

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ХОБОТНЯ ТЕТЯНА ГЕОРГІЇВНА

УДК 656.073 : 519.852.61

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

05.22.01 – транспортні системи

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Т. Г. Хоботня

Науковий керівник –
Прокудін Георгій Семенович
доктор технічних наук,
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02
_____ О. Ю. Усиченко

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Хоботня Т.Г. Підвищення ефективності міжнародних автомобільних вантажних перевезень. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукописі.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – «Транспортні системи» (275 – Транспортні технології (за видами транспорту)). – Національний транспортний університет, Київ, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі підвищення ефективності міжнародних автомобільних вантажних перевезень за допомогою розробки, удосконалення і впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу управління перевезеннями вантажів на транспортних мережах при незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення результатів. Також у вступі розкритий особистий внесок автора, апробація результатів, публікації, структура та загальний обсяг дисертаційної роботи.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану проблеми управління міжнародними вантажними перевезеннями. Були розглянуті наукові роботи вітчизняних та закордонних науковців з цього питання.

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.

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.

Основним недоліком наявних методів розв'язання транспортних задач (ТЗ), представлених у вигляді транспортної мережі (ТМ) є неможливість суворої математичної формалізації задачі та її наступного розв'язання методами сучасних інформаційних технологій. Більшість ТЗ не мають збалансованості попиту та пропозиції, тобто являються задачами відкритого типу. Стандартні методи зведення до задачі закритого типу, частіше всього не ефективні, а іноді взагалі не працюють.

Все це обумовлює актуальність дослідження і розробку удосконалених моделей і методів для розв'язання задач управління перевезеннями пасажирів і вантажів у міжнародному сполученні на ТМ при незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності міжнародних вантажних перевезень за рахунок розробки, удосконалення і впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу організації вантажних перевезень на транспортних мережах при незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів. Для досягнення поставленої мети в роботі визначені такі основні задачі дослідження:

1. Здійснити аналіз існуючих наукових підходів та діючих моделей і методів по управлінню вантажними перевезеннями у міжнародному сполученні.
2. Розробити новий метод зведення відкритих транспортних задач до транспортних задач закритого типу.
3. Провести моделювання процесів управління міжнародними вантажними перевезеннями на транспортних мережах в умовах незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів.

4. Розробити алгоритмічне та програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень по оптимальному управлінню перевезеннями вантажів на транспортних мережах у міжнародному сполученні.

5. Провести апробацію розробленого програмного забезпечення по управлінню вантажними перевезеннями у міжнародному сполученні на автотранспортних підприємствах АсМАП України.

У **другому розділі** викладені теоретичні основи організації перевезень на транспортних мережах при незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів.

Наведені у розділі теоретичні дослідження існуючих методів зведення відкритих ТЗ до збалансованого виду і засновані на них експериментальні дані, отримані за допомогою розробленого програмного комплексу оптимізації транспортних перевезень, дозволяють зробити наступні висновки:

- по-перше, оптимізацію транспортних перевезень доцільно робити тільки на збалансованій ТЗ (за винятком симплексного методу);
- по-друге, метод пропорційного зменшення обсягів попиту (пропозиції) вантажу учасників перевізного процесу крім його “справедливості”, що виявляється при перерозподілі обсягів перевезень, і практично необмеженості застосування, показує непоганий економічний ефект;
- по-третє, більшість відомих стандартних методів оптимізації транспортних перевезень (розподільний метод, метод потенціалів, метод диференціальних рент та ін.) взагалі працюють тільки з закритими ТЗ;
- по-четверте, метод коефіцієнтів приведення відкритих ТЗ до збалансованого виду також застосовується і до мережових ТЗ. Він є обов’язковим підготовчим (попереднім) етапом перед наступним застосуванням процедури оптимальної маршрутизації;
- по-п’яте, симплексний метод являється основним методом лінійного програмування і також може бути використаний для розв’язання відкритих транспортних задач, причому практичне застосування показало не погані економічні результати.

В другому розділі також було введено поняття відкритої транспортної задачі, що являє собою два різновиди, коли: сумарні запаси вантажу перевищують сумарні потреби в ньому; сумарні потреби у вантажі перевищують сумарні його запаси.

Удосконалений метод раціонального балансування обсягів постачань і замовлень вантажів в транспортних мережах. Метод відмінний від відомих тим, що зменшення обсягу попиту (пропозиції) на величину невідповідності попиту-пропозиції (пропозиції-попиту) проводиться не тільки у пунктах постачання або пунктах споживання, які мають найбільше значення попиту (пропозиції), а в усіх учасників перевізного процесу по черзі, що дозволяє отримати більш дешевший план перевезень, ніж при застосуванні класичного різницевого методу. Запропонована методика застосування симплексного методу для розв'язання задач раціональної організації автомобільних вантажних перевезень в умовах незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів, що підвищує ефективність використання удосконаленого симплексного методу на 10-15 % у разі перевищення пропозиції вантажу над його попитом.

