищення безпеки дорожнього руху поліпшенням характеристик транспортного потоку»

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи ОПАТ-23дм  
Чехута Ю.Н.



.....  
(підпис)

Керівник: доц. Сорока С.І.



.....  
(підпис)

Завідувач кафедри: проф. Чернецька-Білецька Н.Б.



.....  
(підпис)

## ЗМІСТ

	ВСТУП.....	3
1.	АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖОПОТОКАМИ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ.....	6
1.1.	Аналіз проблеми в управлінні вантажними перевезеннями в міжнародних транспортних коридорах.....	6
1.2.	Область предметної діяльності транспортної галузі України.....	15
1.3.	Новий підхід до управління перевезеннями вантажів в міжнародних транспортних коридорах .....	18
2.	ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В МІЖНАРОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРАХ.....	30
2.1.	Імітаційне моделювання – як метод дослідження функціонування міжнародних транспортних коридорів.....	30
2.2.	Мережева модель представлення та методи оптимізації перевезень вантажів в міжнародних транспортних коридорах.....	37
2.3.	Матрично-мережева модель управління вантажними перевезеннями в міжнародних транспортних коридорах.....	42
3.	МОДЕЛІ І МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ІНФРАСТРУКТУРОЮ МІЖНАРОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ.....	46
3.1.	Модель оптимізації мультимодальних вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів.....	46
3.2.	Застосування задачі комівояжера при організації перевезення вантажів в міжнародних транспортних коридорах.....	49
	ЗАКЛЮЧЕННЯ .....	72
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	73

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Світова транспортна система зараз переживає процес глибоких, фундаментальних змін. Одержано інтенсивні імпульси для розвитку процесів створення єдиного торгового ринку на різних континентах, істотно спрощено процедуру перетинання кордонів.

Сьогодні МТК реалізують розширений спектр транспортних послуг. Це, по-перше, доставка пасажирів і вантажів найкоротшим шляхом і в мінімальні терміни. У МТК відбувається також перевалка вантажів з одного виду транспорту на інший та їхня обробка. Весь комплекс транспортних робіт вимагає розвитку як самих шляхів сполучення (автомобільні дороги, залізничні колії), так і транспортно-складських комплексів (ТСК) по обробці і перевалці вантажів (водні і повітряні порти, залізничні станції, контейнерні термінали), усієї транспортної інфраструктури (під'їзні шляхи, ремонтні підприємства, розгалужена сфера послуг).

Особливо важливу роль у системі МТК відіграє розвиток інформаційної інфраструктури, що акумулює, обробляє, зберігає й використовує інформацію про наявність вантажу, потребу в тих або інших транспортних засобах, забезпечує безперервне спостереження за проходженням вантажів і підвищує рівень їх збереження. Існування МТК передбачає використання на конкретному напрямку переміщення пасажирів і вантажів кількох видів транспорту, а також обов'язкову наявність високо насиченої інфраструктури для їхнього обслуговування, зв'язку та сервісу. Розробка нових моделей та методів оптимізації вантажопотоків в міжнародних транспортних коридорах в даний час є досить актуальним науковим дослідженням.

**Мета і завдання дослідження.** Мета - підвищення ефективності управління вантажопотоками в міжнародних транспортних коридорах за рахунок розробки і впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу організації мультимодальних вантажних перевезень.

Для досягнення поставленої мети в роботі визначені такі основні задачі дослідження:

- провести дослідження стану проблеми управління вантажопотоками в міжнародних транспортних коридорах;
- здійснити аналіз існуючих наукових підходів та діючих моделей і методів по управлінню вантажопотоками в міжнародних транспортних коридорах;
- розробити модель мультимодальних вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів.

**Об’єкт дослідження** - Процес управління вантажопотоками в міжнародних транспортних коридорах.

**Предмет дослідження** – Закономірності формування вантажопотоків в міжнародних транспортних коридорах, які враховують обмеження на пропускні здатності транспортних вузлів і комунікацій.

**Методи дослідження.** Методи теорії транспортних процесів і систем, окремі методики та положення системного аналізу та моделювання складних систем, методи дослідження операцій та імітаційного моделювання, методи теорії обчислювальної математики.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- розроблена модель мультимодальних вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів, яка на відміну від існуючих враховує наявність обмежень на пропускні здатності транспортних вузлів і комунікацій, на незбалансованість обсягів перевезень вантажів та на взаємодію різних видів транспорту при здійсненні мультимодальних вантажних перевезень;
- удосконалено метод знаходження оптимальних планів перевезення вантажів маршрутами міжнародних транспортних коридорів, який враховує незбалансованість обсягів перевезень вантажів, а також дозволяє додатково до них отримувати відповідні маршрути транспортування вантажу.

**Практичне значення отриманих результатів.** Спроектована й заповнена інструментальна база даних транспортної системи України (ТСУ) та Західної Європи, що містить у собі параметри основних транспортних вузлів всіх видів транспорту, а також технічні характеристики транспортних комунікацій країни і Західної Європи дозволяє за допомогою ПІК (програмно-інструментальний

комплекс) вирішувати найрізноманітніші завдання по оптимальному управлінню вантажними перевезеннями маршрутами МТК.

**Апробація результатів дипломної кваліфікаційної роботи магістра та публікації.** Відповідно до теми кваліфікаційної роботи опубліковані наукові публікації у фахових виданнях України, результати роботи докладалися на студентських науково-практичних конференціях кафедри ЛУБРТ СНУ ім. В.Даля (2023-2024р.р.).

**Структура і об'єм роботи.** Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, 3 розділів, заключення, списку використаних джерел з 75 найменувань на 6 сторінках. Загальний об'єм кваліфікаційної роботи магістра складає 79 стор. Робота включає 18 рисунків та 3 таблиці по тексту.

# **1.АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖОПОТОКАМИ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ**

## **1.1 Аналіз проблеми в управлінні вантажними перевезеннями в міжнародних транспортних коридорах**

З початку ХХІ сторіччя в Україні відбувається процес інтенсивного формування багаторівневої ринкової економіки, на яку впливає глобалізація та інтеграція виробництва і розподілення товарів у світовій економіці. Докорінно змінюється конкурентне середовище на ринку транспортних послуг, що пов'язано з послабленням державного регулювання цієї галузі народного господарства.

При цьому головними задачами транспорту залишаються сучасне, якісне та повне задоволення потреб народного господарства та населення у перевезеннях вантажів та пасажирів, підвищення надійності та економічної ефективності його роботи.

На сьогоднішній день суттєво змінилися організаційно-економічні а також правові взаємовідносини між учасниками транспортного процесу. Виникли проблеми сумісності національних транспортних систем з європейською та міжнародною ТС. Поступово затверджуються нові транспортно-логістичні системи як транспортування, так і розподілу товарів, що чітко проявляється у зміні ролі кожного виду транспорту в обслуговуванні внутрішнього і зовнішнього вантажообігу.

Збільшення ролі вантажних перевезень в обслуговуванні міжнародного вантажообігу, підсилення ролі експедиційної діяльності у формуванні попиту та пропозиції докорінно змінило концепції транспортного ринку. З іншої сторони, створення єдиної міжнародної транспортно-логістичної системи та географічне положення транспортного простору України в якості МТК вимагає окремого аналізу управління роботи транспортних вузлів, забезпечення координації та взаємодії транспорту, результативності досягнень науково-технічного прогресу на транспорті. Процес формування міжнародної системи перевезень не

завершився. Більш того, остаточне рішення ряду проблем перевезень та освоєння нових технологій знайде своє втілення лише на межі першої чверті ХХІ сторіччя.

Тому розробка нових моделей, методів та програмного забезпечення оптимізації вантажопотоків в міжнародних транспортних коридорах, яким присвячені роботи автора [1-19], в даний час є досить актуальним науковим дослідженням.

Загальним питанням теорії транспортних процесів і систем присвячені фундаментальні роботи Воркута А.І., Четверухіна Б.М., Поліщука В.П., Левковця П.Р., Хабутдінова Р.А., Прокудіна Г.С., Коцюка О.Я., Лебідь І.Г., Міротіна Л.Б., Курганова В.М., Милославської С.В., Плужнікова К.И, Беляєва В.М., Мелікова А.З., Ейдес М.Є., Кирпи Г.М., Зайончика Л.Г., Д. Бенсона, Дж. Уайтхеда, Бронштейна О.И., Розенталя Г.О., Бусленко В.Н., Майзер Х., Эйджин Н., Тролл Р., Клейнрока Л., Кенделла Дж., Кліра Дж., Флешимана В.С. та інших вчених [20-48].

У зв'язку з остаточною зміною геополітичної ситуації в Європі, завершенням холодної війни та ліквідацією протистояння Схід-Захід у світової транспортній системі відбувається процес утворення єдиного торговельного ринку, спрощується процес перетинання кордонів, створюються міжнародні структури, починається реалізація міжнародних транспортних коридорів, котрих в Європі Другою Пан'європейською транспортною конференцією (березень 1994 р., Крит, Греція) виділено дев'ять:

1. Гельсінкі – Таллінн – Рига – Калінінград – Вроцлав;
2. Берлін – Варшава – Мінськ – Москва – Нижній Новгород;
3. Берлін – Вроцлав – Краків – Київ;
4. Дрезден – Прага – Будапешт – Софія – Стамбул;
5. Венеція – Любляна – Будапешт – Ужгород – Львів;
6. Гданськ – Катовіце – Єлін – Познань;
7. Дунайський водний шлях із виходом на канал Рені – Майн – Дунай;
8. Дурес – Тірана – Софія – Пловдив – Варна;
9. Гельсінкі – Санкт-Петербург – Москва – Київ – Бухарест (надалі продовження до Новоросійська та Астрахані).

На Третій Панєвропейській транспортній конференції в Гельсінкі (1997 р.), де було затверджено проекти формування та посилення транспортних коридорів, отримала реалізацію ідея розвитку десятого МТК, а саме:

10. *Зальцбург – Любляна – Загреб – Белград – Ниш – Скопье – Велес – Салоники*, який направлений на посилення взаємодії балканських країн і дає вихід в Західну Європу.

Згідно з визначенням Комітету по зовнішньому транспорту Європейської економічної комісії (КЗТ ЄЕК) ООН: «транспортний коридор – це частина національної чи міжнародної транспортної системи, що забезпечує значні міжнародні вантажні й пасажирські перевезення між окремими географічними районами, містить у собі рухомий склад і стаціонарні пристрої всіх видів транспорту, що працюють на даному напрямку, а також сукупність технологічних, організаційних і правових умов для здійснення цих перевезень» [1, 2].

Географічне положення України обумовлює її значення для Європейської транспортної системи у визначенні оптимальних шляхів транспортування вантажів і пасажирів. Найкоротші шляхи із Західної Європи у Закавказзя, Центральну Азію, Іран, Афганістан; із Центральної та Північної Європи у порти Чорного моря, країни Близького Сходу проходять територією України. Україна має розгалужену мережу автомобільних доріг (загальна довжина автомобільних доріг в Україні становить 172,4 тис. км), одну з найпотужніших в Європі залізничну мережу (довжина залізниць в Україні становить 22,3 тис. км), які органічно поєднуються з європейськими через Польщу, Словаччину, Угорщину, Румунію, Молдову, Болгарію і охоплюють морські та річкові порти Чорноморсько-Азовського басейну [49].

Концепція «Створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні» (постанова № 821 Кабінету міністрів України від 04.08.1997 р.) розроблена на основі принципів міжнародної транспортної політики, прийнятих в Європейському співавторстві, які включають: політичні аспекти, соціальний прогрес, комерційні аспекти, тарифну політику, організацію перевезень, розвиток інфраструктури і сервісу, перетин



державних кордонів, технічні і технологічні проблеми, обумовлені лібералізацією й гармонізацією транспортного ринку, екологічними вимогами та безпекою роботи тощо.

Інтеграція України у міжнародну транспортну систему передбачає приєднання до існуючих транспортних коридорів та доповнення нових напрямків МТК, а саме:

- продовження коридорів № 3 та напрямку Європа – Азія: Франкфурт – Краків – Дніпропетровськ – Алма-Ата;
- продовження коридору № 5: Львів – Рівне – Сарні – Мінськ;
- продовження напрямку Балтика-Чорне море: Гданськ – Варшава – Ковель – Одеса;
- продовження напрямку Північ-Південь: Харків – Полтава – Кіровоград – Одеса;
- продовження Євразійського транспортного коридору (ЄАТК): Одеса – Тбілісі (Єреван) – Баку – Ашгабат;
- продовження проекту Чорноморського економічного співробітництва (ЧЕС): Анкара – Єреван – Тбілісі (Баку) – Ростов-на-Дону – Донецьк – Одеса (Кишинів) – Бухарест (Тірана) – Дмитровград (Афіни) – Стамбул.

Протяжність цих восьми основних транспортних коридорів для автомобільного транспорту України становить більше 7,2 тис. км по основному ходу та 1,7 тис. км по різних відгалуженнях. На дорогах цих коридорів працює 125 комплексів і пунктів транспортно-експедиторського і автодорожнього обслуговування і сервісу, в тому числі 29 вантажних терміналів (ВТ), 52 пункти автомобільного сервісу (ПАС) і 44 комплекси дорожнього сервісу (КДС). Середня відстань між ВТ становить 250 км, між ПАС – 140 км, між КДС – 160 км. Ці значення в 2-2,5 разів є більшими у порівнянні з вимогами міжнародного стандарту і не задовольняють постійно зростаючим обсягам вантажо- і пасажиропотоків міжнародного транспортного сполучення.

За результатами дослідження мережа автомобільних доріг в Україні за протяжністю, щільністю та конфігурацією [50] відповідає технологічним потребам транспортних зв'язків регіонального та місцевого рівня, але за

міжнародними вимогами недостатньо розвинена порівняно з аналогічними показниками європейських країн (рис. 1.1).

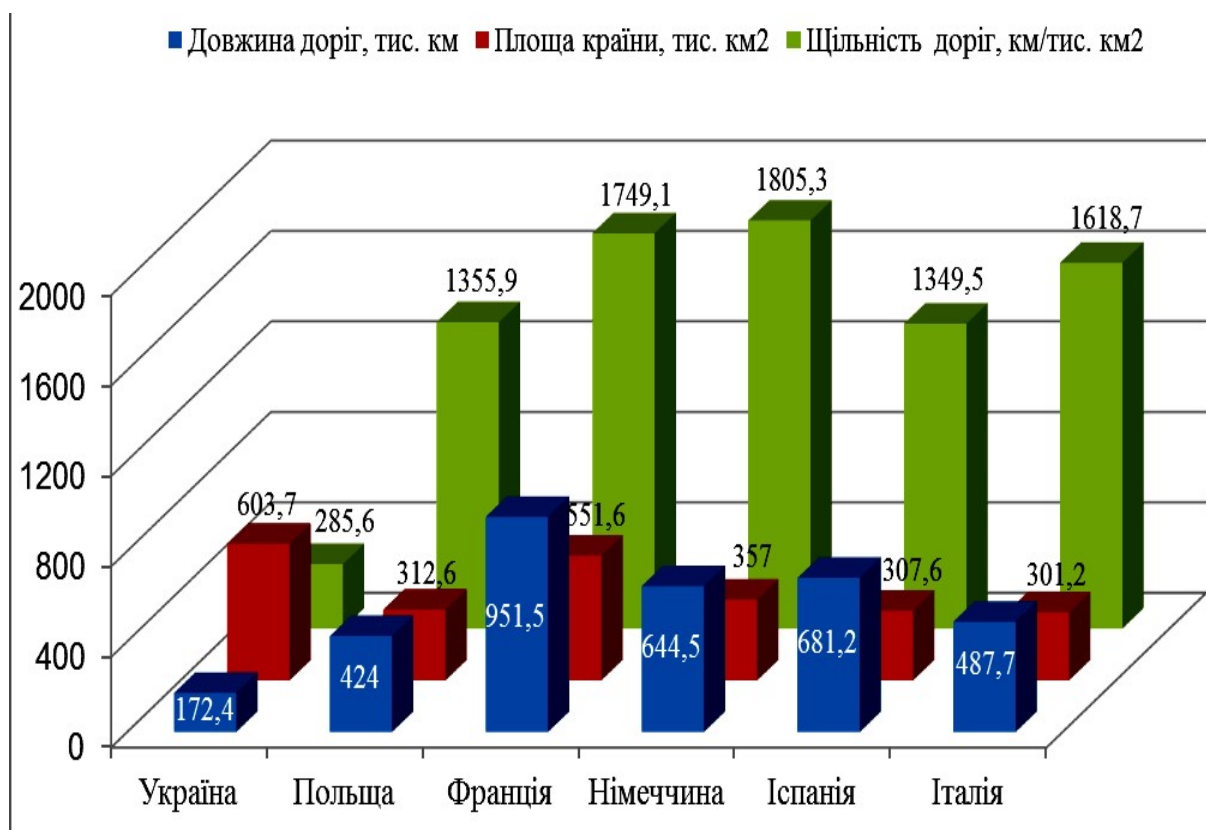


Рис.1.1. Порівняння характеристик транспортної мережі автомобільних доріг України з розвиненими країнами Європи

Збільшення пропускної здатності та якості автомобільних шляхів закладено також у Концепції розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2024 р. До виконання завдань програми слід підходити комплексно з урахуванням обсягів товаропотоків, що формуються між країнами нині та формуватимуться в перспективі. Таким чином, слід з'ясувати значення пропускної здатності української мережі автомобільних міжнародних транспортних коридорів на даний час та визначити напрямки її розвитку. Рівень пропускної здатності дороги залежить від кількості смуг руху, швидкості руху транспортних засобів і стану поверхні проїжджої частини, а також різновиду автомобілів, що рухаються на певній ділянці.

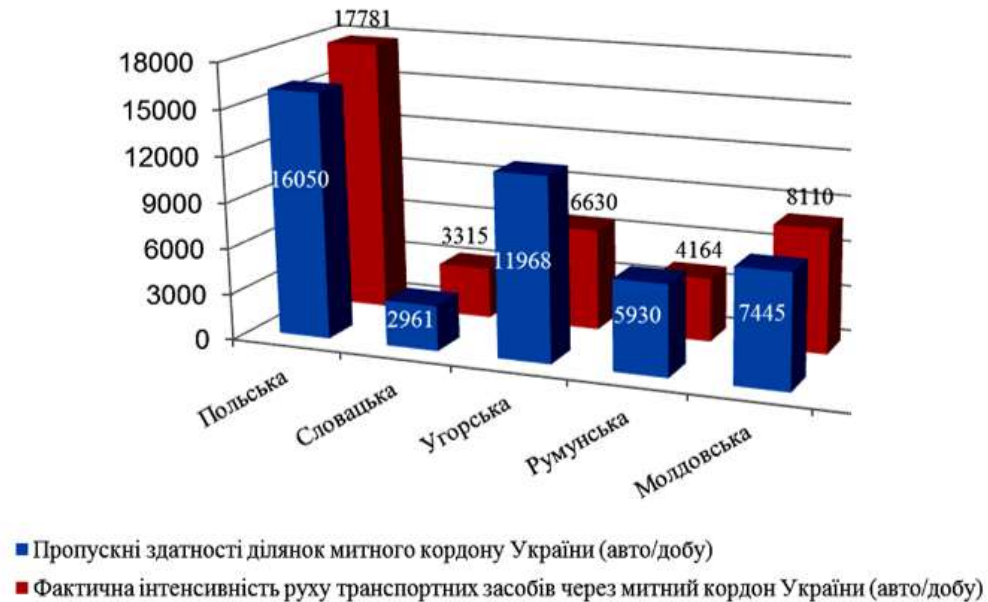


Рис.1.2. Порівняльний аналіз розрахункової та фактичної пропускної здатності пунктів пропуску станом на 2024 р.

Дані рисунка 1.2 свідчать про те, що фактична інтенсивність руху транспортних засобів через митний кордон України на ділянках з Польщею, Словаччиною, Молдовою, Білоруссю а особливо з Росією перевищує найнижчі показники їх пропускних здатностей. Останнє пов'язано з майже двократним скороченням числа пунктів пропуску на українсько-російському кордоні.

Реалізація заходів з нарощування пропускних потужностей автомобільних пунктів пропуску на митному кордоні України створить умови для швидкого та зручного перетинання державного кордону України в рамках тих обсягів руху автотранспортних засобів через кордон, що формуються нині та в перспективі на найближчі роки. При цьому необхідно враховувати, що пропускну здатність в окремих випадках може бути збільшено за рахунок зміни деяких параметрів, таких як зменшення часу очікування на оформлення в міжнародних пунктах пропуску, збільшення кількості смуг на автомобільних дорогах, збільшення швидкості руху за рахунок покращання якості дорожнього полотна.

Довжина залізничної мережі МТК України становить 3162 км, з них 92,3 % – двоколійні лінії, 77,3 % – електрифіковані, 90 % – обладнанні автоблокуванням. За останні 5 років на напрямках транспортних коридорів електрифіковано 500 км колій, реконструйовано 85 вокзалів, зросла швидкість руху поїздів.

Передбачається будівництво нової залізничної мережі з рівнями швидкості руху до 300 км на годину і принципово новим рухомим складом та колією шириною 1435 (європейський стандарт) мм замість 1520 мм. Високошвидкісний транспорт планується використовувати для пасажирських і легковантажних перевезень. Цей варіант віднесено на перспективу після 2020 року.

Відкрита залізнична поромна переправа Іллічівськ – Поті – Батумі, яка є однією з основних ланок коридору TRACECA (Європа – Закавказзя – Азія). Введена в експлуатацію друга черга зернового навантажувального комплексу в Іллічівському морському порту, що здійснює перевалку зерна в країни Південної Америки, Південно-Східної Азії, Саудівську Аравію тощо.