Також слід зазначити, що симплексний метод був непопулярний і недійсний, тому що потужностей комп'ютерної техніки було недостатньо для здійснення обчислень з великою кількістю ітерацій. На даний момент, з розвитком інформаційних технологій, симплексний метод можна застосувати при вирішенні транспортної задачі.

У **третьому розділі** проведено моделювання процесів управління міжнародними вантажними перевезеннями і наведені теоретичні засади знаходження основних характеристик транспортних мереж. Для цього були розглянуті наступні задачі – задача управління вантажними перевезеннями за допомогою електронних таблиць, багатоетапна транспортна задача у середовищі табличного процесора Excel, а також описана структура і функціональні можливості спроектованої системи підтримки прийняття рішень управління незбалансованими вантажними перевезеннями на транспортній мережі України та Західної Європи.

Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (*network flow problems*). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є

принцип збереження потоку в будь-якому вузлу, а саме – сума потоків $F_{вих}(x)$ на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході: $F_{вх}(x) + \text{потенціал } p(x) \text{ вузла (+ пропозиція/– попит)}$.

Потік у кожному вузлі мережі – це функція, яка задовольняє лінійні рівняння і нерівності, де на кожній дузі (x_i, x_j) мережі поставлено одне чи кілька позитивних чисел. Наприклад, величина $c(x_i, x_j)$ в задачі про максимальний потік є пропускною здатністю дуги (максимальна кількість продукту, яку можна доставити з вузла x_i до вузла x_j цією дугою за одиницю часу), у ТЗ – це відстань чи вартість перевезення. Отже, величина потоку по дузі (x_i, x_j) не перевищує пропускної здатності цієї дуги $c(x_i, x_j)$, якщо вона зазначена.

Класичними задачами на графах є задачі побудови найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами – s (джерелом) і t (стоком).

В розділі наводяться теоретичні відомості і практичні методи розв’язання мережевої транспортної задачі та задачі знаходження максимального потоку на транспортній мережі.

Представлений в роботі підхід до рішення поставленої багатоетапної транспортної задачі показує один з напрямів цього рішення, але разом з тим не претендує на загальність і єдиність, що пов’язано з наявністю в цьому підході наступних припущень:

1) на 2-ому і 3-ому етапах всіх трьох варіантів перевезення вантажу зроблено припущення про готовність всіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в об’ємах, відповідних їх первинним заявкам;

2) не розглянутий четвертий варіант перевезення вантажу, у якого $\sum_{i=1}^m a_i \gg \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{r=1}^l c_k$ (знак $\gg$ означає “значно більше”), що повинно спричинити за собою багатократне повторення всіх трьох вищеописаних етапів перевезення вантажу;

3) представлена модель організації перевезень вантажу не є мережевою.

Всі перераховані вище припущення були використані в описаному підході виходячи з обмеженості середовища його реалізації – табличного процесора *Excel*. У подальших наукових і експериментальних дослідженнях ці припущення зняті за рахунок використання прогресивніших програмних засобів сучасних інформаційних технологій. Зокрема була розроблена системи підтримки прийняття рішень (СПРУВП) управління незбалансованими вантажними перевезеннями на транспортних мережах України та Західної Європи.

Експериментально, з метою виявлення пріоритетності розглянутих вище методів за допомогою СПРУВП, було розв’язано 100 незбалансованих за обсягами перевезень вантажу практичних транспортних завдань по знаходженню оптимальних планів перевезень вантажів. В результаті у якості методу зведення цих відкритих ТЗ до збалансованого виду і подальшому знаходженню оптимального плану вантажних перевезень було використано: симплексний метод у 48 випадках; метод коефіцієнтів у 27 випадках; метод фіктивного постачальника/споживача у 16 випадках та різницевий метод у 9 випадках.

У **четвертому розділі** представлені прикладні аспекти реалізації наукових досліджень.

Запропонований логістичний підхід к організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах був реалізований у вигляді програмно-інструментального комплексу (ПК), який об’єднує етап зведення мережевого представлення схеми доставки вантажів до табличного вигляду і етап планування і подальшого здійснення масових вантажних перевезень на ДТМ. Він показав свою ефективність при оптимізації вантажних перевезень на автопідприємствах АсМАП України.

Цей підхід до оптимізації масових вантажних перевезень на ДТМ, який базується на використанні сучасних засобів інформаційних технологій, демонструє один з напрямів цього рішення, але має наступні обмеження:

– на 2-ому, 3-ому і подальших етапах зроблено припущення про готовність всіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в обсягах, відповідних їх первинним замовленням.

– для успішного застосування запропонованого підходу необхідно попередньо перетворити мережеву модель представлення перевезень вантажу до табличного вигляду.

– ППК може буде застосований для ТМ малої та середньої розмірності у зв'язку з обмеженістю програмного середовища його реалізації – табличного процесора Excel.

У ході виконання даного наукового дослідження доведена можливість автоматизації процесу розв'язування задачі комівояжера за допомогою сучасних засобів інформаційних технологій, а саме: програмного середовища *Delphi* та функції «Пошук рішення» в табличному процесорі *Microsoft Office Excel*, враховуючи існуючі вимоги та обмеження на специфіку і розмірність задачі.

У роботі запропоновано використання підходу з прийняття рішень в умовах невизначеності при організації міжнародних вантажних перевезень. Кожен критерій пропонує нове рішення, і невизначеність стану перетворюється у відсутність ясності, якого саме критерію дотримуватися. Це пояснюється тим, що різні критерії пов'язані з різними обставинами, в яких приймаються рішення, тому для порівняльної оцінки рекомендовано одержати додаткову інформацію про обставини, в яких буде прийматися рішення. При залученні додаткових транспортних засобів, не власних, варто орієнтуватися на перевірених перевізників із оптимальними тарифами, що дозволить, у результаті, зменшити собівартість виконання перевезень в міжнародному сполученні.

За допомогою непараметричного *T*-критерію Вілкоксона був підтверджений той факт, що побудована у дисертаційній роботі математична модель перевізного процесу повністю адекватна її фізичній моделі, а саме процесу здійснення вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів з незбалансованістю обсягів транспортування вантажів і обмеженнями на пропускні здатності транспортних вузлів і комунікацій.

У **додатках** наведені свідоцтва про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір наукового характеру, акти впровадження результатів дисертаційних досліджень в навчальний процес і виробництво, а також Список

публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

Ключові слова: міжнародні автомобільні вантажні перевезення, критерій по вартості і за часом, симплексний метод, відкрита транспортна задача, метод фіктивного вузла, пропорційно-різницевий метод, програмно-інструментальний комплекс, система підтримки прийняття рішень.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Система підтримки прийняття рішень управління вантажними перевезеннями на транспортних мережах. *Open Access Peer-reviewed Journal: European Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2021. 1(3).

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ejits/30032021/7352.

2. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г., Коп'як Н.В. Прийняття рішень в умовах невизначеності при організації міжнародних автомобільних вантажних перевезень *Open Access Peer-reviewed Journal: European Journal of Science Review*. 2021. 1(36), P.10-16.

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30012021/7374.

Статті у фахових виданнях:

3. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Логістичний підхід до аналізу діяльності дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. 2010. № 4 (146) Ч. 1. С. 167-171.

4. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Сучасні аспекти вдосконалення дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *Вісник*

Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля. 2011. № 5 (159) Ч. 1. С. 157-161.

5. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Поточні зміни функціонування дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *Проблеми транспорту*. 2011. Вип. 8. С. 212-217.

6. Прокудін Г.С., Ремех І.О., Хоботня Т.Г. Організація незбалансованих вантажних перевезень із використанням вантажних митних комплексів. *Розвиток транспорту*. 2020. № 1(6). С. 116-126. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.010>.

7. Prokudin G.S., Chupaylenko O.A., Lebid V.V., Khobotnia T.G. Development of methods to increase the efficiency of road transportation by international transport corridors. *Technology audit and production reserves*. 2020. 4/4 (54). P. 34-36. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.210379>.

8. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г., Ремех І.О. Розв'язання мережевих транспортних задач у середовищі EXCEL. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки»*. 2020. Том 31(70) № 5. С. 214-219. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/35>.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Настаченко Т.Г., Олійник Ю.М. Аналіз стану та перспективи розвитку перевезення швидкопсувних вантажів. *LXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2010. С. 189.

10. Настаченко Т.Г. Стан дозвільної системи України у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів та аналіз її діяльності. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2011. С. 165.

11. Хоботня Т.Г. Особливості функціонування дозвільної системи в Україні у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників*

відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей. К.: НТУ. 2012. С. 209.

12. Хоботня Т.Г. Теоретичний підхід до оцінки якості процесу повернення дозвільних документів на виконання міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей.* К.: НТУ. 2014. С. 216.

13. Хоботня Т.Г. Особливості функціонування дозвільної системи в Україні у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей.* К.: НТУ. 2015. С. 264.