Реконструйовано значну кількість ділянок автомобільних доріг: Чоп – Львів – Київ і Нові Яриловичі – Чернігів – Київ – Одеса. Реконструкція автомобільних доріг у зоні МТК дозволила збільшити допустиму масу транспортних засобів з 36 до 40 тон. Реконструкція існуючих автомобільних доріг передбачає доведення їх параметрів до міжнародних вимог і стандартів. Додатково до існуючих споруджуються нові швидкісні автомобільні дороги здебільшого на окремих напрямках у новій смузі відведення.

Для забезпечення ефективної роботи транспортних коридорів важливим є створення прикордонних та митних пунктів пропуску, а також транспортно-складських комплексів для переробки вантажів, які поділяються на:

- прикордонні сухопутні, які розміщуються у Ковелі, Раві-Руській, Мостиській, Чопі, Харкові, Сумах, Чернігові;
- сухопутні (в Києві, Житомирі, Вінниці, Полтаві, Сумах, Дніпропетровську, Кіровограді, Черкасах, Сімферополі, Мелітополі, Одесі, Хмельницькому, Тернополі, Рівному, Львові, Івано-Франківську);
- водні (у Рені, Ізмаїлі, Усть-Дунайському, Білгород-Дністровському, Іллічівську, Одесі, Південному, Миколаєві, Олександрівському, Херсоні, Скадовську, Євпаторії, Бердянську, Маріуполі, Запоріжжі, Дніпропетровську, Києві).

Міжнародна транспортна мережа України і діючі системи перевезення в умовах трансформації економіки вимагають принципових змін в експлуатаційно-

технологічній діяльності, а також заміни технічних засобів і устаткування, головними вимогами в цих питаннях є:

- максимальне зниження собівартості перевезень;
- переоцінка критеріїв у підходах до визначення ефективності перевезень, перехід від об'ємних показників роботи транспорту до фінансово-економічних;
- забезпечення достатньої швидкості руху транспорту і доставки пасажирів та вантажів;
- забезпечення збереження вантажів під час перевезення;
- підвищення якості послуг на транспорті.

Особливе географічне положення України, що дозволяє їй по праву займати місце транзитної держави, і як наслідок наявність великої кількості діючих транзитних транспортних коридорів, автомобільних магістралей міжнародного і європейського значення, великих транспортних вузлів, що концентрують у собі залізничні станції, аеропорти, річкові й морські порти, висуває підвищені вимоги до системи управління перевезеннями пасажирів і вантажів.

Як свідчить аналіз наявних даних, в разі відсутності адекватної реакції з боку української держави на очікувані в найближчі 3-4 роки зміни функціонування міжнародного ринку транспортних послуг та умов доступу до нього, в значній мірі може скоротитись частка вітчизняних автомобільних перевізників на міжнародних ринках перевезень. Останнє, в свою чергу, негативно позначиться на ситуації із втратою транзитного потенціалу країни та може призвести до суттєвого скорочення національного внутрішнього валового продукту (ВВП) держави.

Над запровадженням більш жорстких норм і стандартів щодо функціонування міжнародного ринку транспортних послуг та умов доступу наразі працюють міжнародні організації, які діють в сфері транспорту – Європейська економічна комісія ООН, Європейська Комісія ЄС, Організація з безпеки та співробітництва в Європі та Міжнародний транспортний форум. Дія нових норм і стандартів буде поширюватись як на центральноєвропейські країни, так і країни Східної та Південно-Східної Європи, Кавказу та Середньої Азії,

охоплюватиме всі види внутрішнього транспорту (*автомобільний, залізничний, внутрішній водний транспорт і змішані перевезення*). Запровадження змін направлено на розвиток транскордонних перевезень на загальноєвропейському та трансконтинентальному ринку перевезень вантажів та пасажирів шляхом спрощення прикордонних процедур, забезпечення безпеки руху та перевезень небезпечних вантажів, підвищення екологічності та енергоефективності транспорту, відповідного функціонування транспортної інфраструктури тощо.

В значній мірі на конкурентоспроможність вітчизняних автотранспортних підприємств на міжнародних ринках транспортних послуг впливають результати реформування системи багатосторонніх квот (дозволів) колишньої Європейській конференції міністрів транспорту (ЄКМТ) Міжнародного транспортного форуму. Наразі виконавчими структурами цієї міжнародної організації підготовлені і затверджені започаткування нових, більш жорстких вимог допуску до системи міжнародних перевезень за системою ЄКМТ. На додаток до нині існуючої вимоги щодо якості транспортних засобів, планується запровадити кількісні критерії щодо якості вантажоперевізників, якості водіїв та якості положень, що регулюють перевірки і санкції. Вимоги до транспортних засобів також посилюватимуться, а саме тільки три категорії транспортних засобів (тобто Євро IV, V, VI) будуть допущені до міжнародних перевезень в системі квот ЄКМТ.

Очікувані зміни функціонування міжнародного ринку транспортних послуг та умов доступу до нього потребують обов'язкової уваги з боку української держави, оскільки вони безпосередньо впливатимуть на забезпечення національних інтересів, зокрема в контексті реалізації транзитного потенціалу України.

Так, за даними англійського інституту «Рендел», Україна займає перше місце в Європі, третє – в Євразії й шосте – у світі за показником коефіцієнту транзитності. В контексті забезпечення реалізації транзитного потенціалу за останні 8 років суттєво зросла роль міжнародних автомобільних перевізників (приватні підприємства, об'єднані Асоціацією міжнародних автомобільних перевізників України).

## 1.2 Область предметної діяльності транспортної галузі України

Транспорт є однією з базових системоутворюючих галузей матеріального виробництва, що забезпечує потреби суспільства в перевезеннях, ефективне функціонування якого є необхідною умовою структурних перетворень і зростання економіки, розвитку зовнішньоекономічної діяльності, задоволення потреб населення та суспільного виробництва у перевезеннях вантажів і пасажирів, захисту економічних інтересів та розвитку суспільства країни [52]. У структурі суспільного виробництва транспорт відноситься до сфери виробництва матеріальних послуг

Транспортно-дорожній комплекс (ТДК) України – це сукупність всіх видів транспорту й відповідних шляхів сполучень, технічних засобів (пристроїв) і споруджень на шляхах сполучень, що забезпечує процес переміщення в просторі й у часі пасажирів і вантажів різного призначення.

Забезпечуючи потреби країни в перевезеннях, ТДК виконує наступні функції [52]:

- служить основним засобом обміну цінностями й більшістю послуг;
- уможливорює поділ праці як усередині, так і між країнами;
- поєднує в єдиний соціально-економічний механізм галузі економіки й окремих регіонів країни;
- є важливим чинником економічного освоєння територій, що дозволяють розвивати й формувати розгалужену мережу населених пунктів;
- є засобом забезпечення особистих і суспільних потреб населення в пересуванні;
- створює сприятливі умови для розвитку суспільно-культурного й економічного життя на нерозвинених і слаборозвинених територіях;
- є засобом, що сприяє обороноздатності країни.

Потреба у високорозвиненому ТДК ще більше підсилюється при інтеграції в європейську й світову економіку. ТДК стає базисом для ефективного входження України у світове співтовариство й заняття в ньому місця, що відповідає рівню високорозвиненої держави [53].

До ТДК України в ринкових умовах пред'являються високі вимоги відносно якості, регулярності й надійності транспортних зв'язків, схоронності вантажів і безпеки перевезення пасажирів, строків і вартості доставки. Відповідно до цього стан транспортних комунікацій України повинен відповідати вимогам європейської інтеграції [54].

Розробка транспортної стратегії [55] – важливий етап у розвитку ТДК, але ще складніше її реалізація. Тому реалізацією повинні займатися висококваліфіковані професіонали, причому особливість укладається в тім, що потрібні фахівці, що володіють не тільки загальнотранспортною підготовкою, але і великими знаннями у галузі сучасних інформаційних технологій. Ця проблема стоїть дуже гостро і її потрібно вирішувати прискореними темпами.

Україна – європейська держава, яка розташована на перетинанні найважливіших напрямків світової торгівлі безпосередньо між Європою й Азією, а також іншими континентами, що володіє розвитою транспортною інфраструктурою. За підсумками 2022 року обсяг перевезень становить понад 571 млн. т вантажів (без трубопровідного) і понад 2082 млн. пасажирів у рік (без міського транспорту) [56]. Той факт, що Україна займає по своєму транзитному положенню одне із провідних місць у Європі, свідчить наявність на її території міжнародних транспортних коридорів, таких як: “Критские” №3, №5, №7, №9, TRASECA, Балтійське – Чорне море, ЧЭС, Європа – Азія.

Показники експлуатаційної діяльності транспорту України за 2014-2018 рр. представлені у табл. 1.8 [57] за винятком: вантажні перевезення наведені без урахування даних по трубопровідному виду транспорту; пасажирські без урахування трамвайного, тролейбусного і метрополітену; дані по залізничному транспорту враховують пасажирів міської електрички.

За даними табл. 1.8 на рис. 1.5. побудована нормована на 100% гістограма, яка відображає долю кожного виду транспорту у загальному об'ємі усіх показників експлуатаційної діяльності транспорту України (гістограма побудована на підставі даних за 2024 рік).



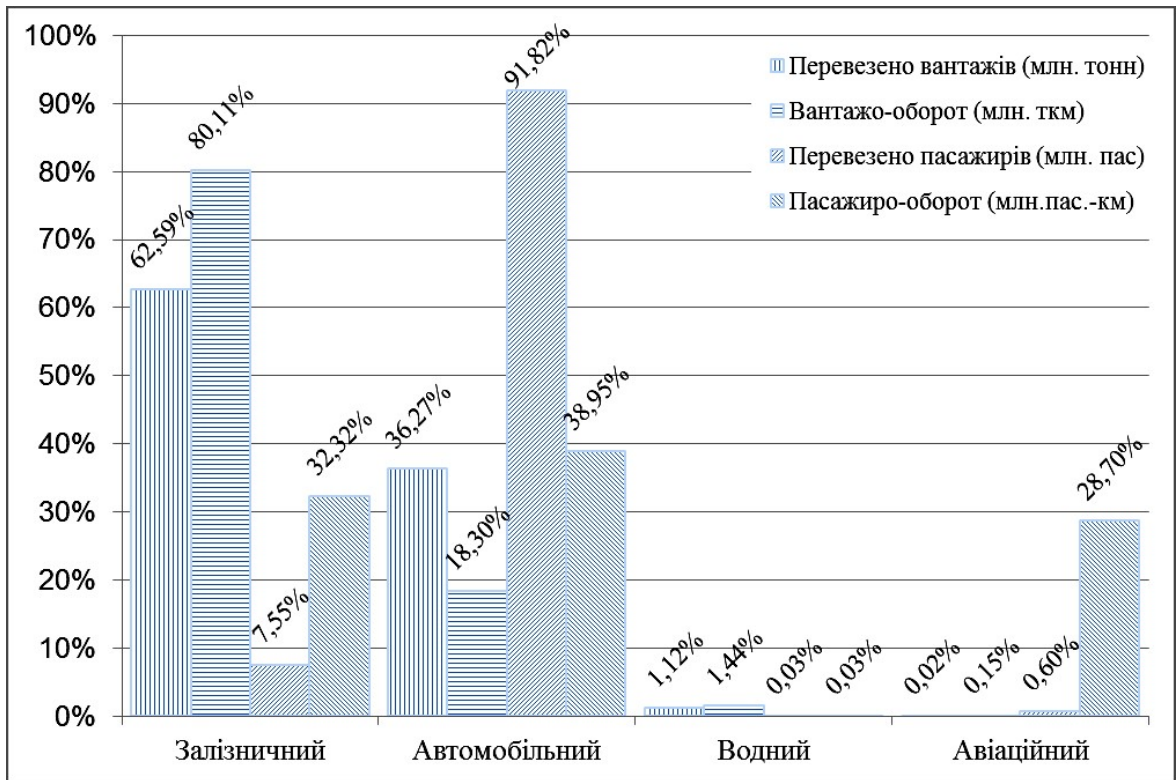


Рис.1.3. Гістограма, яка відображає долю кожного виду транспорту у експлуатаційної діяльності транспорту України за 2024 рік

З гістограми видно, що доля залізничного і автомобільного видів транспорту в загальній виробничій діяльності транспорту України приблизно однакова. Але за інтегрованою сумою чотирьох проаналізованих показників у автомобільного транспорту вона складає 46,33% (відповідно: 36,27% – частина автомобільного транспорту у перевезенні вантажів; 18,30% – у вантажообороті; 91,82% – у перевезенні пасажирів і 38,95% – у пасажирообороті).

На долю залізничного транспорту доводиться 45,64% (відповідно: 62,59% – частина залізничного транспорту у перевезенні вантажів; 80,11% – у вантажообігу; 7,55% – у перевезенні пасажирів і 32,32% – у пасажирообороті) усього обсягу перевезених пасажирів і вантажів. Водний транспорт виконує 0,66% (відповідно: 1,12% – частина водного транспорту у перевезенні вантажів; 1,44% – у вантажообігу; 0,03% – у перевезенні пасажирів і 0,03% – у пасажирообороті) і приблизно 7,37% (відповідно: 0,02% – частина авіаційного транспорту у перевезенні вантажів; 0,15% – у вантажообігу; 0,6% – у перевезенні пасажирів і 28,70 – у пасажирообороті) реалізується авіаційним транспортом.

На сьогоднішній день наука досить далеко просунулася в розробці технологій прогнозування. Фахівцям добре відомі методи нейрон-мережевого прогнозування, нечіткої логіки і тому подібне. Розроблені відповідні програмні пакети, але на практиці вони, на жаль, не завжди доступні рядовому користувачеві, а в той же час багато з цих проблем можна досить успішно вирішувати, використовуючи методи дослідження операцій, зокрема імітаційне моделювання, теорію ігор, регресійний аналіз, реалізуючи ці алгоритми в широко відомому і поширеному пакеті прикладних програм MS Excel.

### **1.3 Новий підхід до управління перевезеннями вантажів в міжнародних транспортних коридорах**

Сучасний стан економіки передових країн світу в даний час не можливий без відповідного високого рівня розвитку їхніх ТС, призначених, у першу чергу, для задоволення потреб народного господарства цих країн, в економічних перевезеннях пасажирів і вантажів. До того ж, що намітилася тенденція світової економіки до транснаціонального проникнення і об'єднання [58], яка висуває додаткові вимоги до ТС щодо спільного використання різних видів транспорту і, як наслідок цього, підвищення оперативності здійснення перевезень різнорідних вантажів з використанням МТК. Спробуємо представити перевізний процес всіх видів транспорту, які входять до МТК, а саме – автомобільного, залізничного і водного, який включає морський і річковий) у вигляді узагальненої моделі мультимодальних вантажних перевезень.

*Представлення мультимодальних вантажних перевезень.* Припустимо, що ми маємо ряд транспортних вузлів (ТВ), що з'єднані між собою відповідними транспортними комунікаціями (для ТС України і Західної Європи кількість ТВ складає 794). Необхідною умовою приналежності ТВ до цієї множини є наявність автомобільних доріг, що з'єднують цей у загальну транспортну систему. Причому в ТВ можуть бути розташовані або залізничні станції (з/с), або водні порти (в/п) або їхні різні комбінації, які можна представити у графічно у вигляді наступних 4 типів (ТВ, які належать до усіх типів)

	– ТВ без з/с, в/п	– 1-ий тип (множина $M_1$ включає 156 ТВ);
з/с	– ТВ, у якому розташована з/с	– 2-ий тип (множина $M_2$ включає 520 ТВ);
в/п	– ТВ, у якому розташований в/п	– 3-ий тип (множина $M_3$ включає 75 ТВ);
з/с в/п	– ТВ, у якому розташовані з/с і в/п	– 4-ий тип (множина $M_4$ включає 43 ТВ);

причому ми маємо наступне співвідношення

$$M \in \bigcup M_i, \quad i = \overline{1,4}, \quad (1.3)$$

де  $M$  – множина всіх ТВ.

Слід також зазначити той факт, що мультимодальні перевезення вантажів між ТВ можуть здійснюватися або з використанням одного виду транспорту, або декількох [8]. Причому в останньому випадку найбільше часто комбінуються перевезення автомобільним і яким-небудь іншим видом транспорту, щоб здійснити технологію «від дверей до дверей». Виходячи із цього, ми маємо наступні варіанти перевезення вантажу:

1) перевезення автомобільним транспортом здійснюються від ТВ *постачальника* будь-якого типу до ТВ *споживача* також будь-якого типу, тобто за наступною схемою

*ТВ 1÷4 типу* → *ТВ 1÷4 типу* і дорівнює

$$K_1 = 2! \times C_M^2 + 3! \times C_M^3 + \dots + (M-1)! \times C_M^{M-1} + M!; \quad (1.4)$$

*Примітка:* знак → означає процес перевезення;

2) перевезення залізничним транспортом припускають наявність у ТВ *постачальника* й *споживача* вантажу з/с і здійснюються за наступною схемою

*ТВ 2,4 типу* → *ТВ 2,4 типу* і дорівнює

$$K_2 = 2! \times C_{M_2+M_4}^2 + 3! \times C_{M_2+M_4}^3 + \dots + (M_2+M_4-1)! \times C_{M_2+M_4}^{M_2+M_4-1} + (M_2+M_4)!; \quad (1.5)$$

3) перевезення водним транспортом припускають наявність у ТВ *постачальника* й *споживача* вантажу в/п і здійснюються за наступною схемою

*ТВ 3,4 типу* → *ТВ 3,4 типу* і дорівнює

$$K_3 = 2! \times C_{M_3+M_4}^2 + 3! \times C_{M_3+M_4}^3 + \dots + (M_3+M_4-1)! \times C_{M_3+M_4}^{M_3+M_4-1} + (M_3+M_4)!; \quad (1.6)$$

Перевезення автомобільним і залізничним видами транспорту мають три різновиди:

4) перевезення спочатку автомобільним, а потім залізничним видами транспорту припускають переміщення вантажу спочатку від ТВ *постачальника* будь-якого типу автомобільним транспортом до найближчої до нього з/с і потім залізничним транспортом до ТВ *споживача* вантажів, що має з/с і здійснюються за наступною схемою

*ТВ 1÷4 типу* → *ТВ 2,4 типу* → *ТВ 2,4 типу* і дорівнює

$$K_4 = K_1 \times K_2;$$

5) перевезення спочатку залізничним, а потім автомобільним видами транспорту припускають переміщення вантажу спочатку від ТВ *постачальника*, що має з/с залізничним транспортом до найближчої до ТВ *споживача* вантажу з/с і потім автомобільним транспортом до ТВ *споживача* вантажу будь-якого типу й здійснюються за наступною схемою

*ТВ 2,4 типу* → *ТВ 2,4 типу* → *ТВ 1÷4 типу* і дорівнює

$$K_5 = K_2 \times K_1; \quad (1.8)$$

б) перевезення спочатку автомобільним, після залізничним, а потім знову автомобільним видами транспорту припускають переміщення вантажу автомобільним транспортом спочатку від ТВ *постачальника* будь-якого типу до найближчої до нього з/с, після залізничним транспортом до найближчої до ТВ *споживача* вантажу з/с і потім автомобільним транспортом до ТВ *споживача* вантажу будь-якого типу й здійснюються за наступною схемою

і дорівнює типу 4 1ТВ типу4 ,2ТВ типу4 ,2ТВ типу4 1ТВ

*ТВ 2,4 типу* → *ТВ 2,4 типу* → *ТВ 1÷4 типу* і дорівнює

$$K_5 = K_2 \times K_1;$$

б) перевезення спочатку автомобільним, після залізничним, а потім знову автомобільним видами транспорту припускають переміщення вантажу автомобільним транспортом спочатку від ТВ *постачальника* будь-якого типу до найближчої до нього з/с, після залізничним транспортом до найближчої до ТВ *споживача* вантажу з/с і потім автомобільним транспортом до ТВ *споживача* вантажу будь-якого типу й здійснюються за наступною схемою

*ТВ 1÷4 типу* → *ТВ 2,4 типу* → *ТВ 2,4 типу* → *ТВ 1÷4 типу* і дорівнює

$$K_6 = K_1 \times K_2 \times K_1; \quad ($$

Перевезення автомобільним і водним видами транспорту мають також три різновиди:

7) перевезення спочатку автомобільним, а потім водним видами транспорту припускають переміщення вантажу спочатку від *ТВ постачальника* будь-якого типу автомобільним транспортом до найближчого до нього в/п і потім водним транспортом до *ТВ споживача* вантажів, що має в/п і здійснюються за наступною схемою

*ТВ 1÷4 типу* → *ТВ 3,4 типу* → *ТВ 3,4 типу* і дорівнює

$$K_7 = K_1 \times K_3;$$

8) перевезення спочатку водним, а потім автомобільним видами транспорту припускають переміщення вантажу спочатку від *ТВ постачальника*, що має в/п водним транспортом до найближчого до *ТВ споживача* вантажу в/п і потім автомобільним транспортом до *ТВ споживача* вантажу будь-якого типу й здійснюються за наступною схемою

*ТВ 3,4 типу* → *ТВ 3,4 типу* → *ТВ 1÷4 типу* і дорівнює

$$K_8 = K_3 \times K_1;$$

9) перевезення спочатку автомобільним, після водним, а потім знову автомобільним видами транспорту припускають переміщення вантажу автомобільним транспортом спочатку від *ТВ постачальника* будь-якого типу до найближчого до нього в/п, після водним транспортом до найближчого до *ТВ споживача* вантажу в/п і потім автомобільним транспортом до *ТВ споживача* вантажу будь-якого типу й здійснюються за наступною схемою

$TB\ 1\div 4\ типу \rightarrow TB\ 3,4\ типу \rightarrow TB\ 3,4\ типу \rightarrow TB\ 1\div 4\ типу$  і дорівнює

$$K_9 = K_1 \times K_3 \times K_1; \quad (1.1)$$

Виходячи з вище викладеного загальна кількість варіантів перевезення вантажів буде становити

$$K = \sum_{i=1}^9 K_i \quad (i = \overline{1,9}). \quad (1.1)$$

Представимо розташування н/п і транспортних зв'язків між ними у вигляді графа (рис. 1.4), де вершинами графу представлені ТВ, а дугами відповідні транспортні комунікації.

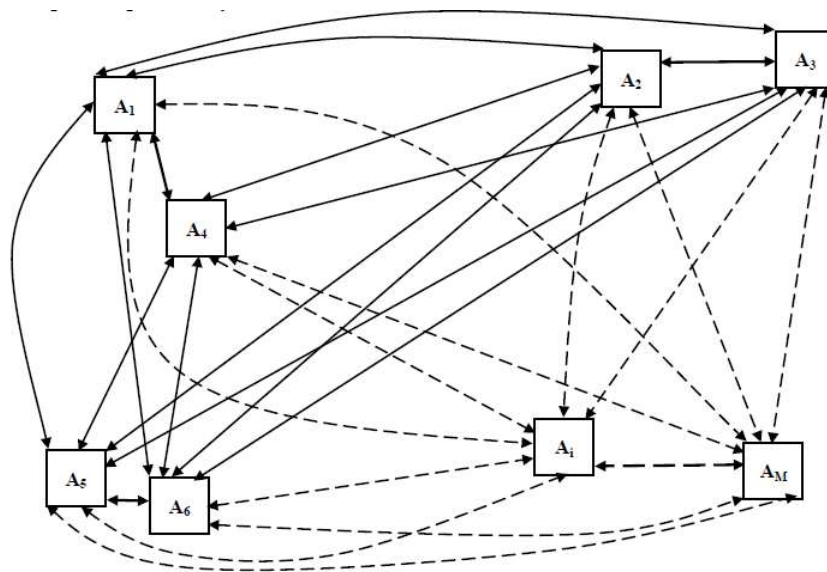


Рис.1.4. Графічне представлення мультимодальних транспортних перевезень

(ТВ) – транспортні вузли;

залізничні станції (з/с), водні порти (в/п)

$A_i$  – позначення  $i$ -го ТВ ( $i = \overline{1, M}$ );

$\longleftrightarrow$  – найкоротші (автомобільні, водні, залізничні або комбіновані) шляхи між ТВ;

$\longleftrightarrow$  – шлях до найближчого від ТВ постачальника або споживача вантажу в/п або з/с.

Слід зазначити той факт, що перевезення до найближчого к ТВ постачальника або споживача вантажу можуть здійснюватися тільки

автомобільним транспортом, тому що це пов'язане з наявністю автомобільних доріг у ТВ кожного з перерахованих вище восьми типів. Крім того, ці перевезення можуть здійснюватися через декілька проміжних (транзитних) ТВ. Останнє ставиться також і до найкоротших шляхів між ТВ.

В одних ТВ  $\{A_1^+, A_2^+, \dots, A_m^+\}$  є запаси  $k$ -видів вантажу, відповідно, в обсягах  $\{a_{11}^+, a_{12}^+, \dots, a_{ik}^+, \dots, a_{mm}^+\}$ , а інші н/п  $\{A_1^-, A_2^-, \dots, A_m^-\}$  потребують цих вантажів в обсягах, відповідно,  $\{a_{11}^-, a_{12}^-, \dots, a_{ik}^-, \dots, a_{mm}^-\}$ . У першому випадку ці ТВ називаються *постачальниками*, а в другому – *споживачами* вантажів, причому той самий ТВ може одночасно бути як у ролі *постачальника* одного виду вантажу, так і в ролі *споживача* іншого виду вантажу. (Тут перший нижній індекс  $i$  означає номер ТВ у списку постачальників при верхньому індексі рівному „+” або споживачів при верхньому індексі рівному „-”, а другий нижній індекс  $k$  – вид вантажу, наявний у зазначеному ТВ при верхньому індексі рівному „+”, і необхідний в зазначеному ТВ при верхньому індексі рівному „-”).

У загальному випадку завдання полягає в доставці (якщо можливо) всіх обсягів  $\{a_{11}^+, a_{12}^+, \dots, a_{ik}^+, \dots, a_{mm}^+\}$   $l$ -видів вантажу від *постачальників*  $\{A_1^+, A_2^+, \dots, A_m^+\}$  до їхніх *споживачів*  $\{A_1^-, A_2^-, \dots, A_m^-\}$ , відповідно, в обсягах  $\{a_{11}^-, a_{12}^-, \dots, a_{ik}^-, \dots, a_{mm}^-\}$  (також, якщо можливо). Причому сумарні обсяги з кожного  $k$ -виду вантажу, що знаходяться у всіх *постачальників*, можуть не збігатися із сумарними замовленнями на ці ж самі види вантажу у всіх їхніх *споживачів*.

Показниками якості перевезень у таких ТС є час і вартість їхнього виконання, причому перший показник ми винесемо в обмеження задачі, а другий показник буде виступати критерієм оптимізації. Варто зазначити при цьому той факт, що перевізний процес при такій вихідній постановці транспортного завдання може здійснюватися наступними чотирма способами:

I-й спосіб – перевезення здійснюються одним видом транспорту (1, 2 і 3 варіанти перевезень) безпосередньо від *постачальника* одного з  $k$ -видів вантажу до його *споживача*, тобто:

від постачальника  $A_1^+$  вантаж обсягом  $a_{11}^{+*} \rightarrow$  до споживача  $A_3^-$  обсягом  $a_{31}^{-*}$ , де  $a_{11}^{+*} = a_{31}^{-*} = \min(a_{11}^+, a_{31}^-)$ , причому загальна кількість варіантів перевезень таким способом складе:

$$K_I = K_1 + K_2 + K_3; \quad (1.14)$$

II-й спосіб – перевезення здійснюються спочатку за допомогою автомобільного транспорту до найближчого від постачальника одного з  $k$ -видів вантажу транспортного вузла, а потім до споживача цього виду вантажу відповідним видом транспорту, що має відповідний транспортний вузол (4 і 7 варіанти перевезень),

від постачальника  $A_3^+$  вантаж обсягом  $a_{32}^{+*} \rightarrow$  до в/п  $A_2^- \rightarrow$  до споживача  $A_6^-$  (в/п) обсягом  $a_{62}^{-*}$ ,

де  $a_{32}^{+*} = a_{62}^{-*} = \min(a_{32}^+, a_{62}^-)$ , причому загальна кількість варіантів перевезень таким способом складе:

$$K_{II} = K_4 + K_7; \quad (1.15)$$

III-й спосіб – перевезення здійснюються спочатку за допомогою відповідного виду транспорту від постачальника одного з  $k$ -видів вантажу до найближчого від споживача цього ж виду вантажу відповідного транспортного вузла, а потім до споживача автомобільним транспортом (5 і 8 варіанти перевезень), тобто:

$$K_{III} = K_5 + K_8;$$

Щодо наведених вище способів перевезень варто зробити кілька зауважень, а саме:

- при усіх способах перевезення вантажів найкоротші шляхи можуть пролягати через ТВ, у яких потрібні ці ж самі вантажі;
- також при усіх способах перевезення вантажів можуть здійснюватися через декілька проміжних ТВ, що мають запаси цих вантажів;
- при усіх способах одночасно можуть перевозитися кілька видів вантажу;
- додатковими обмеженнями перевізного процесу виступають пропускні можливості ТВ і пропускні здатності транспортних магістралей.



Модель мультимодальних вантажних перевезень. Представимо описану вище модель перевізного процесу в матричному вигляді.

Матриця має розмірність  $M \times n \times M \times n$  ( $M$  – кількість ТВ,  $n$  – кількість видів товарів). На місцях перетинання рядків і стовпців ставляться пропускна здатність  $d_{ij}$ , термін доставки  $t_{ijk}$  і вартість перевезення  $c_{ijk}$  одиниці  $k$ -го виду вантажу між  $i$ -им пунктом постачання і  $j$ -им пунктом споживання, яка повинна здійснюватися найкоротшими шляхами, тобто: 67

$c_{ijk}$  – вартість перевезення одиниці  $k$ -го виду вантажу від  $i$ -го пункту постачання до  $j$ -го пункту споживання;

Математично задача виконання мультимодальних (додаємо до вищенаведеної моделі  $l$  видів транспорту) вантажних перевезень  $k$ -их видів вантажу ( $k$ ) від  $i$  до  $j$

$i$ -их пунктів постачання ( $i$ ) до  $j$ -их пунктів споживання ( $j$ ) зводиться до перебування таких обсягів перевезень  $x_{ijkl}$ , що задовольняли б таким обмеженням:  $M_{i,1} \leq M_{j,1}$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^3 x_{ijk} \leq a_{ik}^+ \quad \text{для } (i = \overline{1, m}; k = \overline{1, n}; i \neq j), \quad (1.18)$$

тобто загальний обсяг вивезення з кожного  $i$ -го пункту постачання до усіх  $j$  пунктів споживання  $k$ -го виду вантажу усіма  $l$  видами транспорту повинний бути не більше обсягу цього  $k$ -го виду вантажу  $a_{ik}^+$ , який у нього є;

$$\sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^3 x_{ijk} \leq a_{jk}^- \quad \text{для } (j = \overline{1, m}; k = \overline{1, n}; i \neq j), \quad (1.19)$$

тобто загальний обсяг доставки до кожного  $j$ -го пункту споживання з усіх  $i$  пунктів постачання  $k$ -ого виду вантажу усіма  $l$  видами транспорту повинний бути не більше, ніж замовлений ним обсяг цього  $k$ -ого виду вантажу  $a_{jk}^-$ ;

$$\sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^3 t_{ijk} \leq d_{ij} \quad \text{для } (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, m}; i \neq j), \quad (1.20)$$

тобто загальний обсяг перевезення  $k$  видів вантажу усіма  $l$  видами транспорту не повинний перевищувати пропускних здатностей відповідних транспортних комунікацій;

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^3 t_{ijkl} \leq T \text{ для } (k = \overline{1, n}; i \neq j), \quad (1.21)$$

тобто термін доставки будь-якого вантажу  $k$ -го виду не повинний перевищувати визначеного часу  $T$ ;

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^3 x_{ijkl} \cdot c_{ijkl} \Rightarrow \min \text{ для } (i \neq j), \quad (1.22)$$

$$\text{при } x_{ijkl} \geq 0, \quad (1.23)$$

в цілому вартість сумарних позитивних перевезень усіх вантажів повинна бути мінімальною.

Приведений опис моделі комплексних перевезень у ТС дає можливість системно підійти до задачі оптимізації транспортних перевезень неоднорідних вантажів за комбінованою схемою використання різних видів транспорту (авіаційного, водного, автомобільного і залізничного) з урахуванням усього спектра обмежень, що існують у системах подібного роду. Матричне представлення

перевізнього процесу, у свою чергу, дозволяє описати його у вигляді відповідної математичної моделі (1.18)–(1.23) і застосувати при її аналізі методи і засоби сучасних інформаційних технологій [59].

Спільне використання при рішенні задачі мультимодальних транспортних перевезень в межах МТК таких методів як [47, 48]:

- методи зведення незбалансованих за обсягами перевезень вантажопотоків до закритого виду [60];
- методи знаходження найкоротших шляхів у мережевих моделях вантажних перевезень [61];
- методи розв'язання ТЗ про призначення [62];
- методи оптимізації перевезень неоднорідних вантажів [63] при наявності обмежень на пропускні здатності комунікацій і самих транспортних вузлів [64], а також обмежень на час перевезень [65] дозволить значно ефективніше організувати перевізний процес вантажів у транспортних системах різної розмірності і топології [66].

Створення єдиної міжнародної транспортно-логістичної системи, географічне положення транспортного простору України, а також наявність багатьох міжнародних транспортних коридорів вимагає наступне:

- окремого аналізу управління роботою транспортних вузлів;
- забезпечення координації та взаємодії усіх видів транспорту;
- впровадження сучасних досягнень науково-технічної революції в роботу

транспорту.

Розробка ефективної організації доставки вантажів з взаємоузгодженістю всіх ланок транспортного процесу викликала необхідність великої кількості теоретичних і експериментальних досліджень з різних питань транспорту [55]. За функціональними ознаками їх можливо класифікувати за такими напрямками:

- загальні питання теорії транспортних систем і процесів;
- експлуатаційні властивості транспортних засобів;
- взаємодія видів транспорту і транспортно-експедиційна діяльність;
- формування логістичних систем.

Загальним питанням теорії транспортних процесів і систем присвячені фундаментальні роботи Афанасьєва Л.Л. [67], Воркута А.І. [20, 21], Міротіна Л.Б. [30], Левковця П.Р. [25, 26] та інших вчених. В них встановлені основні закономірності функціонування транспортних систем, розроблені принципи формування систем і методів раціональної організації виробництва, технологія взаємодії різних видів транспорту і транспортно-експедиційна діяльність розглядалася в роботах Коцюка О.Я. [28], Милославской С.В. [32], Зайончика Л.Г. [37] та інші.

Проблеми органічного сполучення транспортних та виробничих систем вирішуються в межах логістичного напрямку. Її основною задачею є оптимізація процесів у системі “виробник – транспортування – споживач”. Започаткуванню основ теорії цього напрямку сприяють наукові дослідження Беляєва В.М. [33], Смахова А.А. [67] та інші.

Аналіз наукових праць [20, 21, 25, 26, 28, 30, 32, 33, 37, 66, 67] дозволив зробити наступні висновки, що:

□ одними з основних факторів, що впливають на ефективність функціонування ТС, є якість маршрутизації вантажних перевезень і рівень взаємодії різних видів транспорту;

□ для отримання адекватних результатів при моделюванні окремих компонентів ТС необхідно враховувати їх стохастичні характеристики;

□ оцінка виконання вантажних перевезень в ринкових умовах потребує удосконалення відповідних критеріїв ефективності.

На цій основі розроблена загальна схема наукового дослідження процесу вантажних перевезень в МТК, що представлена на рис. 1.9. З цієї схеми видно, що реалізація групи задач одного етапу забезпечує створення засобів розв'язання групи задач наступного етапу [25, 26].

Системна мета  $M_c$  може бути розподілена шляхом декомпозиції на локальні цілі  $M_{ik}$ , які враховують окремі аспекти транспортної діяльності. Звідси, задачі дослідження ставляться і вирішуються комплексно з урахуванням функціональних взаємозв'язків згідно з формулою системного аналізу:

$$M_c \rightarrow M_{ik} \{ \tilde{M}_{ik} : \tilde{M}_{ik} \in M_{ik}; i=1,2,\dots,I, k=1,2,\dots,K \}, \quad (1.24)$$

$$M_{ik} \rightarrow F_{ik} \{ \tilde{F}_{ik} : \tilde{F}_{ik} \in F_{ik}; i=1,2,\dots,I, k=1,2,\dots,K \}, \quad (1.25)$$

$$F_{ik} \rightarrow Z_{ik} \{ \tilde{Z}_{ik} : \tilde{Z}_{ik} \in Z_{ik}; i=1,2,\dots,I, k=1,2,\dots,K \}, \quad (1.26)$$

$$Z_{ik} \rightarrow R_{ik} \{ \tilde{R}_{ik} : \tilde{R}_{ik} \in R_{ik}; i=1,2,\dots,I, k=1,2,\dots,K \}, \quad (1.27)$$

$$R_{ik} \rightarrow A_{ik} \{ \tilde{A}_{ik} : \tilde{A}_{ik} \in A_{ik}; i=1,2,\dots,I, k=1,2,\dots,K \}, \quad (1.28)$$

$$A_{ik} \rightarrow \Pi_{ik} \{ \tilde{\Pi}_{ik} : \tilde{\Pi}_{ik} \in \Pi_{ik}; i=1,2,\dots,I, k=1,2,\dots,K \}, \quad (1.29)$$

$$\Pi_{ik} \rightarrow \Sigma_{ik} \{ \tilde{\Sigma}_{ik} : \tilde{\Sigma}_{ik} \in \Sigma_{ik}; i=1,2,\dots,I, k=1,2,\dots,K \}, \quad (1.30)$$

$$\Sigma_{ik} \rightarrow P_{ik} \{ \tilde{P}_{ik} : \tilde{P}_{ik} \in P_{ik}; i=1,2,\dots,I, k=1,2,\dots,K \}, \quad (1.31)$$

де  $M_c$ ,  $M_{ik}$  – відповідно системна і локальна мета забезпечення результативності вдосконалення транспортного процесу;

$F_{ik}$  – множина функцій, які необхідно реалізувати на  $i$ -му проміжку часу;

$Z_{ik}$  – множина задач забезпечення необхідного рівня результативності вдосконалення;

$R_{ik}$  – множина методів вирішення задач;

$A_{ik}$  – множина алгоритмів вирішення задач  $Z_{ik}$ ;

$\Pi_{ik}$  – програмно-інструментальні засоби вирішення задач  $Z_{ik}$ ;

$\Sigma_{ik}$  – множина систем (підсистем), що реалізує множину задач  $Z_{ik}$  на даному проміжку часу;

$P_{ik}$  – результати вирішення множини задач  $Z_{ik}$  на даному проміжку часу;

$k$  – номер компоненти.

Основні комплекси задач досягнення поставленої мети можна класифікувати наступним чином:

1. Науково-методичні задачі.
2. Задачі, що пов'язані з підвищенням ефективності управління вантажними перевезеннями у МТК, визначення їх сучасного стану, перспектив розвитку та можливостей вдосконалення.
3. Задачі, що пов'язані з впровадженням заходів вдосконалення функціонування об'єкту дослідження.

## **2. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В МІЖНАРОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРАХ**

### **2.1 Імітаційне моделювання – як метод дослідження функціонування міжнародних транспортних коридорів**

У процесі функціонування різних складових транспортних систем постійно виникає необхідність рішення задач, пов'язаних з їх роботою як систем масового обслуговування різного виду вимог. Це обумовлено тим, що їх призначенням, як правило, є саме обслуговування різноманітних споживачів транспортних послуг (замовлень). Тому вирішення задач аналізу й оптимізації режимів роботи різних ланок транспортних систем є досить актуальним і здатним значно підвищити ефективність використання транспорту в різних галузях народного господарства [9, 10, 71].

Функціонування окремих складових ТС розглядається в цьому випадку як сукупність послідовно пов'язаних між собою вхідних потоків вимог на обслуговування (транспортних засобів, пасажирів тощо), каналів обслуговування (пунктів пропуску, станцій техобслуговування тощо) і вихідних потоків вимог після обслуговування [23, 72].

Різноманіття додатків теорії масового обслуговування визначає постійно зростаючий інтерес до неї, а складність виникаючих задач не дозволяє одержати вичерпні рішення на базі аналітичних методів навіть при чисельній реалізації останніх [72-75]. У таких ситуаціях змушені використовувати імітаційне моделювання, яке є незамінним інструментом аналізу експлуатаційних і багатьох інших характеристик і параметрів досліджуваних систем. Перспективним напрямком досліджень є використання сучасних комп'ютерних інформаційних технологій в імітаційному моделюванні стосовно до транспортних систем масового обслуговування [76].

Реалізації процесу роботи СМО моделюються на ЕОМ за допомогою серій випадкових або псевдовипадкових величин. Усереднення результатів моделювання за часом функціонування моделі або за кількістю реалізацій

процесу дозволяє методами математичної статистики одержати шукані характеристики системи.

Імітаційна модель СМО – це модель, яка показує як поведе себе система і як зміниться її стан у часі при заданих потоках вимог, що надходять на входи системи. Параметри вхідних потоків вимог – зовнішні параметри СМО. Вихідними параметрами є величини, що характеризують властивості системи і якість її функціонування. Імітаційне моделювання дозволяє досліджувати СМО при різних типах вхідних потоків і різній інтенсивності надходження вимог до системи, а також різних дисциплінах обслуговування вимог.

На сьогодні, у світі програмного забезпечення, найбільш потужним і універсальним середовищем імітаційного моделювання, призначеним для професійного моделювання найрізноманітніших процесів і систем, є система *GPSSW* (General Purpose Simulation System World – всесвітня система імітаційного моделювання загального призначення) [7]. Ця система призначена для моделювання дискретних, переважно, СМО та безперервних систем. Вона є досить ефективним інструментом імітаційного моделювання, незалежним від обмежень аналітичних і чисельних методів, досить “прозорим”, що допускає нестандартну обробку даних і знімає з користувача безліч нетривіальних проблем програмування і налагодження моделей.

Комп'ютерне моделювання знайшло практичне застосування у всіх сферах діяльності людини, починаючи від моделей технічних, технологічних і організаційних систем і закінчуючи проблемами розвитку людства і Всесвіту. З усіх видів моделювання, а це в першу чергу математичне, графічне та ін., особливої уваги заслуговує імітаційне моделювання. Огляд систем моделювання в роботі [80] показує, що імітаційне моделювання є одним із найпопулярніших засобів моделювання, які застосовують на практиці. Для складання імітаційних моделей використовують як універсальні мови програмування – C++, Delphi, Pascal [8], так і спеціалізовані, розроблені навмисно для побудови алгоритмів моделювання: GPSSW, СОЛ, СИМУЛА, СИМСКРИПТ, СТАМ/КЛАС та ін. [8].

Основні принципи побудови імітаційних моделей у транспортних системах, як системах масового обслуговування [4] розглянуті на спрощеному прикладі пункту пропуску (ПП) міжнародного транспортного коридору (МТК).