14. Кунда Н.Т., Хоботня Т.Г. Аналіз процесів формування транспортно-логістичних кластерів. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016).* VIII Міжнародної науково-практична конференція. (м. Херсон, 24-26 травня 2016 р.). Херсон: ХДМА. 2016. С. 240-243.

15. Хоботня Т.Г. Мотивація менеджерів та учасників проектної команди при управлінні проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Управління проектами: стан та перспективи.* XIV Міжнародна науково-практична конференції (м. Миколаїв, 11-14 вересня 2018 р.). Миколаїв: НУК. 2017. С. 116-117.

16. Кунда Н.Т., Хоботня Т.Г. Планування як основа управління проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018).* X Міжнародна науково-практична конференція (м. Херсон, 29-31 травня 2018 р.). Херсон: ХДМА. 2018. С. 27-30.

17. Хоботня Т.Г. Основні характеристики управління проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Бізнес-моделі розвитку транспортних, агропромислових і інших підприємницьких структур: сучасні реалії та перспективи: монографія з міжнародною участю.* Дніпро: Журфонд. 2018. С. 47-56.

18. Хоботня Т.Г., Пащенко Д.П. Шляхи підвищення ефективності процесу доставки збірних вантажів у міжнародному сполученні. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: Тези доповідей. К.: НТУ. 2019. С. 265.

19. Хоботня Т.Г. Управління якістю проектів транспортно-експедиторського обслуговування при перевезенні вантажів автомобільним транспортом. *Сучасні процеси трансформації у бізнесі та виробництві: теорія, методологія, практика (зовнішньоекономічна діяльність, промислове виробництво, транспорт): монографія*. Дніпро: Пороги, 2019. С. 471-478.

20. Хоботня Т.Г., Іващенко О.О. Дослідження ринку вантажних перевезень автомобільним транспортом в сучасних умовах. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: Тези доповідей. К.: НТУ. 2020. С. 261-262.

21. Хоботня Т.Г., Закусило М.А. Дослідження поточної проблематики та тенденцій в логістиці доставки вантажів автомобільним транспортом. *Научные исследования: парадигма инновационного развития*. III Международная научная конференция (Братислава–Вена, 26 мая 2020 года). 2020. С. 64-67.

22. Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Оптимізація вантажних перевезень на транспортній мережі за допомогою табличного процесора. *International scientific and practical conference «Science, engineering and technology: global trends, problems and solutions»: Conference proceedings*. (Prague, September 25-26, 2020.). 2020. Р. 164-168.

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-79-2-2.40>.

23. Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г., Кунда Н.Т. Оптимізація вантажних перевезень за допомогою інформаційних технологій. *Інтелектуальні технології управління транспортними процесами*. Міжнародна науково-технічна конференція (17-18 листопада 2020 р.) ХНАДУ. С. 152-154.

https://fts.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-TRANSPORT/ЗБІРНИК_МАТЕРІАЛІВ.pdf.

24. Хоботня Т.Г. Оптимізація вантажних перевезень за допомогою інформаційних технологій. *Звіт о НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні” (заключний етап)*. № ДР 0112U008415. К.: НТУ. 2020. С. 79-82.

25. Хоботня Т.Г. Аналіз процесу оцінки проектів перевезення вантажів у міжнародному сполученні маршрутами міжнародних транспортних коридорів. *Звіт о НДР “Розробка методів підвищення ефективності автомобільних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів” (заключний етап)*. № ДР 0119U101796. К.: НТУ. 2020. С. 15-28.

Свідоцтва та патенти

26. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 90021. Літературний письмовий твір наукового характеру “Робоча програма та методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни “Транспортні системи в логістиці та організація перевезень” для студентів спеціальності 073 ”Менеджмент” денної форми навчання”. Шарай С.М., Катрушенко Н.А., Гілевська К.Ю., Денис О.В., Хоботня Т.Г., Рой М.П. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Дата реєстрації 20.06.2019.

27. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 90771. Літературний письмовий твір наукового характеру “Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Транспортні системи в логістиці та організація перевезень” для студентів спеціальності 073 ”Менеджмент” денної форми навчання”. Шарай С.М., Катрушенко Н.А., Гілевська К.Ю., Денис О.В., Хоботня Т.Г., Рой М.П. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Дата реєстрації 15.07.2019.

ABSTRACT

Khobotnia T.H. Efficiency Improvement in International Road Freight Transportation. – Manuscript.

PhD thesis in Transport Systems (05.22.01), 275 – Transport Technologies (by Types of Transport). – National Transport University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The thesis is devoted to solving the important scientific and practical problem of increasing the efficiency of international road freight transportation through the development, improvement and implementation of models, methods and software for freight transportation management in transport networks with imbalance between the volumes of deliveries and orders of goods.