До ПП МТК надходять два типи вимог: перша складається з автомобілів, що здійснюють вантажні міжнародні перевезення (час обслуговування таких вимог становить  $t_1$ ); друга – з автомобілів, що здійснюють пасажирські міжнародні перевезення (час обслуговування таких вимог дорівнює  $t_2$ ). Для простоти викладу будемо вважати, що  $t_1$  і  $t_2$  – постійні величини (неважко видозмінити модель так, щоб  $t_1$  і  $t_2$  були випадковими величинами із заданим законом розподілу).

Припустимо, що ПП МТК може обслуговувати (проводити митний контроль) одночасно тільки один автомобіль (тобто у цьому випадку ми розглядаємо окремих коридор в'їзду/виїзду – КВВ). Якщо в момент прибуття нового автомобіля КВВ зайнятий, то автомобіль умовно стає в одну із двох черг: одна складається з автомобілів, що здійснюють міжнародні вантажні перевезення, інша – з автомобілів, що здійснюють міжнародні пасажирські перевезення. Нехай обслуговування автомобілів провадиться в такому порядку: у момент звільнення КВВ обслуговування починається з автомобіля, що стоїть першим у черзі на міжнародні пасажирські перевезення. Тільки, якщо ця черга порожня, то обслуговується перший автомобіль із черги на вантажні міжнародні перевезення (кажучи мовою теорії черг, на вхід обслуговуючої системи з очікуванням надходять два незалежні потоки  $1,2$  вимог (замовлень), що обслуговуються за правилом відносних пріоритетів). Формалізована схема системи показана на рис. 2.1.

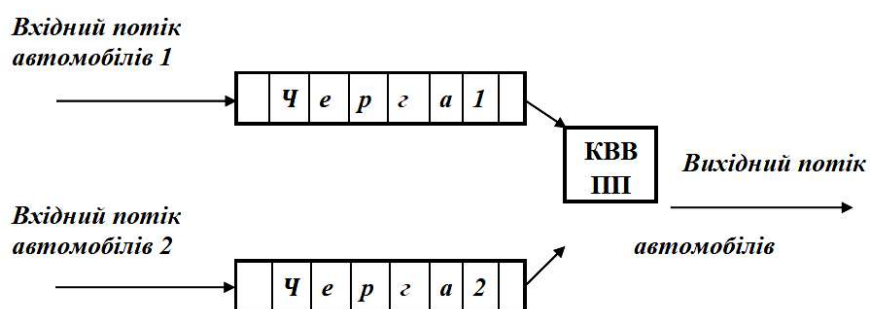


Рис.2.1. Формалізована схема системи



На рис. 2.2 зображена часова діаграма, що ілюструє роботу цієї системи. Обидва потоки вимог, що надходять до КВВ, можна описати функцією розподілу  $A(t)$  проміжків години між моментами прибуття їх до черги (ця функція буде своя для кожного потоку), тобто  $A\{t\} = Pr\{Q < t\}$ .

При моделюванні функція  $A(t)$  уже повинна бути відома (її можна одержати, наприклад, шляхом реєстрації і подальшого статистичного аналізу моментів прибуття автомобіля до черги в реальних умовах). Практика дослідження систем масового обслуговування показує, що в багатьох випадках прийнятною виявляється апроксимація функції розподілу інтервалів між моментами надходження замовлень до системи експонентною функцією:

$$A(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t} & \text{для } t \geq 0; \\ 0 & \text{для } t < 0, \end{cases} \quad (2.1)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність вхідного потоку (величина, зворотна середньому інтервалові часу між приходом двох суміжних вимог).

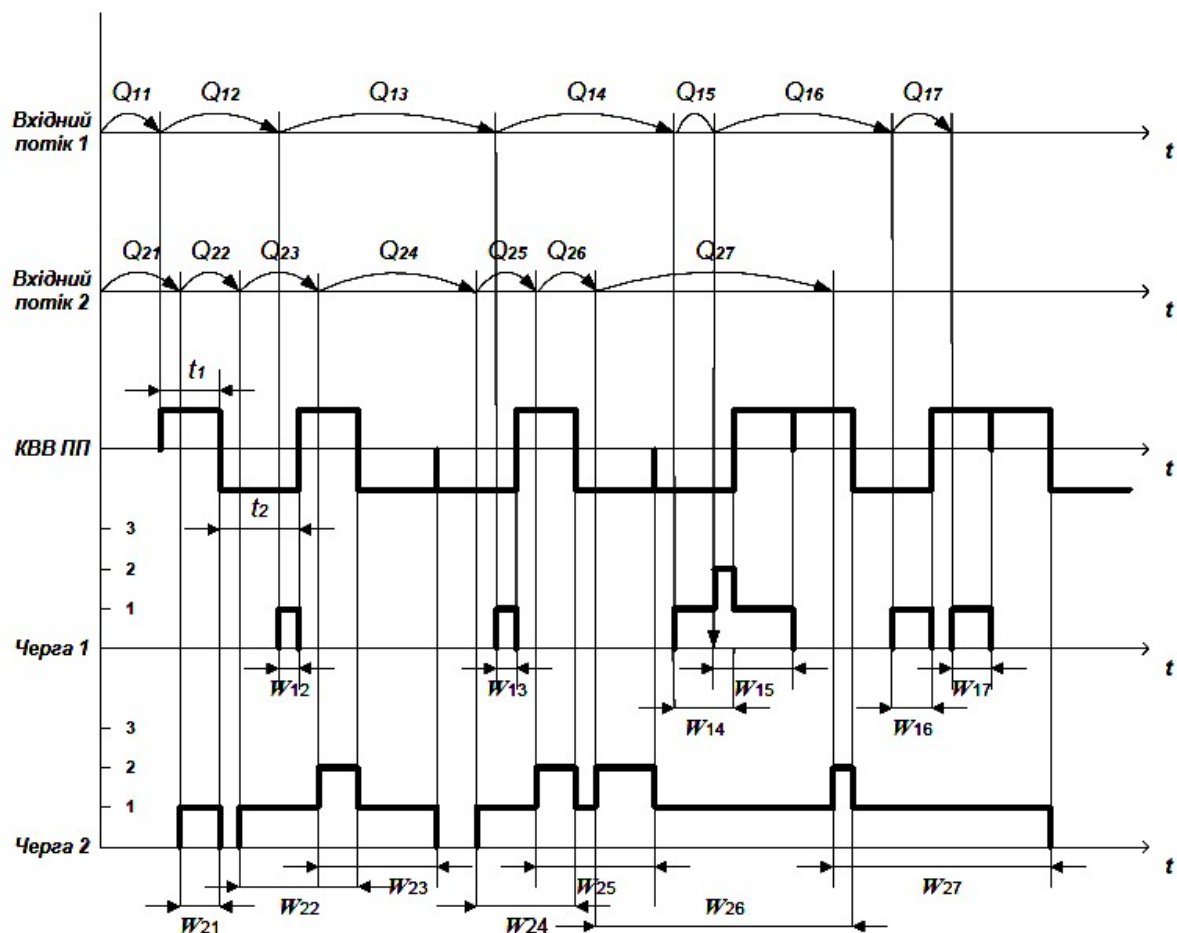


Рис.2.2. Часова діаграма роботи системи

де  $Q_{1i}$ ,  $Q_{2i}$  – час прибуття у систему, відповідно, автомобілів з вхідного потоку 1 та вхідного потоку 2;  $W_{1i}$ ,  $W_{2i}$  – відносний час очікування у черзі, відповідно, автомобілів з вхідного потоку 1 та вхідного потоку 2. коридор в'їзду/виїзду – КВВ

У цьому випадку вимоги на вході створять так званий пуассонівський потік, однією із властивостей якого є те, що він “найбільш незручний” для СМО в тому сенсі, що час очікування і довжини черг виявляються більшими, ніж у випадку потоків з іншими функціями розподілу, але з тією ж інтенсивністю. Ця властивість дозволяє використовувати пуассонівський потік для аналізу систем, у яких реальний розподіл для вхідного потоку одержати важко (своєрідний “розрахунок на гірший випадок”). Якщо часова діаграма, яка відтворює роботу системи за досить довгий проміжок часу  $T$ , побудована так, що випадкові величини  $Q_{1i}$  і  $Q_{2i}$  відповідають реальним законам розподілу, то статистичні характеристики роботи системи можна одержати аналізом цієї часової діаграми. Допустимо, що нас цікавить середній час очікування вимог у черзі для потоків 1 і 2. Для кожної  $i$ -ої вимоги час очікування в черзі дорівнює різниці між моментом часу, коли вона почала обслуговуватися і моментом часу, коли вона прийшла до системи. Середній час очікування становить:

$$\omega_{1cp} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} \omega_{1i}; \quad \omega_{2cp} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} \omega_{2i}, \quad (2.2)$$

де:  $n_1$  і  $n_2$  – кількість вимог відповідно потоків 1 і 2, що були обслужені системою за час  $T$ .

Підсумовуючи кількість вимог у черзі через невеликі проміжки часу і розділивши отриману суму на кількість підсумовувань, одержимо середнє значення довжини черги:

$$L_{1cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_{1i}; \quad L_{2cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_{2i}, \quad (2.3)$$

де:  $m_{1i}$  та  $m_{2i}$  – кількість вимог у першій і другій чергах на момент спостереження  $i$ ;

$N$  – кількість моментів спостереження (моментів зняття статистики) за час  $T$ .

Дисперсія величин  $\omega$  і  $L$ :

$$D\omega_1 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (\omega_{1i} - \omega_{1cp})^2; \quad (2.4)$$

Можна також побудувати і гістограми, що характеризують розподіл величин  $\omega$  і  $L$ . Таким чином, для одержання статистичних характеристик роботи системи досить мати часову діаграму, у якій всі випадкові величини повинні підпорядковуватися заданим законам розподілу. При цьому не обов'язково часова діаграма повинна бути вся повністю (для всього часового інтервалу від 0 до  $T$ ). Статистику можна накопичувати поступово, у процесі роботи системи або моделі.

Спостереження із секундоміром за роботою реальної системи є тривалим і трудомістким процесом, що не дозволяє досліджувати систему в умовах зміни її параметрів. У цьому випадку на допомогу може прийти модель – імітатор системи. Для її побудови насамперед треба вміти імітувати моменти надходження вимог до черги кожного потоку.

Далі необхідно скласти алгоритм, що описує логіку роботи черги (зрозуміло, що алгоритм буде ідентичним для обох черг). Припустимо, що черга має максимальну довжину  $LM$  (число місць для очікування). Одномірний масив  $P$ , що складається з елементів (комірок)  $P1, P2 \dots PLM$ , імітує “місця” цієї черги. Кожна із цих комірок може бути або порожньою, або зайнятою вимогою. За еквівалент вимоги зручно брати момент її приходу до черги – ця інформація знадобиться для визначення часу очікування вимоги у черзі. Комірка  $X$  використовується як робоча комірка при записі чергової вимоги до черги або при виході із черги.

Комірки  $PER$  і  $POS$  містять інформацію, яка дозволяє визначити наявність відповідно першої і останньої вимог у черзі. Цією інформацією є номер (індекс) відповідної комірки масиву  $P$ .

У момент вибору вимоги із черги зміст комірки  $PER$  збільшується на одиницю за правилом вибору із черги у порядку надходження. Зміст комірки  $POS$  збільшується на одиницю при записі до черги нової вимоги. Максимальне значення змінних  $PER$  і  $POS$  дорівнює  $LM$ , тому їхня зміна відбувається відповідно до формул:

$$PER = \begin{cases} PER + 1, & \text{якщо } PER < LM; \\ PER + 1 - LM, & \text{якщо } PER \geq LM; \end{cases}$$

$$POS = \begin{cases} POS + 1, & \text{якщо } POS < LM; \\ POS + 1 - LM, & \text{якщо } POS \geq LM. \end{cases}$$

Змінна  $NP$ —кількість вимог у черзі; при виборі із черги  $NP$  зменшується на одиницю, а при записі до черги — збільшується на одиницю. Змінна  $PUST$  дорівнює одиниці, якщо в черзі немає вимог, і дорівнює нулю, у протилежному випадку. Змінна  $POLN$  дорівнює одиниці, якщо в черзі немає вільних місць (у цьому випадку нова вимога не може бути записана до черги).

Змінна  $WYB$  повинна набувати значення 1, якщо звертання до алгоритму, що імітує роботу черги, виконується з метою вибірки з останньої. Якщо ж звертання до цього алгоритму виконується для запису, то необхідно встановити  $WYB=0$ .

Схема алгоритму, що імітує роботу черги 1, наведена на рис. 2.4 (всі змінні цього алгоритму, на відміну від змінних алгоритму черги 2, мають у своїх назвах цифру 1).

Роботу КВВ можна описати ознакою “вільно-зайнято”, що змінюється в часі. Зацю ознаку можна взяти двійкову змінну  $KSW$  ( $KSW=1$ , якщо КВВ вільний і  $KSW=0$ , якщо канал обслуговування зайнятий).

Нехай попередній момент звільнення КВВ  $T3$ . Тоді відповідно до логіки роботи системи виконується звертання до черги 1, і якщо вона не порожня, то наступний момент звільнення КВВ буде  $T3 = T3 +$ .

Якщо ж черга 1 порожня, то відбувається звертання до черги 2. При цьому можливі два варіанти:

- 1) якщо ця черга не порожня, то наступний момент звільнення КВВ буде  $T3=T3$ .
- 2) якщо черга 2 порожня, то встановлюється значення  $KSW=1$ .

## 2.2. Мережева модель представлення та методи оптимізації перевезень вантажів в міжнародних транспортних коридорах

Здійснимо вирішення задачі оптимізації перевезень вантажів на транспортній мережі (ТМ) для конкретного прикладу, який зображений на рис. 2.3. Вершинами цієї ТМ є постачальники  $A_i$ , одержувачі  $B_j$ , а також проміжні пункти  $C_k$  транспортування однорідного вантажу ( $i \leq m; j \leq n; k \leq l; m = 3; n = 7; l = 2$ ). Довжини дуг ( $LRS$ ) між пунктами  $r$  і  $s$  дорівнюють відстаням (в км) і ці значення проставлені на цих дугах.

Запаси постачальників і заявки одержувачів проставлені у відповідних транспортних вузлах (ТВ). Треба зазначити на той факт, що проміжні пункти  $C_k$  не мають наявності і потреб у вантажі – це позначено на мережі нульовими значеннями у відповідних ТВ. Розв'язок проводимо методом потенціалів [8]. Порядок розв'язку за цим методом наступний:

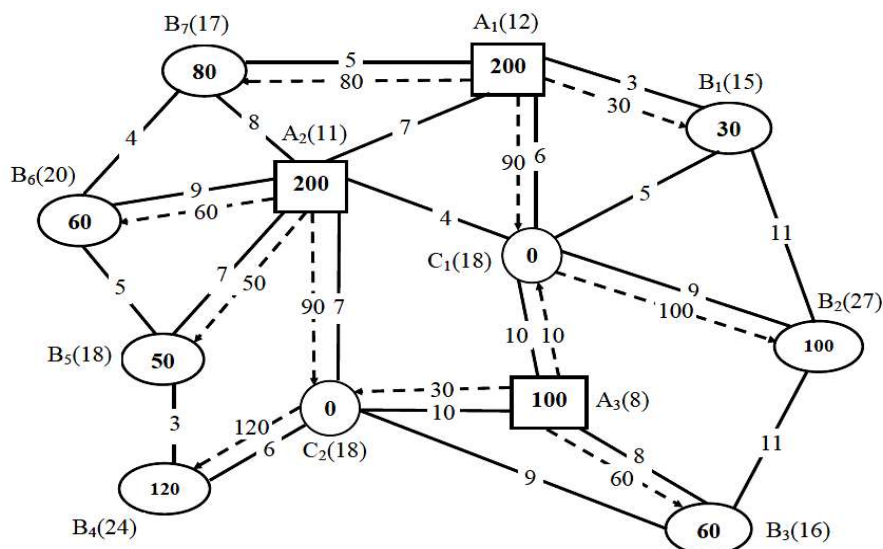


Рис.2.3. Транспортна мережа

Рухаючись *завантаженими* дугами, визначаємо потенціали всіх інших вершин.

За правилом присвоєння потенціалів при русі *в напрямку* перевезення до наступного потенціалу додається довжина завантаженої дуги. Якщо ж рух здійснюється *проти напрямку* перевезення – довжина дуги вираховується з попереднього потенціалу. Наприклад, потенціал  $B1$  по відношенню до  $A1$  дорівнює  $(12 + 3) = 15$ , потенціал  $A3$  по відношенню до  $C1$  дорівнює  $(18 - 10) = 8$  і т.д.;

– складається опорний (базовий) план перевезень, який передбачає задовольнити в першу чергу тих одержувачів вантажу, які розташовані найближче від постачальників, і уникнути при цьому, по можливості, зустрічних перевезень. Визначених правил його складання в сітьовій постановці не існує, окрім намагання уникнути замкнутих контурів із завантажених дуг. На рис.2.9 опорний план перевезень показано пунктирними стрілками із вказівкою поряд з ними відповідних об'ємів перевезень ( $xRS$ );

– присвоїмо потенціали всім вузлам мережі. Для цього присвоїмо будь-якому з ТВ потенціал, який більший за *максимальну* відстань між вузлами (у нашому прикладі вузлу  $A1$  присвоїмо потенціал 12).

– перевіряємо базовий план на оптимальність. Для цього перевіряються різниці потенціалів всіх не завантажених дуг. Якщо різниця потенціалів менша за довжину цієї дуги, то таке відгалуження не є потенційне для навантаження на нього перевезення вантажу, якщо більша – то потенційне. Шукаємо всі потенційні дуги. Їх є три:

$$A_2C_1 \Rightarrow 18 - 11 = 7 > 4; \quad B_1B_2 \Rightarrow 27 - 15 = 12 > 11; \quad B_4B_5 \Rightarrow 24 - 18 = 6 > 3.$$

Вибираємо найбільшу різницю (найбільше потенційне привабливу дугу). Таких дуг буде дві:  $A_2C_1 \Rightarrow 18 - 11 = 7 > 4$  і  $B_4B_5 \Rightarrow 24 - 18 = 6 > 3$ .

Вибираємо будь-яку з них, наприклад,  $A_2C_1$  і виконуємо перерозподіл поставок вантажу. Для цього оцінюємо замкнутий контур, що складається із завантажених дуг, крім однієї –  $A_2C_1$ . Таким контуром буде  $A_2 \rightarrow C_1 \rightarrow A_3 \rightarrow C_2 \rightarrow A_2$ . Завантажуємо потенційну (не завантажenu) дугу  $A_2C_1$ , переміщуючи вантаж по даному контуру. Напрямок переміщення від меншого потенціалу відгалуження  $A_2C_1$  до більшого, тобто від  $A_2$  до  $C_1$  і далі по контуру. Величина перерозподілу вантажу дорівнює найменшій величині зустрічного перевезення в даному контурі. Для

даного контуру зустрічними будуть перевезення, рівні 10 і 90. Вибираємо величину завантаження, рівну 10 т. Зустрічні дуги побудованого контуру будуть зменшуватися на цю величину, супутні - збільшуватися. На цьому перше корегування плану завершено. Новий план перевезень представлено на рис. 2.4.

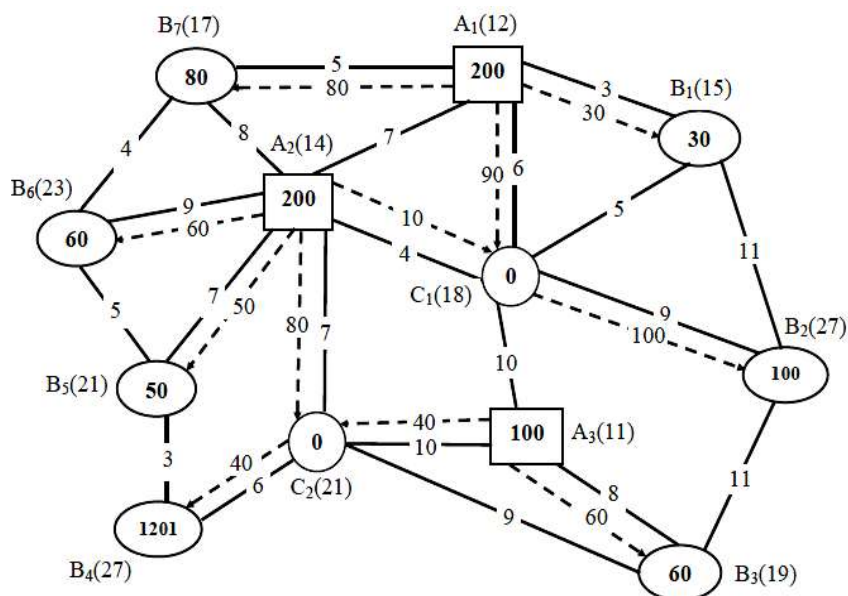


Рис.2.4. 1-е корегування плану перевезень

Повторюємо процедури визначення потенціалів перевірки на оптимальність і корегування до тих пір, доки не залишиться більше потенційних дуг. На рис. 2.4 потенційними відгалуженнями будуть три:

$$B_6B_7 \Rightarrow 23 - 17 = 6 > 4; \quad B_1B_2 \Rightarrow 27 - 15 = 12 > 11; \quad B_5B_4 \Rightarrow 27 - 21 = 6 > 3;$$

Найбільш потенційно приваблива дуга -  $B_5B_4 \Rightarrow 27 - 21 = 6 > 3$ . Вибираємо замкнутий контур для переміщення вантажу  $B_5 \rightarrow B_4 \rightarrow C_2 \rightarrow A_2 \rightarrow B_5$ . Напрямок переміщення вантажу: від  $B_5$  до  $B_4$ , мінімальний зустрічний потік вантажу на дузі  $A_2C_2$  дорівнює 80 т. Зробимо перерозподіл вантажу і отримаємо план перевезень,

Рис.2.5.

Для цього плану маємо дві потенційні дуги:

$$B_7B_6 \Rightarrow 23 - 17 = 6 > 4; \quad B_1B_2 \Rightarrow 27 - 15 = 12 > 11.$$

Завантажуємо гілку  $B_7B_6$  по контуру:  $B_7 \square B_6 \square A_2 \square C_1 \square A_1 \square B_7$  потоком, що дорівнює мініальному зустрічному між  $B_6$  і  $A_2$ , тобто 60 т, отримуємо новий план перевезень (рис. 2.5), визначаємо знову потенціали і робимо перевірку на оптимальність.

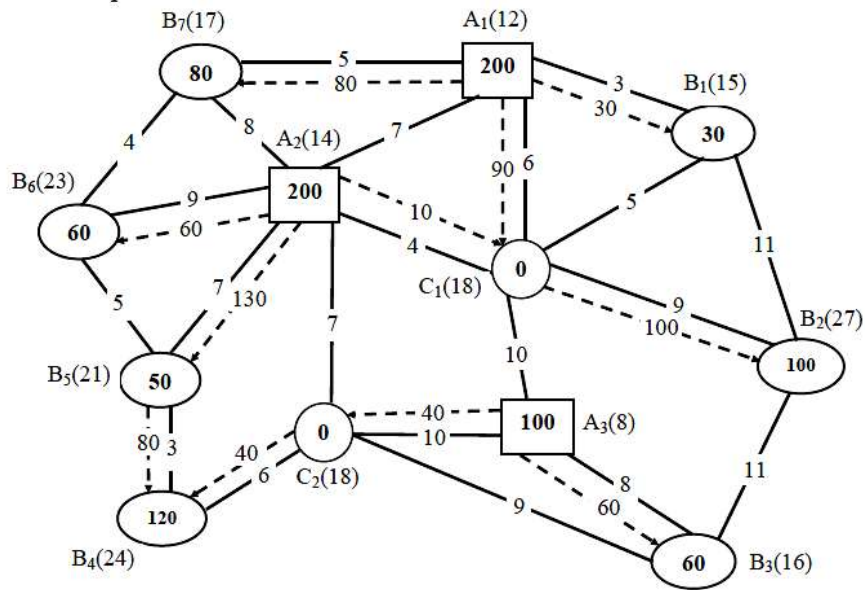


Рис.2.5. 2-е корегування плану перевезень

Для цього плану маємо одну потенційну не завантажену дугу  $B_1B_2 \square 27 - 15 = 12 > 11$ . Вибираємо напрямок переміщення вантажу по контуру:  $B_1 \square B_2 \square C_1 \square A_1 \square B_1$ . Від  $A_1$  до  $C_1$  мінімальний зустрічний потік дорівнює 30 т. Будуємо новий план перевезень. Перевірка не завантажених дуг показує, що потенційних серед них немає, значить, отриманий план перевезень є оптимальним. Щоб перевірити ефективність проведеної оптимізації плану перевезень, потрібно підрахувати сумарні витрати на перевезення, прийнявши вартість 1 ткм рівною 1 *у.г.о.*

$$L_0 = 1 \text{ у.г.о.} \times (80 \times 5 + 30 \times 3 + 90 \times 6 + 100 \times 9 + 10 \times 10 + 60 \times 8 + 30 \times 10 + 120 \times 6 + 90 \times 7 + 50 \times 7 + 60 \times 9) = 5050 \text{ у.г.о.}$$

2. Після 1-го корегування плану перевезень (див. рис. 2.10):

$$L_1 = 1 \text{ у.г.о.} \times (80 \times 5 + 30 \times 3 + 90 \times 6 + 100 \times 9 + 10 \times 4 + 60 \times 9 + 50 \times 7 + 80 \times 7 + 120 \times 6 + 40 \times 10 + 60 \times 8) = 5020 \text{ у.г.о.}$$

3. Після 2-го корегування (див. рис. 2.11):

$$L_2 = 1 \text{ у.г.о.} \times (80 \times 5 + 30 \times 3 + 90 \times 6 + 100 \times 9 + 10 \times 4 + 60 \times 9 + 130 \times 7 + 80 \times 3 + 40 \times 6 + 40 \times 10 + 60 \times 8) = 4780 \text{ у.г.о.}$$

4. Після 3-го корегування плану перевезень (див. рис. 2.12):

$$L_3 = 1 \text{ у.г.о.} \times (60 \times 4 + 140 \times 5 + 30 \times 3 + 30 \times 6 + 100 \times 9 + 70 \times 4 + 130 \times 7 +$$



$$+ 80 \times 3 + 40 \times 6 + 40 \times 10 + 60 \times 8) = 4660 \text{ y.z.o.}$$

5. При оптимальному плані перевезень (див. рис. 2.13):

$$L_{\text{опт}} = 1 \text{ y.z.o.} \times (60 \times 4 + 140 \times 5 + 60 \times 3 + 30 \times 11 + 70 \times 9 + 70 \times 4 + 130 \times 7 + \\ + 80 \times 3 + 4(B_{7(17)} 40 \times 10 + 60 \times 8) = A_1(12) \text{ y.z.o.}$$

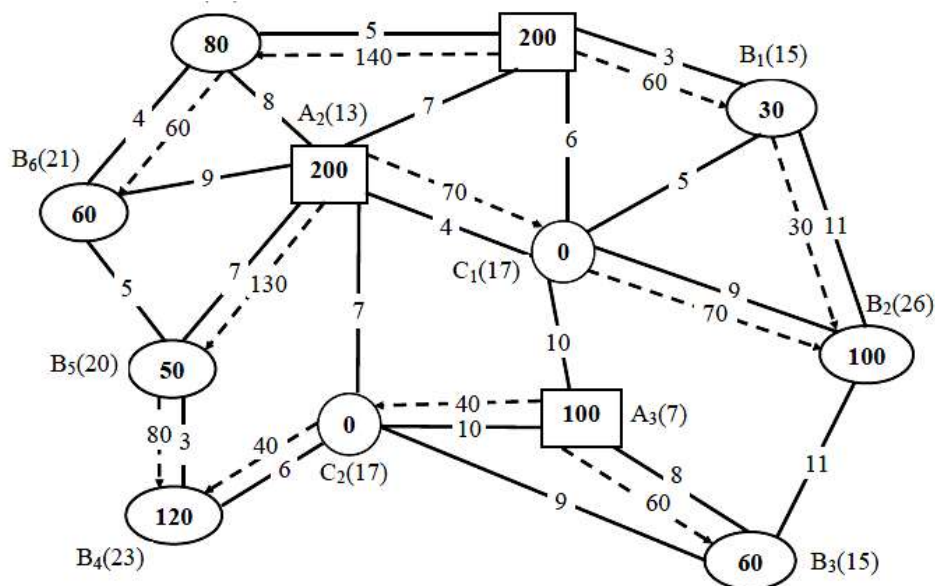


Рис.2.6. Оптимальний план перевезень

Таким чином, кожне корегування зменшує загальну вартість перевезень, послідовно наближаючи план перевезень до оптимального. Якщо при складанні початкового плану кількість завантажених дуг отримана більшою за  $(m + n - 1)$ , то необхідно прибрати "зайві" перевезення. Щоб прибрати одне перевезення необхідно:

- знайти на мережі контур тільки із зайнятих дуг.
- в цьому контурі вибрати дугу з найменшим навантаженням.
- зменшити навантаження дуг контуру в супутньому напрямку на величину найменшого навантаження і збільшити на цю ж величину навантаження гілок з зустрічним потоком перевезень.

Якщо ТЗ є відкритою (незбалансованою), то вводиться, як і в табличному методі, додатковий пункт відправлення або пункт призначення з обсягом вантажу, рівним різниці незбалансованих сумарних об'ємів перевезення вантажу. При цьому відстань від фіктивного пункту відправлення (або фіктивного пункту

призначення) до будь-якої зв'язаної з ним точки мережі приймається заздалегідь більшою в порівнянні" з існуючими в мережі відстанями між вершинами.

### **2.3 Матрично-мережева модель управління вантажними перевезеннями в міжнародних транспортних коридорах**

Формування матрично-мережевої моделі (МММ) управління перевезеннями вантажів у ТС включає декілька етапів [11, 12, 8]. Розглянемо ці етапи на прикладі транспортній мережі (ТМ), яка представлена на рисунку 2.14. Вона включає 3 пункти відправлення вантажу (ПВ) – А1, А2 і А3; 7 пунктів призначення вантажу (ПП) – В1, В2, В3, В4, В5, В6 і В7 та 2 транзитних пунктів (ПТ) – С1 і С2 певного вантажу. Відстань між пунктами вказана на відповідних ребрах, обсяги поставок і заявок вантажу проставлені у відповідних графічних об'єктах – ТВ.

*Першим етапом* формування МММ буде складання масиву відстаней між сусідніми вузлами ТМ, причому достатньо вказати відстань від ПВ до ПП кожного ребра графу в одному напрямку, так як відстань в зворотному напрямку передбачається той же самою. Слід зазначити той факт, що цей етап припускає ручне складання масиву.

Метод найкоротших маршрутів (МНМ) є методом *третього етапу* формування МММ [14]. Цей метод, використовуючи дані матриці кореспонденцій (див. табл.2.1, знаходить як значення найкоротших відстаней на ТМ від кожного постачальника вантажу до кожного його споживача (табл. 2.1), так і відповідні цим відстаням маршрути, які можуть містити проміжні пункти на шляхах переміщення вантажу.

*Четвертий етап* полягає в складанні за вихідними даними ТМ (див. рис. 2.7) і отриманими даними табл. 2.1 класичної транспортної таблиці (ТТ) і розв'язання отриманої транспортної задачі стандартними методами – спочатку складання опорного плану перевезень (допустимо методом мінімального вузла відправлення вантажу і подальше його поліпшення (наприклад методом потенціалів.

Матриця найкоротших відстаней на ТМ

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>7</sub>
A <sub>1</sub>	3	14	23	17	14	9	5
A <sub>2</sub>	9	13	16	10	7	9	8
A <sub>3</sub>	15	19	8	16	19	23	21

$$\begin{aligned}
 A_1 &\xrightarrow{3} B_1 && = && 3; \\
 A_1 &\xrightarrow{3} B_1 \xrightarrow{11} B_2 && = && 14; \\
 A_1 &\xrightarrow{7} A_2 \xrightarrow{7} C_2 \xrightarrow{9} B_3 && = && 23; \\
 A_1 &\xrightarrow{7} A_2 \xrightarrow{7} B_5 \xrightarrow{3} B_4 && = && 17; \\
 A_1 &\xrightarrow{7} A_2 \xrightarrow{7} B_5 && = && 14; \\
 A_1 &\xrightarrow{5} B_7 \xrightarrow{4} B_6 && = && 9; \\
 A_1 &\xrightarrow{5} B_7 && = && 5; \\
 A_2 &\xrightarrow{4} C_1 \xrightarrow{5} B_1 && = && 9; \\
 A_2 &\xrightarrow{4} C_1 \xrightarrow{9} B_2 && = && 13; \\
 A_2 &\xrightarrow{7} C_2 \xrightarrow{9} B_3 && = && 16; \\
 A_2 &\xrightarrow{7} B_5 \xrightarrow{3} B_4 && = && 10; \\
 A_2 &\xrightarrow{7} B_5 && = && 7; \\
 A_2 &\xrightarrow{9} B_6 && = && 9; \\
 A_2 &\xrightarrow{8} B_7 && = && 8; \\
 A_3 &\xrightarrow{10} C_1 \xrightarrow{5} B_1 && = && 15; \\
 A_3 &\xrightarrow{8} B_3 \xrightarrow{11} B_2 && = && 19; \\
 A_3 &\xrightarrow{8} B_3 && = && 8; \\
 A_3 &\xrightarrow{10} C_2 \xrightarrow{6} B_4 && = && 16; \\
 A_3 &\xrightarrow{10} C_2 \xrightarrow{6} B_4 \xrightarrow{3} B_5 && = && 19; \\
 A_3 &\xrightarrow{10} C_1 \xrightarrow{4} A_2 \xrightarrow{9} B_6 && = && 23; \\
 A_3 &\xrightarrow{10} C_1 \xrightarrow{6} A_1 \xrightarrow{5} B_6 && = && 21;
 \end{aligned}$$

Після побудови опорного плану перевезень ми маємо збалансовану, не вироджену ТЗ. Вартість реалізації цього плану при вартості 1 ткм рівною 1 у.з.о. складе:

$$\begin{aligned}
 L_0 = 1 \text{ у.з.о.} \times (60 \times 14 + 120 \times 17 + 20 \times 9 + 30 \times 9 + 50 \times 7 + 40 \times 9 + \\
 + 80 \times 8 + 40 \times 19 + 60 \times 8) = 5920 \text{ у.з.о.}
 \end{aligned}$$

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>7</sub>	U <sub>i</sub>
A <sub>1</sub>	<sup>3</sup> 30	<sup>14</sup> 30	23	17	14	<sup>9</sup> 60	<sup>5</sup> 80	0
A <sub>2</sub>	<sup>9</sup>	<sup>13</sup> 30	16	<sup>10</sup> 120	<sup>7</sup> 50	9	8	-1
A <sub>3</sub>	<sup>15</sup>	<sup>19</sup> 40	<sup>8</sup> 60	16	19	23	21	5
U <sub>j</sub>	3	14	3	11	8	9	5	Вартість = <b>4630</b>

Вартість реалізації оптимального плану перевезень вантажу складе:

$$L_{\text{opt}} = 1 \text{ у.з.о.} \times (30 \times 3 + 30 \times 14 + 60 \times 9 + 80 \times 5 + 30 \times 13 + 12 \times 10 + \\ + 50 \times 7 + 40 \times 19 + 60 \times 8) = 4630 \text{ у.з.о.}$$

Рис.2.7. ТТ з оптимальним планом перевезень і потенціалами

Побудуємо потенціали всіх рядків і стовпців ТТ або вершин ТМ (табл. 2.10) і перевіримо всі її вільні від перевезень клітки на предмет перерозподілу в них вантажопотоків:

$$\begin{aligned} A_1B_3: 0+3=3 < 23; & \quad A_1B_4: 0+11=11 < 17; & \quad A_1B_5: 0+8=8 < 14; \\ A_2B_1: -1+3=2 < 9; & \quad A_2B_3: -1+3=2 < 16; & \quad A_2B_6: -1+9=8 < 9; & \quad A_2B_7: -1+5=4 < 8; \\ A_3B_1: 5+3=8 < 15; & \quad A_3B_4: 5+11=16 = 16; & \quad A_3B_5: 5+8=13 < 19; & \quad A_3B_6: 5+9=14 < 23; \\ A_3B_7: 5+5=10 < 21. \end{aligned}$$

План є оптимальним, тому що усі вільні від перевезень вантажу клітки ТТ задовольняють умові оптимальності. Тому його подальше поліпшення за допомогою методу потенціалів є не доцільним.

Перейдемо до останнього *п'ятого етапу* формування МММ – етапу представлення результатів знайденого оптимального плану перевезень на ТМ [15].

Представлення результатів здійснюється двома способами – у вигляді відповідних маршрутів (див. нижче) і у графічному вигляді, причому оптимальні маршрути формуються автоматично за допомогою відповідної програми на підставі даних другого етапу: *По маршруту з A1 до B1 довжиною в 3 км веземо 30 т вантажу.*

*По маршруту з А1 до В1 довжиною в 3 км, потім з В1 до В2 довжиною в 11 км веземо 30 т вантажу.*

*По маршруту з А1 до В7 довжиною в 5 км, потім з В7 до В6 довжиною в 4 км веземо 60 т вантажу.*

*По маршруту з А1 до В7 довжиною в 5 км веземо 80 т вантажу.*

*По маршруту з А2 до С1 довжиною в 4 км, потім з С1 до В2 довжиною в 9 км веземо 30 т вантажу.*

*По маршруту з А2 до В5 довжиною в 7 км, потім з В5 до В4 довжиною в 3 км веземо 120 т вантажу.*

*По маршруту з А2 до В5 довжиною в 7 км веземо 50 т вантажу.*

*По маршруту з А3 до В3 довжиною в 8 км, потім з В3 до В2 довжиною в 11 км веземо 40 т вантажу.*

*По маршруту з А3 до В3 довжиною в 8 км веземо 60 т вантажу*

### **3. МОДЕЛІ І МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ІНФРАСТРУКТУРОЮ МІЖНАРОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ**

#### **3.1 Модель оптимізації мультимодальних вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів**

Стратегічним завданням науково-технічної політики в області транспортної галузі держави є її вихід на світовий рівень за технічними параметрами та якістю послуг, що реалізуються транспортом. У зв'язку з цим першочерговим і пріоритетним завданням у цьому напрямку є розширення наукових досліджень з проблем створення прогресивних технологій з раціональної організації вантажних перевезень, формування та функціонування ефективної транспортної системи, розробка принципово нових систем управління з використанням сучасних інформаційних технологій [16, 19].

Розробка ефективної організації доставки вантажів з узгодженістю всіх ланок транспортного процесу викликала необхідність великої кількості теоретичних і експериментальних досліджень з різних питань розвитку транспортних систем.

Актуальність досліджень у цьому напрямку визначається необхідністю підвищення ефективності перевезень вантажів у міжнародному сполученні за рахунок розробки і впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу раціональної організації міжнародних вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів.

Вирішенню задач підвищення ефективності перевезень вантажів у міжнародному сполученні присвячено багато наукових праць у галузі транспортних систем, логістики і дослідження операцій. До основних характеристик транспортних мереж відносять: максимальний потік на транспортній мережі і найкоротші відстані на транспортній мережі. Для вирішення задачі по оптимізації перевезень вантажів на транспортній мережі треба мати можливість звести мережеве представлення транспортної задачі до матричної форми, для якої існує практичний математичний апарат оптимізації перевезень [17, 26]. Існуючі методи для розв'язання задачі про максимальний

потік на транспортній мережі зручно використовувати тільки для пласкої мережі. Приведений алгоритм для "максимального потоку" дозволяє оптимізувати рішення проблеми, але не враховує особливості транспортних мереж. Для вирішення проблеми треба розширити метод для вирішення задач по оптимізації транспортних мереж з обмеженням та без обмежень пропускну здатності. Розроблені алгоритми математичного програмування для проектування транспортної мережі, які дозволяють знаходити оптимальні шляхи. Але такі алгоритми не враховують велику кількість проміжних пунктів в транспортній мережі. Запропоновані характеристики про транспорт в мультиплексній системі дають можливість оптимізації, але не дають можливість розрахунків найкоротших шляхів у разі великої кількості проміжних пунктів.

Транспортна задача в матричній і мережевій формах представлена за визначенням в еквівалентах. Однак іноді розв'язувати мережеву задачу зручніше в матричній формі. Але треба удосконалити ці методи для розв'язання складних сітьових транспортних задач з використанням орієнтованих графів.

У цілому проблема ефективного управління процесом міжнародних транспортних вантажних перевезень полягає в тому, що існуючі методи не в повному обсязі враховують специфічні особливості їх виконання і, як наслідок цього, не вироблено єдиного підходу до визначення методів визначення оптимальних характеристик транспортних мереж.

Розглянемо модель оптимізації вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів на конкретному прикладі ТМ, яка включає сім н/п, які з'єднані між собою транспортними комунікаціями, з вказаними на них відстанями (рис. 3.1).

На рис. 3.1 також представлені маршрути двох умовних міжнародних транспортних коридорів (МТК) – МТК1 і МТК2. МТК1<sub>v</sub> є водним, про що свідчить символ *v* в його назві, а МТК2<sub>a</sub> є автомобільною і МТК<sub>g</sub> залізничною ділянками МТК2. Для спрощення моделі відстані ділянок МТК відповідають відстаням існуючих ділянок ТМ за винятком ділянок, які закінчуються у н/п 8, а саме це водна ділянка МТК1 (н/п 5 – н/п 8), залізнична (н/п 6 – н/п 8) і

автомобільна (н/п 4 – н/п 8) ділянки МТК2. Відстань цих трьох ділянок дорівнює 30 умовним одиницям.