The **introduction** substantiates the relevance of the chosen topic, its connection with scientific programs, formulates the purpose and objectives of the study, scientific novelty and practical significance of the results. The introduction also presents the personal contribution of the author, approbation of the results, publications, structure and the general volume of the thesis.

The **first section** is devoted to the analysis of the current state of the problem of international freight transportation management. Scientific works of domestic and foreign scientists on this issue were considered.

The world transport system is currently undergoing a process of profound, fundamental change. Intensive impulses have been obtained for the development of the processes of creating a single trade market on different continents, and the procedure for crossing borders has been significantly simplified.

Ukraine's international transport network and existing transportation systems in the context of economic transformation require fundamental changes in operational and technological activities, as well as the replacement of technical means and equipment.

The main requirements in these matters are:

- maximum reduction of transportation costs;
- reassessment of criteria in approaches to determining the efficiency of transportation, the transition from volume indicators of transport to financial and economic ones ;

- ensuring sufficient speed of transport and delivery of passengers and goods;
- ensuring the safety of goods during transportation;
- improving the quality of transport services.

The main disadvantage of the existing methods of solving a transport problem (TP), presented in the form of a transport network (TN) is the impossibility of strict mathematical formalization of the problem and its subsequent solution by the methods of modern information technology. Most transport problems do not have a balance of supply and demand, i.e. are open-ended problems. Standard methods of changing them into closed-ended problems are often ineffective and sometimes do not work at all.

All this determines the relevance of research and development of advanced models and methods for solving the managing problems of international transportation of passengers and goods in TN with imbalance between the volumes of deliveries and orders of goods.

The purpose of the thesis is to increase the efficiency of international freight transportation through the development, improvement and implementation of models, methods and software for the process of organizing freight transportation in transport networks with imbalance between the volumes of deliveries and orders of goods. To achieve this goal, the following main objectives of the study are identified:

1. To conduct a study of the state of the problem of international freight transportation management ;
2. To carry out an analysis of existing scientific approaches and existing models and methods for international freight transportation management ;
3. To develop new methods of converting open-ended transport problems to problems of the closed type;
4. To carry out modeling of processes of international freight transportation management in transport networks in the conditions of imbalance between the volumes of deliveries and orders of goods.
5. To develop a decision-taking support system for optimal international freight transportation management.
6. To carry out approbation of the developed software for international freight transportation management at the motor transport enterprises of AsMAP of Ukraine.

The **second section** describes theoretical foundations of transportation in transport networks with imbalance between the volumes of deliveries and orders of goods.

The theoretical research of existing methods of converting open-ended problems to a balanced look and the experimental data received on the basis of the developed software complex of transportation optimization allow to draw the following conclusions:

- first, it is advisable to optimize transportation only with a balanced transport problem;
- secondly, the method of proportional reduction of demand (supply) of goods from participants in the transport process in addition to its "fairness", which is manifested in the redistribution of transportation and can be applied unlimited, shows a relatively good economic effect;
- thirdly, most of the known standard methods of transport optimization (distribution method, potential method, differential rent method, etc.) generally work only with closed-ended problems;
- fourthly, the method of coefficients of converting open-ended problems to a balanced type is also applicable to network transport problems, being a mandatory preparatory (preliminary) stage before the next application of the optimal routing procedure;
- fifth, the simplex method is the main method of linear programming and can also be used to solve open-ended transport problems, with practical application showing good economic results.

In the second section, the concept of an open transport problem was introduced, which is of two types, when: the total stocks of freight exceed the total needs for it; the total needs of the freight exceed its total stocks.

The method of rational balancing of volumes of deliveries and orders of freight in transport networks was improved. The method differs from the known ones in that the reduction of demand (supply) by the magnitude of the mismatch of supply and demand (supply and demand) is carried out not only at supply points or consumption points that have the greatest value of demand (supply), but with all participants in the transport process in turn, which allows you to get a cheaper transportation plan than when using the classic difference method. The application technique of the simplex method for solving the

problems of rational organization of road freight transportation in the conditions of imbalance between the volumes of deliveries and orders of goods was suggested, which increases the efficiency of the advanced simplex method by 10-15% in case of excess supply over its demand.

Both types of open transport problems are combined and a combinatorial solution method was used to solve the obtained conditions of the vehicle. The combinatorial method allows to obtain not a single solution of the problem, as in the Hungarian method, but a set of acceptable solutions. This set is the product of the number of combinations of matrices and the number of busts. Next, from all the obtained valid solutions, the optimal one is selected according to the time criterion. The search algorithm allows you to take into account the method of forbidden cells.

It should also be noted that the simplex method was unpopular and invalid because the capacity of computer technology was insufficient to perform calculations with a large number of iterations. At the moment, with the development of information technology, the simplex method can be used in solving the transport problem.

In the **third section** the modeling of processes of international freight transportation management is carried out and the theoretical bases for finding the main characteristics of transport networks are given. To do this, the following tasks were solved: the problem of freight transportation management using electronic spreadsheets, the multi-stage transport problem in Excell spreadsheet environment, as well as the structure and functionality of the designed decision-taking support system for unbalanced freight transportation management in the transport network of Ukraine and Western Europe was described.

Most network optimization problems are network flow problems. For network optimization problems, the principle of preserving the flow in any node is fundamental, namely, the sum of the flows $F_{vih}(x)$ at the output of the node is equal to the sum of the flows at its input: $F_{vh}(x) + \text{potential } p(x) \text{ of the node } (+ \text{ proposal} / - \text{ demand})$.

The flow in each node of the network is a function that satisfies linear equations and inequalities, where one or more positive numbers are placed on each arc (x_i, x_j) of the network. For example, the value of $c(x_i, x_j)$ in the problem of maximum flow is the capacity of the arc (the maximum amount of product that can be delivered from node x_i to node x_j by this arc per unit time), in the transport problem it is the distance or cost of

transportation. Therefore, the magnitude of the flow along the arc (x_i, x_j) does not exceed the capacity of this arc $c(x_i, x_j)$, if it is specified.

The classic problems on graphs are the problems of constructing the shortest paths and their aggregates in the form of corresponding trees or contours. One such task is to find the shortest path between two given nodes — s (source) and t (stock).

The section also provides theoretical information and practical methods for solving the network transport problem and the problem of finding the maximum flow in the transport network.

The approach to the solution of the set multi-stage transport problem presented in the work shows one of the directions of this solution, but at the same time does not claim generality and unity which is connected with existence in this approach of the following assumptions:

1) at the 2nd and 3rd stages of all three variants of freight transportation, the assumption about readiness of all its recipients for placement of this freight in the volumes corresponding to their initial applications is made;

2) the fourth variant of freight transportation was not considered, in which

$$\sum_{i=1}^m a_i \gg \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{r=1}^l c_k$$
 (sign $\gg$ means “much more”), which should lead to multiple repetition of all three above-described stages of freight transportation;

3) the presented model of freight transportation is not a network one.

All of the above assumptions were used in the described approach based on the limited environment of its implementation – Excel spreadsheet. Further scientific and experimental research is expected to remove these assumptions through the use of more advanced software of modern information technology. In particular, decision-taking support system for the management of unbalanced freight transportation in the transport networks of Ukraine and Western Europe was developed.

Experimentally, in order to identify the priority of the above methods with the help of DTSSFTM, 100 unbalanced in terms of freight transportation practical transport problems were solved to find the optimal plans of freight transportation. As a result, the following were used as a method of converting these open transport problems to a

balanced type and further finding of the optimal freight plan: the simplex method - in 48 cases; the coefficient method - in 27 cases; the fictitious supplier / consumer method - in 16 cases and the difference method - in 9 cases.

The **fourth section** presents applied aspects of research implementation.

The proposed logistical approach to the organization of unbalanced freight transportation in transport networks was implemented in the form of a software and tools package (STP), which combines the stage of converting the network representation of the freight delivery scheme to a tabular form and the stage of planning and further implementation of mass freight transportation in the road transport network. It has shown its effectiveness in optimizing freight transportation at AsMAP of Ukraine.

This approach to the optimization of mass freight transportation in the road transport system, which is based on the use of modern means of information technology, demonstrates one of the areas of this solution, but has the following limitations:

- at the 2nd, 3rd and subsequent stages, an assumption is made about the readiness of all its recipients to place this freight in the amounts corresponding to their initial order;
- for the successful application of the proposed approach, it is necessary to pre-convert the network model of freight transportation to a tabular form.
- STP can be used for small and medium-sized transport networks due to the limited software environment for its implementation - Excel spreadsheet.

In the course of this research, it was established that it is possible to automate the process of solving the salesman's problem with the help of modern information technology, namely: Delphi software environment and "Finding a solution" function in Microsoft Office Excel spreadsheet, taking into account existing requirements and limitations on specificity and proportionality of tasks.

The paper proposes the use of the decision-taking approach in conditions of uncertainty in the organization of international freight transportation. Each criterion offers a new solution, and the uncertainty of the state turns into a lack of clarity as to which criterion to follow. This is because different criteria relate to different circumstances in which decisions are taken, so it is recommended to obtain additional information about the circumstances in which the decision will be taken for comparative evaluation. When

attracting additional non-proprietary vehicles, it is necessary to focus on proven carriers with optimal tariffs, which will, as a result, reduce the cost of international transportation.