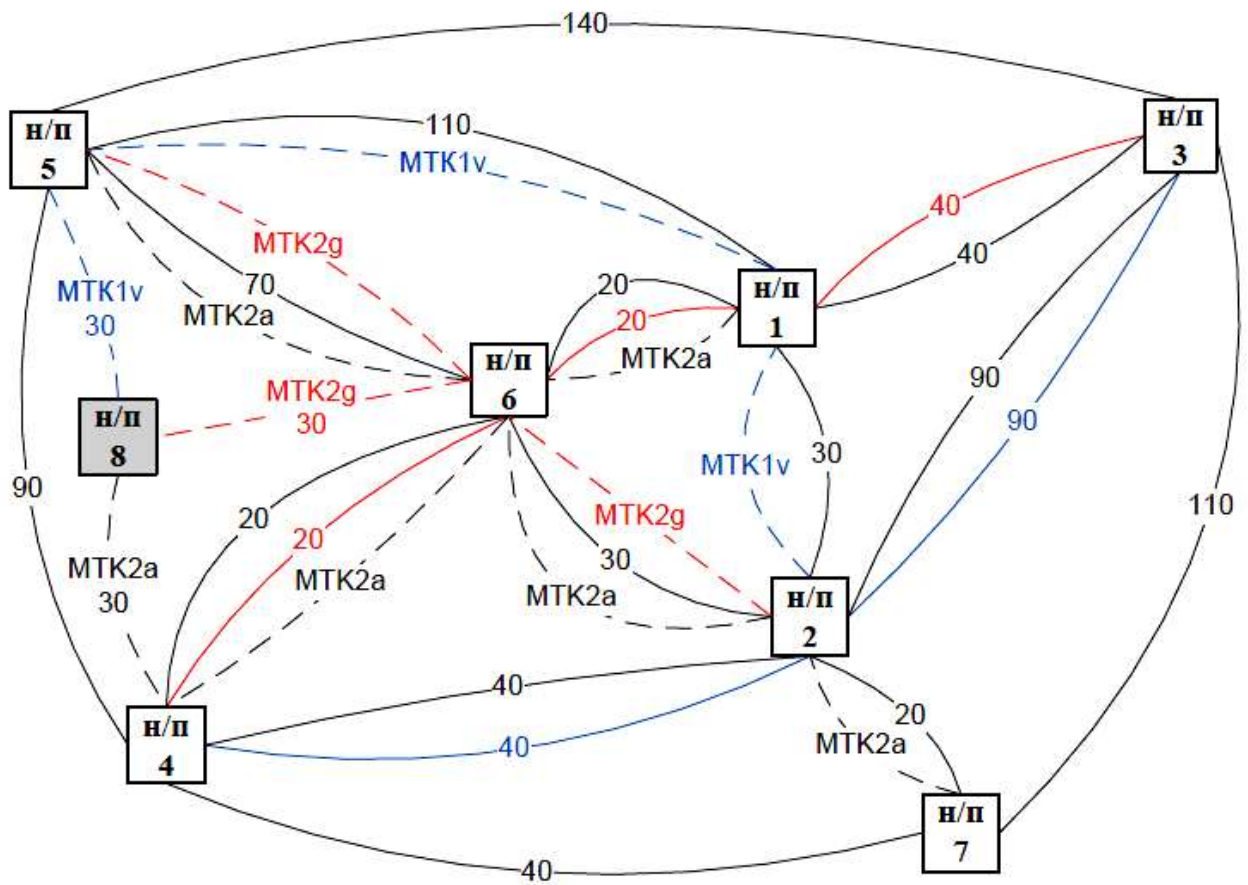


Рис.3.1. Транспортна мережа

База даних (БД) включає 8 файлів: N\_p – масив н/п, що лежать на автомагістралях (8 н/п) і Marsh\_avto – масив ділянок автомагістралей (15 ділянок); V\_p – масив річкових і морських портів (6 в/п), неодмінною умовою яких також є їхня наявність у масиві N\_p; Marsh\_voda – масив ділянок водних магістралей (5 ділянок); G\_d – масив з/с (7 з/с), неодмінною умовою яких є їхня наявність у масиві N\_p; Marsh\_gd – масив ділянок залізничних магістралей (6 ділянок); МТК1 – масив водних ділянок МТК (3 ділянки), які додаються до масиву Marsh\_voda і МТК2 – масив залізничних ділянок МТК (3 ділянки), які також додаються до масиву Marsh\_gd і масив автомобільних ділянок (6 ділянок), які входять в масив N\_p:

Файл N\_p:

Файл Marsh\_avto:



### 3.2 Застосування задачі комівояжера при організації перевезення вантажів в міжнародних транспортних коридорах

Історична довідка. В 1859 р. Вільям Гамільтон сформулював задачу під назвою «Навколосвітня подорож», метою якої було відшукати такий найкоротший маршрут, щоб одноразово відвідати кожний заданий населений пункт і повернутися у вихідний пункт. Вказана задача дала розвиток цілому напрямку в теорії графів, що відомий як пошук циклів Гамільтона на графах. Цикл Гамільтона для графа з  $n$  вершин може бути представлений множиною пар суміжних вершин графа:  $\{ (i, j) \}$ ,  $(i, j)$ ,  $(j, i)$ ,  $(i, i)$ ,  $\{(1113221iiiiiiinn)\}$

Задача про цикли Гамільтона в теорії графів отримала різні узагальнення [9]. Одне з цих узагальнень – задача комівояжера, що в різних модифікаціях досить часто виникає в транспортній логістиці при плануванні перевезень. Задача комівояжера є модифікованою задачею про призначення, однак, у цьому випадку прив'язка між пунктами повинна утворювати замкнений цикл.

Комівояжер (з франц. *commis voyageur* – мандрівний торговець) повинен вийти з першого міста, відвідати по одному разу кожне з  $n$  міст і повернутися в перше місто. Відстані між містами відомі. Необхідно шукати такий маршрут відвідування міст, щоб замкнутий шлях комівояжера був найкоротшим.

Існує кілька окремих випадків загальної постановки задачі, зокрема геометрична задача комівояжера (так звана планарна або евклідова, коли матриця відстаней відображає відстані між точками на площині), трикутна задача комівояжера (коли на матриці вартостей виконується нерівність трикутника), симетрична і асиметрична задачі комівояжера. Також існує узагальнення задачі, так звана узагальнена задача комівояжера [10].

Постановка задачі про комівояжера. Є  $n$  міст. Задано матрицю відстаней між ними  $d_{ij}$ . У загальному випадку  $d_{ij} = d_{ji}$ . Вийшовши з початково міста  $A_0$ , комівояжер повинен відвідати всі міста по одному разу і повернутися в місто  $A_0$ . Тому маршрут комівояжера утворює замкнений цикл без петель. Потрібно визначити, в якому порядку слід об'їжджати міста, щоб сумарна пройдена відстань була

мінімальна. Далі опишімо математичну модель задачі комівояжера.  $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$

Введемо змінні:  $x_{ij}$  – якщо комівояжер переїжджає з міста  $A_i$  в місто  $A_j$ ; – у  
 протилежному випадку. Де  $i, j = 1, 2, \dots, n$ . Знайти  $x_{ij} \in \{0, 1\}$  ; , , 2, 1,  $\square$

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

при наступних умовах:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n ,$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n ,$$

$$u_i - u_j + n \cdot x_{ij} \leq n - 1 \quad i, j = 1, 2, \dots, n; i \neq j .$$

де  $u_i, u_j$  – довільні цілі невід'ємні числа.

Умова означає, що комівояжер в'їжджає один раз у кожне місто. Умова (3.12) означає, що він виїжджає з кожного міста один раз. Умова (3.13) забезпечує замкненість маршруту, що містить  $n$  пунктів, і відсутність петель [10].

Інформатизація суспільства  $\square$  це глобальний соціальний процес, особливість якого полягає в тому, що домінуючим видом діяльності в сфері суспільного виробництва є збір, накопичення, продукування, обробка, зберігання, передача та використання інформації, здійснювані на основі сучасних засобів мікропроцесорної та обчислювальної техніки, а також на базі різноманітних засобів інформаційного обміну [9].

Не можливо оцінити важливість застосування інформаційних технологій у галузі транспорту. Оптимізація схем доставки вантажів є однією з ключових у транспортній галузі та логістики [47, 48]. В більшості сегментів ринку доставка товару додає до його вартості суму, яка прирівнюється до вартості самого товару. Поряд із цим, варто зауважити, що використання сучасних засобів

інформаційних технологій для оптимізації такої доставки виражається економією часто не менше 5– 20 % від загальної його вартості.

В роботі одно з напрямків досліджень полягає у використанні сучасних засобів інформаційних технологій при розв'язанні задачі комівояжера для оптимізації процесу складання схеми маршруту перевезення вантажу у міжнародному сполученні. Найголовнішими факторами, які необхідно враховувати при вирішенні поставленої задачі є:

- відстані між пунктами відправлення, призначення та митними постами;
- час обслуговування в пунктах пропуску (митне оформлення);
- час здійснення навантажувально-розвантажувальних операцій;
- середня швидкість руху транспортного засобу (ТЗ);
- час відпочинку за Європейською угодою щодо роботи екіпажів ТЗ (ЄУТР).

При розрахунках використовувались реальні дані про місця розташування пунктів відправлення, призначення та пунктів пропуску (ПП) через державний кордон України, відстані між ними, а також середні швидкості.

Вантаж, представлений для здійснення перевезення, обраний на основі аналізу даних Державної служби статистики України, законів та постанов, а також економічної та соціальної ситуації в нашій країні. Дослідження проводилось в Житомирській області. Вантаж, представлений для перевезення – деревні пелети, оскільки саме деревина і вироби з неї становить 23% від загального обсягу експорту Житомирщини. Вантаж, яким буде завантажуватися ТЗ в Польщі – дерев'яні меблі.

В Житомирській області було обрано 10 пунктів відправлення, де здійснюється виробництво деревних пелет у найбільших обсягах: 1) Дубрівка; 2) Романів; 3) Любар; 4) Малин; 5) Овруч; 6) Новоград-Волинський; 7) Житомир, 8) Коростень; 9) Бердичів; 10) Радомишль.

Для подальшого дослідження обрано 2 автомобільні ПП у Волинській області і 6 у Львівській області (рис. 3.2).

ПП в Польщі обрані відповідно до ПП в Україні (див. рис. 3.12), а саме:

1) Дорогуськ; 2) Зосін; 3) Долгобичув; 4) Гребенне; 5) Будомеж; 6) Корчова; 7) Медика; 8) Кросценко. Пункти призначення (в Польщі) обрані, виходячи з того,

що там знаходяться споживачі деревних пелет, а також меблеві фабрики, які здійснюють експорт своєї готової продукції в Україну. Таким чином пунктами призначення є наступні: 1) Слупськ; 2) Верушув; 3) Рацибуж; 4) Ельблонг; 5) Моронг; 6) Бродниця; 7) Варшава; 8) Кельце; 9) Островець-Свентокшиський; 10) Венгров.

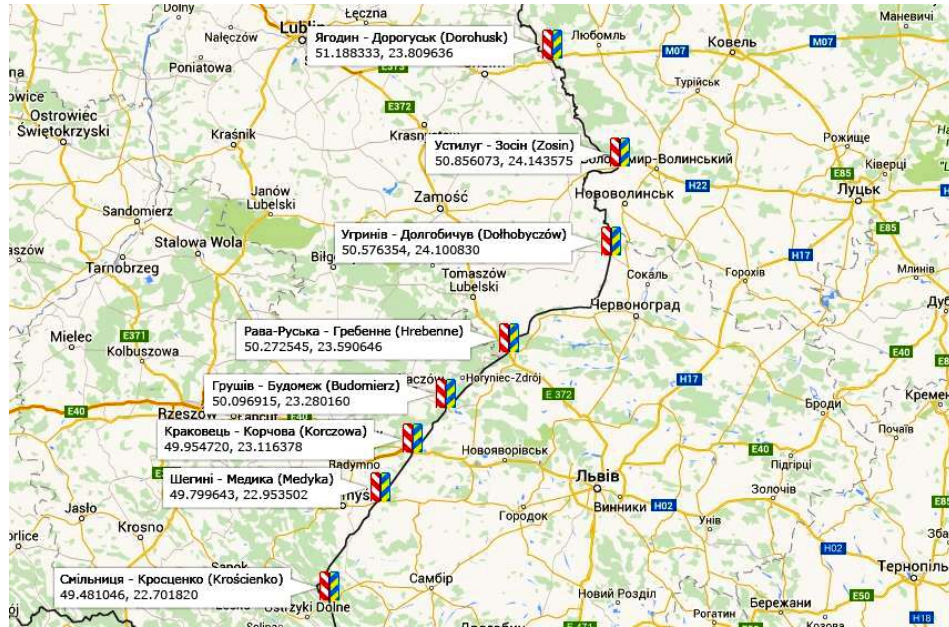


Рис.3.2. Автомобільні пункти пропуску на українсько-польському кордоні  
 ПП – пункт призначення (постачання, пропуску)

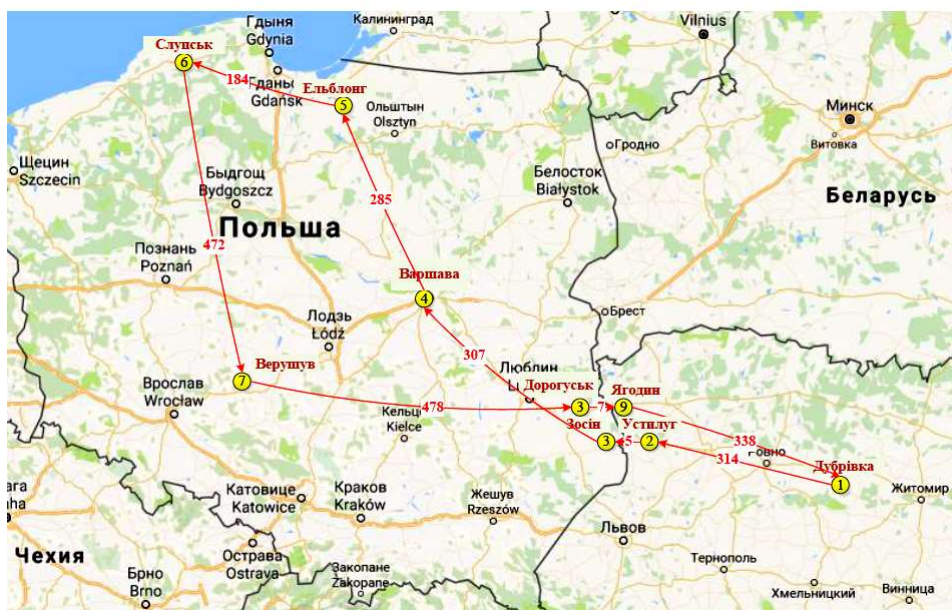


Рис.3.3. Картоschema визначеного замкнутого маршруту

У середовищі СУБД Microsoft Access була створена база даних з

відповідними відстанями між ПП, пунктами відправлення та пунктами відправлення (рис 3.4.).

Для зручності подальших розрахунків дані по цих відстанях автоматично переформатовуються у файл табличного процесора Microsoft Excel, як показано на рис. 3.4. Програмне забезпечення з розв'язання задачі комівояжера спроектовано за допомогою алгоритмічної мови програмування Delphi [12].

Для початку, створюємо сторінку для занесення вхідних даних для подальших обчислень, а саме часові характеристики навантажувально-розвантажувальних операцій на даному маршруті. Навантаження та розвантаження пелет та меблів буде здійснюватися механізованим способом. Задаємо про час обслуговування в ПП та середню технічну швидкість ТЗ ( $Vt = 65$  км/год).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1		МІСТО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	1	Дубрівка	0	55	81	187	161	39	97	130	127	200	338	314	337	389	432	417	426	455
3	2	Романів	55	0	50	152	182	73	64	136	63	137	381	357	368	443	445	460	457	486
4	3	Любар	81	50	0	174	219	112	84	173	69	157	395	343	329	378	407	393	413	447
5	4	Малин	187	152	174	0	94	146	88	58	128	36	404	405	442	508	537	532	557	591
6	5	Овруч	161	182	219	94	0	139	133	48	173	127	384	385	422	488	521	505	530	564
7	6	Новоград-Волинський	39	73	112	146	139	0	84	108	125	157	316	292	307	367	406	395	420	454
8	7	Житомир	97	64	84	88	133	84	0	87	41	74	392	368	403	454	483	471	496	530
9	8	Коростень	130	136	173	58	48	108	87	0	127	90	357	357	394	460	489	474	499	533
10	9	Бердичів	127	63	69	128	173	125	41	127	0	115	433	409	395	431	473	459	484	513
11	10	Радомишль	200	137	157	36	127	157	74	90	115	0	437	437	474	531	559	544	566	600
12	11	Ягодин (ПП)	338	381	395	404	384	316	392	357	433	437	0	83	120	212	239	256	283	325
13	12	Устипуг (ПП)	314	357	343	405	385	292	368	357	409	437	83	0	60	148	179	196	218	265
14	13	Угринів (ПП)	337	368	329	442	422	307	403	394	395	474	120	60	0	103	134	150	173	220
15	14	Рава-Руська (ПП)	389	443	378	508	488	367	454	460	431	531	212	148	103	0	32	55	93	162
16	15	Грушів (ПП)	432	445	407	537	521	406	483	489	473	559	239	179	134	32	0	26	82	151
17	16	Краковець (ПП)	417	460	393	532	505	395	471	474	459	544	256	196	150	55	26	0	33	89
18	17	Шегині (ПП)	426	457	413	557	530	420	496	499	484	566	283	218	173	93	82	33	0	57
19	18	Смільниця (ПП)	455	486	447	591	564	454	530	533	513	600	325	265	220	162	151	89	57	0

Рис.3.4. Відстані між ПП, пунктами відправлення та пунктами призначення

Маршрути				
Номер	Пункт відправлення	Пункт призначення	L	Щелкните
1	Дубрівка	Романів	55	
2	Дубрівка	Любар	81	
3	Дубрівка	Малин	187	
4	Дубрівка	Овруч	161	
5	Дубрівка	Новоград-Волинський	39	
6	Дубрівка	Житомир	97	
7	Дубрівка	Коростень	130	
8	Дубрівка	Бердичів	127	
9	Дубрівка	Радомишль	200	
10	Дубрівка	Ягодин	338	
11	Дубрівка	Устилуг	314	
12	Дубрівка	Угринів	337	
13	Дубрівка	Рава-Руська	389	

Рис.3.5. База даних відстаней між ПП, пунктами відправлення та пунктами призначення

Розглянемо приклад задачі комівояжера з одним пунктом відправлення в Україні, чотирма ПП (двома в Україні та двома в Польщі), чотирма пунктами призначення у Польщі. Тобто, в одному з міст Житомирської області завантажують 20 т деревних пелет. Навантаження здійснюється механізованим способом. У 4 містах Польщі розвантажують по 5 т вантажу, а в останньому завантажують 20 куб. м меблів (також приблизно 20 т). Як деревні пелети, так і меблі належать до 1 класу вантажів, тобто коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності автомобіля дорівнює одиниці (1). Слід зауважити, що стосовно додавання до 1 ст маршруту ПП, то програма працює в двох режимах: ручному та автоматичному. Тобто, ПП можна визначати самостійно, або програма це робить автоматично, вибираючи найближчі до пункту відправлення.

Встановлено, що використовуючи комбінаторний метод [13] програма автоматично обчислює сумарну відстань маршруту і обирає той, де відстань між містами є найкоротшою. Картосхема визначеного маршруту представлена на рис. 3.3. Отже, визначено, що із обраних програмою двадцяти чотирьох можливих маршрутів найефективнішим буде Дубрівка (Україна) – Устилуг (ПП, Україна) – Зосін (ПП, Польща) – Варшава (Польща) – Ельблонг (Польща) – Слупськ

(Польща) □ Верушув (Польща) □ Дорогуськ (ПП, Польща) □ Ягодин (ПП, Україна) □ Дубрівка (Україна). Довжина маршруту становить 2390 км. Загальний час транспортування складає 36,76 год., час обслуговування у першому ПП (Устилуг) □ 45 хв., у другому (Зосін) – 40 хв., у третьому (Дорогуськ) – 35 хв., у четвертому (Ягодин) – 40 хв. Витрати часу на навантажувально-розвантажувальні роботи □ 760 хв. Враховуючи всі вищевказані часові показники, загальний час на виконання маршруту без урахування часових характеристик на сон водія (за ЄУТР) становить 52,10 год. Детальний аналіз застосування моделі про оптимальне призначення до задачі комівояжера показав, що у цій моделі крім  $n!$  гамільтонових (повних) контурів є ще й багато неповних (ізолюваних) контурів, які охоплюють лише певні групи міст. Саме це суттєво ускладнило розв'язання задачі комівояжера і змусило дослідникам шукати для неї інші більш ефективні методи [19, 14].

В результаті проведених досліджень сформульовані основні теоретичні положення, стосовно розв'язання проблеми управління вантажними перевезеннями в межах функціонування міжнародних транспортних коридорів за рахунок використання матрично-мережевої моделі перевезення вантажів у міжнародному сполученні, а саме:

1. Для вирішення задачі по оптимізації перевезень вантажів на транспортної мережі необхідно звести мережеве представлення транспортного завдання до матричного вигляду, для якого існує ефективний математичний апарат оптимізації вантажних перевезень. Актуальність досліджень у цьому напрямку визначається необхідністю підвищення ефективності перевезень вантажів у міжнародному сполученні за рахунок розробки і впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу раціональної організації міжнародних вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів.

2. Розроблена модель оптимізації мультимодальних вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів концептуально базується на принципах побудови матрично-мережевої моделі перевезення вантажів з

урахуванням специфіки здійснення міжнародних вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів.

3. Виходячи з того, що процес перевезення вантажів, який наглядно представлений у вигляді транспортної задачі є окремим випадком загальної задачі лінійного програмування, то до неї також цілком можливо застосувати найбільш відомий метод розв'язання ЗЛП – симплексний метод. Для цього необхідно привести транспортну задачу до вигляду задачі лінійного програмування і врахувавши її специфічність, а саме наявність одиничних коефіцієнтів при змінних.

4. Виявилось, що розв'язання транспортних задач за допомогою табличного процесору *Excel* має значні обмеження по їх розмірності, тому був розроблений у середовищі *Delphi* програмний комплекс розв'язання транспортних завдань симплексним методом. Симплексний метод знаходження оптимальних планів перевезення вантажів в міжнародних транспортних коридорах показав свою ефективність і універсальність на багатьох практичних прикладах.

Програмно-інструментальний комплекс (ПК) оптимізації вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів (ОВПМТК), який реалізований на основі мультимодальної моделі оптимізації перевезень у ТС, крім перерахованих вище 9 технологій комбінованого перевезення вантажів різними видами транспорту, ураховує пропускні здатності транспортних вузлів і комунікацій ТС, а також може вирішувати транспортні завдання (ТЗ) за умови незбалансованості обсягів перевезення неоднорідних вантажів [16]. ПК функціонує у двох режимах оптимізації перевезення вантажів – за критерієм вартості й за критерієм часу. Природно в обох випадках результатом оптимізації є мінімальне значення відповідного критерію.