The non-parametric T-test of Wilcoxon confirmed the fact that the mathematical model of the transportation process built in the thesis is completely adequate to its physical model, namely the process of freight transportation routes of international transport corridors with unbalanced freight volumes, capacity constraints of transport hubs and communications.

The **appendices** contain certificates of copyright registration for a literary written work of a scientific nature, acts of implementation of the thesis research results in the educational process and production, as well as a list of applicant's publications on the topic of the thesis and information on testing the thesis results.

Keywords: international road freight transportation, criterion of cost and time, simplex method, open transport problem, fictitious node method, proportional-difference method, software and tool package, decision-taking support system.

LIST OF CANDIDATE'S PUBLICATIONS

Scientific papers, in which the main scientific results of the thesis were published:

Publications from foreign countries, or from Ukraine, which are included in the international scientometric bases:

1. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Система підтримки прийняття рішень управління вантажними перевезеннями на транспортних мережах. *Open Access Peer-reviewed Journal: European Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2021. 1(3).

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ejits/30032021/7352.

2. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г., Коп'як Н.В. Прийняття рішень в умовах невизначеності при організації міжнародних автомобільних вантажних перевезень *Open Access Peer-reviewed Journal: European Journal of Science Review*. 2021. 1(36), P.10-16.

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30012021/7374.

Professional Publications:

3. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Логістичний підхід до аналізу діяльності дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. 2010. № 4 (146) Ч. 1. С. 167-171.

4. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Сучасні аспекти вдосконалення дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. 2011. № 5 (159) Ч. 1. С. 157-161.

5. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Поточні зміни функціонування дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *Проблеми транспорту*. 2011. Вип. 8. С. 212-217.

6. Прокудін Г.С., Ремех І.О., Хоботня Т.Г. Організація незбалансованих вантажних перевезень із використанням вантажних митних комплексів. *Розвиток транспорту*. 2020. № 1(6). С. 116-126. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.010>.

7. Prokudin G.S., Chupaylenko O.A., Lebid V.V., Khobotnia T.G. Development of methods to increase the efficiency of road transportation by international transport corridors. *Technology audit and production reserves*. 2020. 4/4 (54). P. 34-36. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.210379>.

8. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г., Ремех І.О. Розв'язання мережевих транспортних задач у середовищі EXCEL. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки»*. 2020. Том 31(70) № 5. С. 214-219.

DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/35>.

Publications of Approbation Character:

9. Настаченко Т.Г., Олійник Ю.М. Аналіз стану та перспективи розвитку перевезення швидкопсувних вантажів. *LXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2010. С. 189.

10. Настаченко Т.Г. Стан дозвільної системи України у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів та аналіз її діяльності. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та*

співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей. К.: НТУ. 2011. С. 165.

11. Хоботня Т.Г. Особливості функціонування дозвільної системи в Україні у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей.* К.: НТУ. 2012. С. 209.

12. Хоботня Т.Г. Теоретичний підхід до оцінки якості процесу повернення дозвільних документів на виконання міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей.* К.: НТУ. 2014. С. 216.

13. Хоботня Т.Г. Особливості функціонування дозвільної системи в Україні у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей.* К.: НТУ. 2015. С. 264.

14. Кунда Н.Т., Хоботня Т.Г. Аналіз процесів формування транспортно-логістичних кластерів. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016).* VIII Міжнародної науково-практична конференція. (м. Херсон, 24-26 травня 2016 р.). Херсон: ХДМА. 2016. С. 240-243.

15. Хоботня Т.Г. Мотивація менеджерів та учасників проектної команди при управлінні проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Управління проектами: стан та перспективи.* XIV Міжнародна науково-практична конференції (м. Миколаїв, 11-14 вересня 2018 р.). Миколаїв: НУК. 2017. С. 116-117.

16. Кунда Н.Т., Хоботня Т.Г. Планування як основа управління проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018).* X Міжнародна науково-практична конференція (м. Херсон, 29-31 травня 2018 р.). Херсон: ХДМА. 2018. С. 27-30.

17. Хоботня Т.Г. Основні характеристики управління проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Бізнес-моделі розвитку транспортних, агропромислових і інших підприємницьких структур: сучасні реалії та перспективи: монографія з міжнародною участю*. Дніпро: Журфонд. 2018. С. 47-56.

18. Хоботня Т.Г., Пащенко Д.П. Шляхи підвищення ефективності процесу доставки збірних вантажів у міжнародному сполученні. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2019. С. 265.

19. Хоботня Т.Г. Управління якістю проектів транспортно-експедиторського обслуговування при перевезенні вантажів автомобільним транспортом. *Сучасні процеси трансформації у бізнесі та виробництві: теорія, методологія, практика (зовнішньоекономічна діяльність, промислове виробництво, транспорт): монографія*. Дніпро: Пороги. 2019. С. 471-478.