На наступних рисунках представлені результати роботи ПК ОВПМТК по першому (вартісному) критерію оптимізації, а саме:

- екранна форма по введенню вихідних даних ТЗ ;
- екранна форма з повідомленням о незбалансованості ТЗ по обсягам перевезень;



□ екранна форма з повідомленням об обмеженості пропускної здатності маршруту

Опис моделі комплексних перевезень у ТС дає можливість системно підійти до задачі оптимізації транспортних перевезень вантажів за комбінованою схемою використання різних видів транспорту (автомобільного, водного і залізничного) з урахуванням усього спектра обмежень, що існують у системах подібного роду. Приведена опис структури і змісту бази даних різних видів транспорту у цілому представляє інфраструктуру транспортної системи України і Західної Європи, яка за допомогою спеціальної процедури перетворює відповідні БД у матриці транспортних кореспонденцій. Матричне представлення перевізного процесу, у свою чергу, дозволяє описати його у вигляді відповідної математичної моделі і застосувати при її аналізі методи і засоби сучасних інформаційних технологій. Процедура знаходження оптимальних планів перевезень вантажів на ТМ дозволяє з усіх існуючих варіантів перевезення вантажів вибрати найбільш дешеві по двох режимах оптимізації перевезення вантажів – або за критерієм вартості, або за критерієм часу. Використання в процесі знаходження оптимального плану вантажних перевезень маршрутів міжнародних транспортних коридорів дозволяє значною мірою підвищити якість рішень, які приймаються. Слід також зазначити той факт, що при оптимізації вантажних перевезень за критерієм вартості, деяка частина маршрутів оптимального плану перевезень вантажу (56.11 %) проходить маршрутами міжнародних транспортних коридорів, що значно покращить якість і надійність його виконання. Результати експериментальних досліджень дозволяють оцінити достовірність гіпотез та адекватність теоретичних моделей об'єкта дослідження експериментальним даним. У практиці оцінки адекватності застосовують дві групи статистичних критеріїв згоди: 1) параметричні критерії; 2) непараметричні, або порядкові критерії [17].

Застосування параметричних критеріїв базується на використанні вибіркових характеристик (середнє арифметичне значення) і (середнє квадратичне  $\chi^2$  відхилення) вимірюваної величини, виходячи із припущення про нормальність розподілу оцінюваних рядів.

Для застосування же непараметричних критеріїв не потрібно використання перерахованих вище вибірових параметрів і вони рівною мірою придатні для аналізу розподілів оцінюваних рядів будь-якого вигляду, але для їх використання необхідне впорядкування у вигляді кумулят емпіричних і теоретичних розподілів, тобто одержання рядів накопичених частот.

У даному дослідженні як аналізовані ряди величин будуть виступати різні значення вартостей вантажних перевезень, які не піддаються опису за допомогою яких-небудь законів розподілу. Отже можна стверджувати про доцільність використання для оцінки адекватності теоретичних моделей об'єкта дослідження експериментальним даним одного з непараметричних критеріїв, а саме  $T$ -критерію Вілкоксона [18].

Обробка статистичних даних виконувалась за методикою наведеною в [19, 11], при цьому обсяг вибірки складав 25 спостережень, а результати емпіричних (дослідних) і експериментальних даних представлені у вигляді статистичних рядів у [67] (для автотранспортних підприємств АсМАП України).

Сума негативних різностей між парами емпіричних і експериментальних значень всіх 25 спостережень (-864,15), без урахування її знаку, для цього випадку також менше відповідної суми позитивних різностей (3832,31). Виходячи з цього фактична величина  $T$ -критерію  $T_{\phi}$  дорівнює сумі рангів відповідних негативних різностей між парами емпіричних і експериментальних значень, а саме – 92.

Знайдену таким способом фактичну величину  $T$ -критерію порівнюємо з табличним значенням  $TT$  для прийнятого рівня значимості і числа парних спостережень, яке береться без нульових різностей. Це значення дорівнює 89 (для самого високого рівня значимості).

По суті *Міжнародний транспортний коридор (МТК)* – це комплекс наземних та водних транспортних магістралей з відповідною інфраструктурою на визначеному напрямку, включно з допоміжними спорудами, під'їзними шляхами, прикордонними переходами, сервісними пунктами, вантажними та пасажирськими терміналами, устаткуванням для управління рухом, організаційно-технічними заходами, законодавчими та нормативними актами, які

забезпечують перевезення вантажів та пасажирів на рівні, що відповідає вимогам Європейського співтовариства. Іншими словами, МТК – сукупність різних видів транспорту, що забезпечують значні перевезення вантажів і пасажирів на напрямках їх найбільшої концентрації.

Транспортні коридори виконують роль кровоносних судин у світових інтеграційних процесах. *Основні функції сучасних транспортних коридорів – доставляння вантажів найкоротшим шляхом і максимально швидко.* При цьому виконуються й такі операції, як перевантаження вантажів з одного виду транспорту на інший, оброблення, пакування, сортування тощо.

Міжнародна мережа транспортних коридорів визначена Деклараціями Першої (31.10.1991 р., Прага), Другої (14-16.03.1994 р., Крит) та Третьої (23-25.06.1997 р., Гельсінкі) Європейських конференцій з питань транспорту.

Саме на критській конференції було остаточно затверджено *маршрути перших десяти транс 'європейських міжнародних транспортних коридорів*, що згодом дістали назву "Критські":

- – *Транс 'європейський транспортний коридор № 1:* Гельсінкі
- – Таллінн – Рига – Каунас – Клайпеда – Варшава – Гданськ;
- – *Транс 'європейський транспортний коридор № 2:* Берлін – Познань – Варшава – Берестя – Мінськ – Смоленськ – Москва – Нижній Новгород;
- – *Транс 'європейський транспортний коридор № 3:*

Берлін / Дрезден – Вроцлав – Катовіце – Краків – Львів – Київ;

– *Транс 'європейський транспортний коридор № 4:*

Дрезден / Нюрнберг – Прага – Відень – Братислава – Д'єр – Будапешт – Арад – Бухарест – Констанца / Крайова – Софія

- – Салоніки – Пловдив – Стамбул;
- – *Транс 'європейський транспортний коридор № 5:* Венеція – Трієст / Копер – Любляна – Марибор – Будапешт – Ужгород – Львів – Київ;
- – *Транс 'європейський транспортний коридор № 6:* Гданськ – Катовіце – Жиліна;
- – *Транс 'європейський транспортний коридор № 7:* Відень – Братислава – Будапешт – Белград – Рені – Ізмаїл – Усть- Дунайськ (водний Дунаєм);

- – *Транс'європейський транспортний коридор №8*: Дуррес Тірана – Скоп'є – Бітола – Софія – Димитровград – Бургас - Варна;
- – *Транс'європейський транспортний коридор № 9*: Гельсінкі
- – Выборг – Санкт-Петербург – Псков – Москва – Калінінград – Київ – Любашівка / Роздільна – Кишинів – Бухарест – Димитровград – Александруполіс;
- – *Транс'європейський транспортний коридор №10*: Зальцбург – Любляна – Загреб – Белград – Ніш – Скоп'є – Велес – Салоніки.

Розбудова національної мережі міжнародних транспортних коридорів, які є складовими Критських міжнародних транспортних коридорів та відповідають нормам і стандартам Європейського Союзу, є кроком до інтеграції України у європейську транспортну систему і важливою передумовою залучення додаткових обсягів перевезень через територію України.

У світовій транспортній системі існує поняття транзитного рейтингу. *Транзитний рейтинг* території тієї, чи іншої країни враховує розвиненість розміщених на її території транспортних систем і мереж, а також рівень і стан їх інфраструктури. Доволі високе значення цього показника має ряд країн Центральної та Східної Європи – Угорщина, Румунія, Білорусь, Росія. За результатами досліджень британського інституту "Рендел" завдяки своєму розташуванню Україна має найвищий у Європі транспортний транзитний рейтинг – 3,11 бала. Польща, яка має значно меншу територію й транспортний транзитний рейтинг лише 2,72 бала, отримує щороку майже 4 млрд. дол. прибутку від транспортних перевезень. Україні має значно кращі потенційні можливості.

Вигідне географічне положення України на перетині шляхів з Європи в Азію, з Півночі на Південь на фоні перевантаження і перенасичення європейських транспортних вузлів створює передумови для інтеграції транспортної мережі України в міжнародну транспортну систему, а її потужна транспортна система та інфраструктура, наявність наукового й освітнього середовища роблять її потенційно привабливою для залучення в систему міжнародних транспортних коридорів.

Але на сьогодні ступінь використання транспортної інфраструктури України ще досить низький, а рівень розвитку й облаштування транспортних коридорів не задовольняє зростаючих потреб транс'європейського сполучення. Транзитній потенціал використовуються лише на 70 %. Міжнародні транспортні коридори, котрі проходять через територію України, не відповідають міжнародним вимогам. Транспортна система України на сьогодні не готова повною мірою до забезпечення перевезень у належних обсягах та належної якості. Внаслідок недостатнього розвитку нормативно-правової бази і низького інвестиційного потенціалу, значного зношення рухомого складу, неналежної інфраструктури, а також в умовах жорсткої конкуренції відбувається витіснення українських перевізників з міжнародних ринків транспортних послуг.

Україна, на відміну від розвинутих держав, які ще в 80-ті роки минулого століття почали активну діяльність зі створення міжнародної транспортної мережі, значно відстає в створенні власних транспортних коридорів, що негативно впливає на підвищення конкурентоспроможності нашої держави та вітчизняних промислових підприємств.

Основними *проблемами*, які стримують забезпечення зростаючого за обсягами та якістю попиту на транспортні послуги України, визнано:

- – недостатнє оновлення основних фондів усіх видів транспорту й дорожнього господарства, невідповідність їх технічного рівня сучасним та перспективним вимогам;
- – низький рівень міжгалузевої координації у розвитку транспортної інфраструктури, що призводить до роз'єднання єдиного транспортного простору, нераціонального використання ресурсів і зниження ефективності використання транспорту;
- – низький рівень використання геополітичного положення України та можливостей її транспортних комунікацій для міжнародного транзиту вантажів;
- – повільне вдосконалення транспортних технологій та недостатня їх пов'язаність з виробничими, торговельними, складськими й митними технологіями;

- – низький рівень інформатизації транспортного процесу та інформаційної взаємодії транспорту з іншими галузями економіки;
- – недостатня ефективність фінансово-економічних механізмів, що стимулюють надання інвестицій на розвиток транспорту;
- – відставання у реалізації державних і галузевих програм у галузі окремих видів діяльності, видів транспорту, транспортного машинобудування, розбудови державного кордону.

Прискорення вирішення цих проблем має надзвичайно важливе значення не тільки для транспортної галузі, а й для держави в цілому, ефективного функціонування її виробничої та соціальної сфер.

Для вирішення вказаних проблем необхідні:

- – гармонізація нормативно-правової бази в галузі транспорту з урахуванням міжнародних норм;
- – впровадження ефективної системи державного регулювання й контролю ринку транспортних послуг з метою забезпечення справедливої конкуренції та економічних умов для розширеного відтворення основних фондів у транспортно-дорожньому комплексі;
- – введення та запровадження державних стандартів, вимог і соціальних нормативів у сфері транспортного обслуговування;
- – забезпечення безпечного функціонування транспортно- дорожнього комплексу та зниження негативного впливу транспорту на навколишнє природне середовище;
- – посилення координуючої ролі держави у розвитку транспортної мережі, насамперед міжнародного значення, мультимодальних перевізних і логістичних систем, створенні нової транспортної техніки й технологій, підвищенні ефективності взаємодії між різними видами транспорту;
- – створення умов для підвищення конкурентоспроможності національних перевізників та експедиторів на міжнародних і внутрішньому ринках транспортних послуг за рахунок реалізації комплексу заходів державної підтримки українських транспортних підприємств, які здійснюють перевезення зовнішньоторговельних і транзитних вантажів;

- – формування й забезпечення ефективного функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів, з'єднання їх в єдину систему транспортної мережі міжнародного значення з подовженням до пунктів зародження та погашення вантажопотоків експортних та імпорتنих вантажів, використання переваг географічного положення України для залучення транзитних вантажопотоків євроазіатського та інших перспективних напрямків міжнародної торгівлі;
- – створення гнучкої системи регулювання транспортних тарифів, яка б враховувала інтереси споживачів транспортних послуг і транспортних організацій;
- – створення єдиного інформаційного простору транспортно- дорожнього комплексу на основі впровадження сучасних інформаційних та керуючих систем, розвитку бази інформатики;
- – державне стимулювання й підтримку національних виробників транспортної техніки.

Одним із основних *завдань* на сьогодні залишається забезпечення вищих темпів розвитку національної транспортної системи України, її правова, технічна та технологічна адаптація до норм міжнародного транспортного та митного права, техніко- експлуатаційних та екологічних вимог міжнародних стандартів до рухомого складу, стану доріг та інфраструктури, пунктів пропуску через державний кордон, пошуку джерел фінансування для розвитку міжнародних транспортних коридорів.

Через територію України проходять такі основні *транспортні зв'язки*:

- – країни Центральної Європи – країни СНД;
- – країни Південної Європи, Близького Сходу, Африки – країни СНД;
- – Індія, країни Центральної Азії, Далекого Сходу – країни Балтії та Скандинавії;
- – Китай, країни Закавказзя, Середньої Азії, Далекого Сходу – країни Західної Європи, Балтії, Скандинавії.

Транспортна мережа України інтегрована у потужні міжнародні транспортні коридори загальноєвропейського значення.

Серед них:

*Транс'європейський міжнародний транспортний коридор № 3, який з'єднує Берлін та Дрезден з Києвом (рис. 3.6).*



Рис. 3.6. Транс'європейський міжнародний транспортний коридор № 3

Країни учасниці цього коридору – це Німеччина, Польща та Україна. Його протяжність становить 1640 км. Територією України цей коридор утворюють частково залізниця, частково автомобільні шляхи. Залізничний маршрут є повністю електрифікованим, двоколіїним і обладнаним обладнаннями автоблокування.

На автомобільному маршруті за підтримки Європейського Союзу побудовано мостовий перехід через річку Західний Буг на українсько-польському державному кордоні.

Транс'європейський транспортний коридор № 3 як частина світової транспортної системи дає імпульс для динамічного просторового розвитку територій у зоні його впливу, сприяє створенню єдиного торгового ринку і подальшій інтеграції європейських країн.

Цей коридор дає можливість посилити основний стратегічний напрямок на Львів як туристичний центр. Водночас він утворює зв'язки з основними туристично-рекреаційними територіями регіону – Карпатами, курортами Трускавець- Східниця, Моршин, Великий Любінь, туристичними маршрутами екологічного, зеленого та агротуризму.

Уздовж коридору розташовані малі міста, переважно з чисельністю населення 10 ... 15 тис. чол., які виконують функції вузлових пунктів районного значення і є



полюсами господарсько-просторового розвитку підпорядкованих їм адміністративних територій.

*Транс'європейський міжнародний транспортний коридор № 5, який з'єднує ряд європейських міст зі Львовом (рис. 3.7.).*



Рис. 3.7. Транс'європейський міжнародний транспортний коридор № 5

Країнами – учасниками цього коридору є Італія, Словенія, Угорщина, Словаччина, Україна. Протяжність коридору становить 1595 км. Територією України його також утворюють частково залізниця, частково автомобільні шляхи.

Головною проблемою транспортного коридору № 5 на території України для автомобільного та залізничного сполучення є подолання Карпатських гір, які вирізняються значною сейсмічною активністю й підвищеною ураженістю зсувами й селевими процесами на схилах.

Для залізничного маршруту істотною перешкодою під час облаштування цього коридору є одноколіїний Бескидський тунель, побудований ще в 1886 р. На сьогодні його технічний стан є незадовільним. Тунель значно обмежує швидкість руху потягів, пропускну й перевізну спроможність усього коридору і через це перешкоджає нарощуванню обсягів перевезень. Подальше погіршення його інженерно-геотехнічного стану може привести до повного припинення руху потягів у цьому напрямку.

Решта існуючої залізничної інфраструктури цього коридору повністю електрифікована, двоколійна і обладнана обладнаннями автоблокування, за більшістю показників, відповідає загальноєвропейським вимогам.

Транс'європейський міжнародний транспортний коридор № 7 Дунайський (водний), що з'єднує Відень з Усть-Дунайськом (рис. 3.8.).



Рис. 3.8. Транс'європейський міжнародний транспортний коридор № 7

Країни – учасниці цього коридору – Австрія, Угорщина, Югославія, Болгарія, Румунія, Молдова, Україна. Його протяжність – 1600 км. При цьому українська ділянка становить лише 70 км.

Пріоритетами роботи портів Дунайського басейну є обслуговування вантажопотоків 7-го міжнародного транспортного коридору. До його складу входять 2 вантажні порти:

- – *Ізмаїльський морський торговий порт* може приймати морські вантажні судна водотоннажністю до 10 тис. т, осіданням до 7,2 м, та річкові судна водотоннажністю до 5 тис. т, осіданням до 3,5 м;
- – *Ренійський морський торговий порт* може приймати будь-які судна, осідання яких дає змогу пройти Сулинський канал і Головний судноплавний шлях "Дунай – Чорне море". Це єдиний український порт на Дунаї, що має поромний комплекс. Порт оснащений розгалуженою мережею залізничних колій, має великий парк перевантажувальної техніки й вантажозахоплювального обладнання, що дає змогу перевантажувати вантажі вагою одного місця до 250 т. До 1996 р., у зв'язку з ембарго, накладеним на Югославію, цим коридором міжнародні транзитні перевезення обмежувалися. У 2004 р. введено першу чергу проекту з відновлення глибоководного судноплавного шляху Дунай – Чорне

море, що дасть можливість активізувати діяльність українських транспортних підприємств і збільшити вантажообіг на українській ділянці.

*Транс'європейський міжнародний транспортний коридор М> 9*, що з'єднує Гельсінкі, Клайпеду, Калінінград та Москву з Грецією (рис. 3.9.). Країни – учасниці цього коридору – Фінляндія, Росія, Україна, Білорусь, Молдова, Румунія, Греція. Його протяжність – 3400 км. Територією України він проходить залізницею та автошляхами. Основний потік транспорту рухається через територію України магістралями М-01 і М-05 від кордону з Білоруссю через Чернігів і Київ до Одеси. У 2004 р. завершено будівництво першої черги швидкісної автомагістралі.

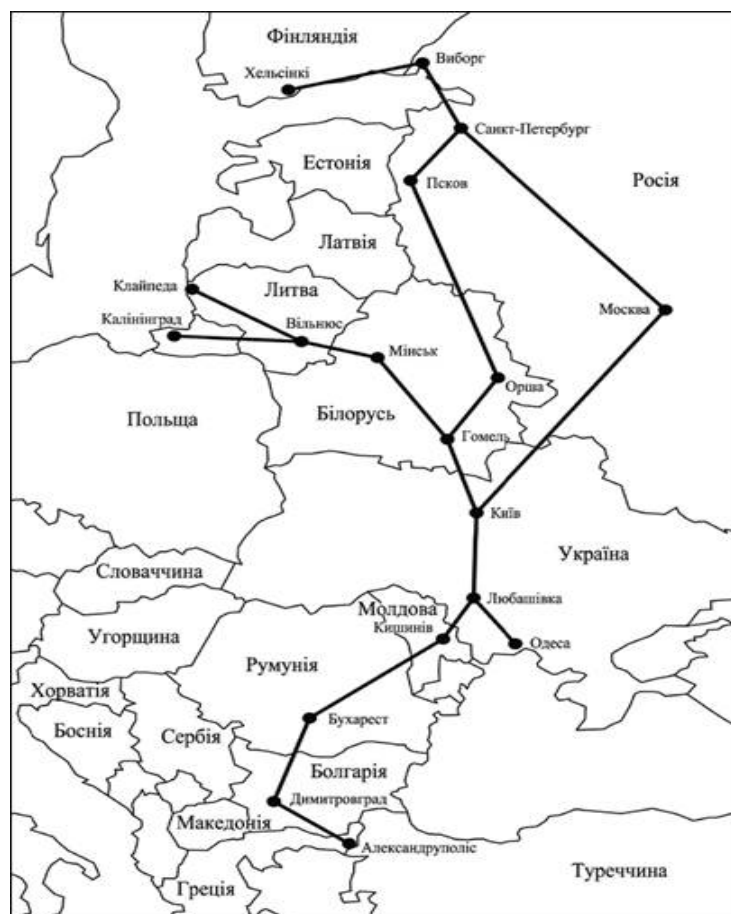


Рис. 3.9. Транс'європейський міжнародний транспортний коридор № 9  
*Міжнародний транспортний коридор Балтійське море – Чорне море (Гданськ – Одеса)* (рис. 3.10.).



Рис. 3.10. Міжнародний транспортний коридор Балтійське море – Чорне море

Маршрут коридору: Гданськ – Варшава – Яготин – Ковель – Козятин – Жмеринка – Одеса (порти Чорного моря). Країни – учасниці коридору – це Польща й Україна. Його протяжність – 4749 км, зокрема Україною:

- – залізничний – 918 км;
- – автодорожній-1208,4 км.

Маршрут цього коридору є найкоротшим шляхом між двома морями і має розвинену інфраструктуру.

Значення цього коридору надзвичайно важливе для транспортування вантажів з країн Північної і Західної Європи до країн Близького Сходу і Північної Африки й навпаки. Скорочення відстані перевезень порівняно з морським маршрутом навколо Європейського континенту становить від 2000 до 3500 км.

Разом з іншими Європейськими транспортними коридорами, до складу яких входять поромні переправи через Чорне й Каспійське моря, залізниці Закавказзя і Туркменістану, цей коридор здатний забезпечувати малу відстань транспортування з країн Балтійського басейну до країн Кавказького регіону й Центральної Азії.

За рівнем технічного оснащення цей транспортний коридор поступається іншим коридорам на території України. Так, 15 % загальної протяжності залізничної частини коридору становлять одноколіїні ділянки. Зокрема, одноколіїна ділянка Ківерці – Яготин може стати лімітуючою при розвитку перевезень. Стан покриття автодоріг на 40 % від їх загальної протяжності є незадовільним.

*Транспортний коридор Європа – Кавказ – Азія (TRASECA) (рис. 3.11.).*

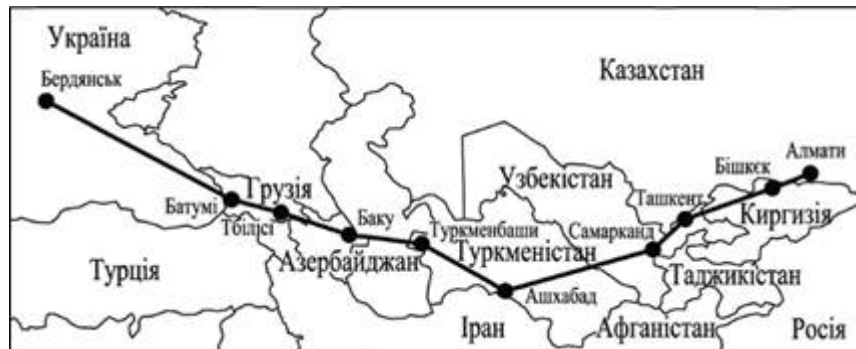


Рис. 3.11. Транспортний коридор Європа – Кавказ – Азія

Коридор TRASECA являє собою сполучення залізничних ліній і морських поромних залізничних переправ. Загальна довжина залізниць основного напрямку – 4745 км.

Морські поромні переправи включають поромні комплекси Чорноморськ (Україна), Варна (Болгарія), Поті (Грузія) на Чорному морі та поромну переправу Баку (Азербайджан) – Туркменбаші (Туркменістан) на Каспійському морі.

У травні 1993 р. в Брюсселі на міжнародній конференції глави країн Азербайджану, Киргизстану, Вірменії, Таджикистану, Грузії, Туркменістану, Казахстану, Узбекистану домовилися забезпечити виконання програми Євросоюзу, спрямованої на розвиток транспортного коридору з Західної Європи через Чорне море, Кавказ і Каспійське море до Центральної Азії. Названі держави вважаються країнами – засновниками TRASECA.

На цій конференції було озвучено ідею створення програми TRASECA (TRANSPORT CORRIDOR EUROPE CAUCAS ASIA – транспортний коридор Європа – Кавказ – Азія), що його іноді називають "Великим Шовковим шляхом XXI століття", адже його архітектура призначена для перевезення нафти й

бавовни. За розрахунками, ТРАСЕКА повинен забезпечити потік в 100 тис. контейнерів на рік.

У 1996 р. на конференції в Афінах до програми TRASECA долучилась Україна. На цій конференції ґрунтовно розглянуто питання розвитку транспортної мережі автомобільних, залізничних, повітряних та водних шляхів через Україну в контексті загальноєвропейської економічної та політичної інтеграції.

Науково-практичному забезпеченню розвитку міжнародних транспортних коридорів, які проходять територією України, у зв'язку з програмою розвитку транспорту, запропонованою Євросоюзом, було присвячено міжнародну конференцію транспортників, що відбулася в травні 1997 р. в Києві. У ній брали участь міністри транспорту 23 держав.

У червні 1998 р. в Києві відбулася ще одна міжнародна конференція: "Чорноморсько-Каспійський регіон: умови та перспективи розвитку". На цій конференції за участю науковців, представників дипломатичних кіл Грузії, Ірану, Росії, Туреччини було розглянуто проблеми використання інфраструктури, зокрема магістрального трубопровідного транспорту для постачання в Україну енергоносіїв та їх транзиту територією нашої країни.

Активна робота з реалізації програми розпочалася з вересня 1998 р., коли в Баку президенти 12 країн – України, Молдови, Болгарії, Румунії, Туреччини, Грузії, Вірменії, Азербайджану, Киргизстану, Таджикистану, Казахстану і Узбекистану – підписали Основну багатосторонню угоду про міжнародний транспорт щодо розвитку коридору Європа – Кавказ – Азія.

У березні 2000 р. було створено Міжурядову комісію TRASECA (до її складу увійшли міністри транспорту країн- учасниць) та Постійний секретаріат з офісом у м. Баку. Водночас у кожній із 12 країн-учасниць було засновано Національні комісії і призначено Національних секретарів TRASECA. З 2000 р. TRASECA регулярно проводить засідання Робочих груп за участю Національних секретарів, експертів Єврокомісії.

Однією з важливих ланок коридору Європа – Кавказ – Азія є чорноморський маршрут, що з'єднує Україну і Грузію. З 1996 р. тут діє автомобільна, а з 1999 р.

залізнична поромна переправа Чорноморськ – Поті (Батумі), створена за ініціативою України. Було підписано тристоронню угоду між Грузією, Україною і Болгарією. Це дало можливість відкрити регулярне залізничне поромне сполучення на лінії Поті – Чорноморськ – Варна. У 2004 р. почала діяти залізнична поромна переправа Чорноморськ – Деренжі (Туреччина).

Сухопутним аналогом коридору Європа – Кавказ – Азія є міжнародний транспортний коридор *Європа – Азія* (Німеччина, Італія, Австрія, Чехія, Словаччина, Угорщина, Польща, Україна, Росія, Казахстан, країни Середньої Азії та Китай). Коридор утворено в рамках розвитку економічних зв'язків між країнами Європи і Азії як автомобільний та залізничний.

Коридор Європа – Азія є продовженням європейського міжнародного транспортного коридору № 3. Проте на сьогодні його пропускна спроможність використовується лише на 50 %.

На Конференції Міжурядової комісії TRACECA в грудні 2001 р. було прийнято рішення щодо продовження коридору TRACECA сухопутною територією України. На території України цей коридор проходить за маршрутом: Одеса / Чорноморськ – Вінниця – Яготин – Гданськ, що відповідає національному коридору Одеса – Гданськ, і дає можливість поєднати Чорне та Балтійське моря.

Іншим сухопутним продовженням коридору TRACECA може стати дорога Одеса – Рені, яка продовжить його до кордону з Румунією.

*Коридор ЧЕС* (Чорноморське економічне співтовариство), або *Чорноморське транспортне кільце* проходить через 11 причорноморських країн і сполучатиме пункти: Анкара – Єреван – Тбілісі – Ростов-на-Дону – Донецьк – Одеса – Бухарест – Димитровград – Стамбул.

## ЗАКЛЮЧЕННЯ

З проведеного дослідження функціонування транспортної галузі України був зроблений висновок про необхідність розроблення нових підходів до управління окремими її елементами, зокрема вантажопотоками в МТК. МТК забезпечують перевезення вантажів і пасажирів на рівні, якій відповідає вимогам країн ЄС.

Аналіз матричної моделі представлення вантажних перевезень дозволив зробити висновки о том, що вантажні перевезення і заснована на них транспортна задача є частковим випадком загальної задачі лінійного програмування. Зведення вантажних перевезень до системи лінійних рівнянь і далі до матричного представлення припускає використовувати до їх оптимізації стандартні матричні методи. Мережева модель представлення вантажних перевезень є більш наочна і природна по відношенню до матричної моделі, але існуючі методи оптимізації перевезень вантажів на цієї моделі є досить складними і важко піддаються формалізації. Виходячи з цього було запропоновано використовувати матрично-мережеву модель представлення вантажних перевезень, яка поєднує переваги наочності мережевих моделей і простоти оптимізації перевезень вантажів у матричному вигляді.

Розроблена модель мультимодальних вантажних перевезень маршрутами МТК концептуально базується на принципах побудови матрично-мережевої моделі перевезення вантажів з урахуванням специфіки здійснення міжнародних вантажних перевезень маршрутами МТК. В роботі удосконалено метод знаходження оптимальних планів перевезення вантажів маршрутами МТК, який враховує незбалансованість обсягів перевезень вантажів, а також дозволяє додатково до них отримувати відповідні маршрути транспортування вантажу, а також метод розв'язання задачі комівояжера при здійсненні вантажних перевезень у міжнародному сполученні, який при визначенні оптимального маршруту додатково враховує час проходження митних процедур і виконання навантажувально-розвантажувальних робіт.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Пелих В.Ю. Розвиток науково-технологічних основ експедиторського обслуговування на автомобільному транспорті. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ: НТУ, 2016. С. 234.
2. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Гілевська К.Ю. та інші. Визначення оптимальних параметрів, які впливають на продуктивність та якість автобусних пасажирських перевезень в місцях-конгломераціях / Звіт о НДР № 171 "Підвищення продуктивності та якості автобусних пасажирських перевезень в місцях-конгломераціях", (заключний етап), № ДО 0216U002813: Націон. транс. ун-т. – № ДР 0114U003950. К.: НТУ, 2016. 115 с.
3. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Майданик К.О., Ремех І.О., Омаров Д.М., Прокудін О.Г. Приклад побудови імітаційних моделей у транспортних системах. *Науковий журнал «Управління проектами, системний аналіз і логістика»*. Київ: НТУ, 2016. Вип. 17. Част. 1: «Технічні науки». С. 67–79.
4. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Ремех І.О., Чупайленко О.А. Особливості моделювання вантажних перевезень на транспортній мережі. *Науковий журнал «Управління проектами, системний аналіз і логістика»*. Київ: НТУ, 2018. Вип. 18. Част. 1: «Технічні науки». С. 101–114.
5. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Омаров Д.М. Визначення ефективності застосування системи тягових плечей у міжміських перевезеннях вантажу. *VII Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, 24-27 квітня 2017 року): тези доповідей, т. 2*. Чернігів: ЧНТУ, 2017. С. 146–148.
6. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Омаров Д.М. Застосування імітаційного моделювання для підвищення ефективності роботи міських автобусів. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ: НТУ, 2017. С. 258.

7. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А. Ефективність застосування системи тягових плечей в міжміських перевезеннях. *Науково-технічний збірник «Вісник Національного транспортного університету»*. Київ: НТУ, 2017. Вип. 1 (37). Серія «Технічні науки». С. 346–357.
8. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Дудник О.С. Перетворення мережевих моделей процесу вантажних перевезень у матричні моделі. *IX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (м. Херсон, 23-25 травня 2017 року): тези доповідей*. Херсон: ХДМА, 2017. С. 239–240.
9. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Майданик К.О. Аналіз і шляхи реформування транспортної галузі України. *Науково-технічний збірник «Транспортні системи і технології»*. Київ: ДЕДУТ, 2017. С. 244–254.
10. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Ремех І.О. Ефективність застосування системи тягових плечей при перевезеннях вантажів у міжнародному. *Systemy i srodki transportu samochodowego: Monografia nr 10. [monographia] pod redakcja naukowa K. Lejdy*. Rzeszow: Politechnika Rzeszowska, 2017. S.79–86.
11. Pylypenko Yu., Prokudin G., Chupailenko O., Dudnyk O. Nowj model zarzadzania transportem towarow w systemach transportowjch. *Kwartalne miedzynarodowe czasopismo naukowe "Area nauku"*. Lublin: Fundacja Osrodek rozwoju kompetencji akademickich, 2017. P. 70–78.
12. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С. Підвищення ефективності функціонування транспортних систем. *LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2018. С. 272.
13. Pylypenko Yu. , Prokudin G., Chupaylenko O. Traveling Salesman Problem in the Function of Freight Transport Optimization. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*. 2018. N. 3(1). P. 29–36. DOI:10.14254/jsdtl.2018.3-1.3. <https://jsdtl.sciview.net/index.php/jsdtl/issue/current>.
14. Pylypenko Yu., Prokudin G., Dudnik O. Optimization of Transport Processes with the Use of Information Technologies. *Open Access Peer-reviewed Journal «European Journal of Intelligent Transportation Systems»*, 1(1)., Warsaw: Publisher RS

15. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Майданик К.О. Удосконалення методів визначення оптимальних характеристик транспортних мереж. *Бізнес-моделі розвитку транспортних, агропромислових і інших підприємницьких структур: сучасні реалії та перспективи*: монографія з міжнародною участю за ред. Л.М. Савчук, Л.М. Бандоріної. Дніпро: Журфонд, 2018. С. 5–20.

16. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А. Вдосконалення методів пошуку найкоротших маршрутів на транспортній мережі. *Третя Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками в напрямі їх розв'язання», 28-30 березня 2019 року*: тези доповідей. Дрогобич: "Посвіт", 2019. С. 46-47.

17. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С. Модель оптимізації вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2019. С. 266.

18. Пилипенко Ю.В., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г. Оптимізація мультимодальних вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів. *Науковий журнал «Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля»*. Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля. Вип. № 2 (250), 2019. С. 65–73.

19. Пилипенко Ю.В. Приклад оптимізації вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів. *IX Міжнародна науково-практична конференція «Транспорт і логістика»*: збірник наукових праць. Одеса: КУПІРІЄНКО СВ, 2019. С. 180–182.

20. Воркут А.И. Автомобильные перевозки партионных грузов. Київ: Вища школа, 1974. 252 с.

21. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. Київ: Вища школа, 1986. 447 с.

22. Четверухін Б.М. Методи лінійного програмування та їх застосування.

Дослідження операцій в транспортних системах. Київ: УТУ, 2000. Ч. 1. 91 с.

23. Четверухін Б.М., Бакулич О.О., Раджевич С.Д. Системи масового обслуговування. Дослідження операцій в транспортних системах. Київ: НТУ, 2001. Ч. 2. 141 с.

24. Поліщук В.П. Проектирование автоматизированных систем управления движением на автомобильных дорогах. Київ: КАДИ, 1983. 95 с.

25. Левковець П.Р., Товкун Д.Л. Управління перевезеннями вантажів і логістика. Київ: НТУ, 2002. 145 с.

26. Левковець П.Р., Маруніч В.С. Міжнародні перевезення і транспортне право. Київ: Арістей, 2006. 418 с.

27. Хабутдінов Р.А. Системне формування технологій автомобільних перевезень за критеріями енерго- і ресурсовіддачі: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01. Київ: НТУ, 2003. 380 с.

28. Коцюк О.Я. Взаємодія видів транспорту. Київ: УТУ, 1999. 107 с.

29. Лебідь І.Г. Обґрунтування системи перевезень з використанням терміналів передачі вантажних модулів: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.01. Київ, 1998. 145 с.

30. Миротин Л.Б. Логистика: управление в грузовых транспортно-логистических системах. Москва: Юрист, 2002. 414 с.

31. Курганов В.М. Логистические транспортные потоки. Москва: Изд.-торг. корпорация „Дашков и Ко”, 2003. 252 с.

32. Миловская С.В., Плужников К.И. Мультимодальные и интермодальные перевозки. Москва: РосКонсульт, 2001. 368 с.

33. Беляев В.М. Терминальные системы перевозок грузов автомобильным транспортом. Москва: Транспорт, 1987. 287 с.

34. Меликов А. З. Методы и модели анализа оптимизации процессов обслуживания в многопоточковых системах: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01. Київ, 1992. 380 с. іл. бібліогр. С. 360–380.

35. Эйдес М.Е. Организация перевозок грузов автомобилями оборудованными сменными кузовами. Москва: Транспорт, 1986. 89 с.

36. Кирпа Г.Н. Организация контейнерных перевозок в Украине.

Днепропетровск: Арт-Пресс, 1998. 132 с.

37. Зайончик Л.Г. Логистика – технология транспортного процесса. Київ: Кий, 2000. 358 с.

38. Бенсон Д., Уайтхед Дж. Транспорт и доставка грузов. пер. с англ. В.В. Сильянова. Москва: Транспорт, 1990. 279 с.

39. Бронштейн О.И. Модели приоритетного обслуживания в информационно-вычислительных системах. Москва: Наука, 1976. 220 с.

40. Бронштейн О.И., Розенталь Г.О. Приоритетная система обслуживания с зонами прерывания. Автоматика и телемеханика: підручник. Москва: 1971. №7. С. 163–167

41. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Москва: Наука, 1978. 399 с.

42. Майзер Х., Эйджин Н., Тролл Р. Исследование операций: в 2 т. ред. Дж. Маузера, С. Элмаграби. пер. с англ. И.М. Маркова, И.М. Бескровного. Москва: Мир, 1981. Т.2. 667 с.

43. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. пер. с англ. И.В. Иноземцева. Москва: Машиностроение, 1979. 432 с.

44. Кендэлл М.Дж. Многомерный статистический анализ и временные ряды. пер. с англ. О.С. Правдина. М.: Наука, 1976. 736 с.

45. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. Москва: МАДИ, 1990. 168 с.

46. Флешиман В.С. Основы системологии. Москва: Наука, 1982. 524 с.

47. Прокудин Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах. Київ: НТУ, 2006. 224 с. іл. бібліогр. С. 217–222

48. Прокудин Г.С. Моделі та методи оптимізації вантажних перевезень в транспортних системах: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01. Київ, 2009. 299 с.

49. Дмитриченко М.Ф., Кельман І.І., Вільковський Є.К., Пеклич З.І., Мельниченко О.І. Загальний курс транспорту: підручник для студ. напряму підгот. “Транспортні технології”. Львів: Львівська політехніка, 2011. 524 с.

50. Прейгер Д.К., Собкевич О.В., Емельянова О.Ю. Реалізація потенціалу транспортної інфраструктури України в стратегії посткризового економічного

розвитку. Київ: НІСД, 2011. 37 с.

51. Офіційний сайт Державної фіскальної служби України // [www.sfs.gov.ua](http://www.sfs.gov.ua).

52. Кулаев Ю.Ф. Экономика гражданской авиации Украины. Київ: "Фенікс", 2004. 667 с.

53. Лановий О.Т. Єдина транспортна система України та її соціально-економічна значимість. *Проблеми транспорту*: зб. наук. праць. Київ: НТУ, 2006. Вип.3. С. 3–7.

54. Козлюк І.О. Транспортна стратегія як інструмент розвитку економіки України. *Проблеми транспорту*: зб. наук. праць. Київ: НТУ, 2006. Вип.3. С. 27–35

55. Зеркалов Д.В. Транспорт України. Київ: Основа, 2002. 416 с.

56. Белый О.В. Транспорт как фактор глобальной конкурентоспособности. *Транспорт и экономический рост*: Сб. научн. трудов. Санкт-Петербург: Эра, 2004. С. 33–35.

57. Офіційний сайт Держкомстату України // [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua).

58. Акуленко А.А., Кранц Й.М., Левчук М.Н. МТК ТРАСЕКА (Європа-Кавказ-Азія) у світовій транспортній системі та існуюча географія перевезень. *Науково-технічний збірник «Вісник ТАУ та УТУ»*. Київ: НТУ, 2012. № 7. С. 254–258.

59. Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Шахрай М.С., Алексейчук А.Л. Застосуванням ІТ для підвищення ефективності роботи транспортної логістики виробничого підприємства. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 308–309.

60. Прокудин Г.С. Методы решения открытых транспортных / *Научно-технический сборник «Вестник ХНАДУ»*. Харьков: ХНАДУ, 2004. №24. С. 84–86.

61. Дмитрієв М.М., Прокудін Г.С. Новий метод знаходження найкоротших шляхів на графі. *Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики*: зб. наук. праць. Київ: Мінтрансв'язку України, 2006. С. 105–110.

62. Прокудін Г.С., Данчук В.Д., Прокудін О.Г. Новий підхід до розв'язання не стандартних транспортних задач про призначення. *Науково-технічний збірник «Вісник НТУ»*. Київ: НТУ, 2 009. Вип.19. С. 147 – 151.

63. Прокудін Г.С., Данчук В.Д., Прокудін О.Г. Особливості оптимізації вантажних перевезень в транспортних. *Науковий журнал «Управління проектами, системний аналіз і логістика»*. Київ: НТУ, 2009. Вип. 6. С. 202–208.
64. Прокудін Г.С. Організація вантажних перевезень на транспортних мережах з обмеженнями на їх пропускні можливості. *Науковий журнал «Електроніка та системи управління»*. Київ: НАУ, 2011. № 1(27). С. 115–121.
65. Прокудін Г.С., Дзюба О.М., Білоус С.О. Приклад розв'язання транспортної задачі за критерієм часу. *Науково-технічний збірник «Вісник НТУ»*. Київ: НТУ, 2006. Вип. 11. С. 367–373.
66. Афанасьев Л.Л. Единая транспортная система и автомобильные перевозки. Учебник для студентов транспортных Вузов. Москва: Транспорт, 1984. 438 с.
67. Смахов А.А. Основы транспортной логистики. Москва: Транспорт, 1995. 160 с.
68. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении. Москва: Финансы и статистика, 2003. 368 с.
69. Миротин Л.Б., Ташбаев Ы.Э. Системный анализ в логистике. Москва: Экзамен, 2002. 480 с.
70. Новосельцев В.И. Теоретические основы системного анализа. Москва: Майор, 2006.– 351 с.
71. Головніна О.Г., Горілий С.В. Аналіз ринку вантажних автомобільних перевезень в Україні. *Науково-технічний збірник «Вісник НТУ»*. Київ: НТУ, 2003. Вип. 8. С. 164–167.
72. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій. – Київ: ЗАТ «ВПОЛ», 2000. 688 с.
73. Чернов В.П., Ивановский В.Б. Теория массового обслуживания. Москва: ИНФРА, 2000. 158 с.
74. Гультяев А.К. Имитационное моделирование в среде Windows. Санкт-Петербург: КОРОНА, 1999. 288 с.
75. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. Санкт-Петербург: Питер, 2001. 376 с.