20. Хоботня Т.Г., Іващенко О.О. Дослідження ринку вантажних перевезень автомобільним транспортом в сучасних умовах. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2020. С. 261-262.

21. Хоботня Т.Г., Закусило М.А. Дослідження поточної проблематики та тенденцій в логістиці доставки вантажів автомобільним транспортом. *Научные исследования: парадигма инновационного развития*. III Международная научная конференция (Братислава–Вена, 26 мая 2020 года). 2020. С. 64-67.

22. Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Оптимізація вантажних перевезень на транспортній мережі за допомогою табличного процесора. *International scientific and practical conference «Science, engineering and technology: global trends, problems and solutions»: Conference proceedings*. (Prague, September 25-26, 2020.). 2020. P. 164-168.

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-79-2-2.40>.

23. Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г., Кунда Н.Т. Оптимізація вантажних перевезень за допомогою інформаційних технологій. *Інтелектуальні технології управління транспортними процесами*. Міжнародна науково-технічна конференція (17-18 листопада 2020 р.) ХНАДУ. С. 152-154.

https://fts.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-TRANSPORT/ЗБІРНИК_МАТЕРІАЛІВ.pdf.

24. Хоботня Т.Г. Оптимізація вантажних перевезень за допомогою інформаційних технологій. *Звіт о НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні” (заключний етап)*. № ДР 0112U008415. К.: НТУ. 2020. С. 79-82.

25. Хоботня Т.Г. Аналіз процесу оцінки проектів перевезення вантажів у міжнародному сполученні маршрутами міжнародних транспортних коридорів. *Звіт о НДР “Розробка методів підвищення ефективності автомобільних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів” (заключний етап)*. № ДР 0119U101796. К.: НТУ. 2020. С. 15-28.

Certificates and Patents:

26. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 90021. Літературний письмовий твір наукового характеру “Робоча програма та методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни “Транспортні системи в логістиці та організація перевезень” для студентів спеціальності 073 ”Менеджмент” денної форми навчання”. Шарай С.М., Катрушенко Н.А., Гілевська К.Ю., Денис О.В., Хоботня Т.Г., Рой М.П. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Дата реєстрації 20.06.2019.

27. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 90771. Літературний письмовий твір наукового характеру “Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Транспортні системи в логістиці та організація перевезень” для студентів спеціальності 073 ”Менеджмент” денної форми навчання”. Шарай С.М., Катрушенко Н.А., Гілевська К.Ю., Денис О.В., Хоботня Т.Г., Рой М.П. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Дата реєстрації 15.07.2019.

З М І С Т

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	27
ВСТУП.....	29
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ.....	39
1.1 Управління перевезеннями в транспортних системах.....	39
1.2 Особливості рішення задач управління перевезеннями в транспортних мережах.....	51
1.3 Постановка задач дослідження по удосконаленню методів управління перевезеннями в транспортних мережах при незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів.....	56
Висновки до розділу 1.....	58
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ ПРИ НЕЗБАЛАНСОВАНOSTІ ОБСЯГІВ ПОСТАЧАНЬ І ЗАМОВЛЕНЬ ВАНТАЖІВ.....	60
2.1 Математична модель представлення перевезень вантажів у відкритих транспортних задачах.....	60
2.2 Методи управління перевезеннями вантажів на транспортних мережах.....	62
2.3 Розв’язання транспортних задач симплексним методом.....	79
2.4 Методи розв’язання відкритих транспортних задач.....	87
2.5 Порівняльний аналіз методів розв’язання відкритих транспортних задач.....	92
Висновки до розділу 2.....	96
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ МІЖНАРОДНИМИ ВАНТАЖНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ.....	97
3.1 Теоретичні засади знаходження основних характеристик транспортних мереж.....	97
3.2 Рішення задач управління вантажними перевезеннями	

за допомогою електронних таблиць.....	109
3.3 Розв’язання багатоетапної транспортної задачі у середовищі табличного процесора.....	120
3.4 Система підтримки прийняття рішень управління незбалансованими вантажними перевезеннями на транспортній мережі України та Західної Європи.....	128
Висновки до розділу 3.....	133
РОЗДІЛ 4 ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	135
4.1 Логістичний підхід до організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах.....	135
4.2 Застосування задачі комівояжера при організації перевезення вантажів в міжнародних транспортних коридорах.....	142
4.3 Прийняття рішень в умовах невизначеності при організації міжнародних вантажних перевезень.....	153
4.4 Організація незбалансованих вантажних перевезень із використанням вантажних митних комплексів.....	162
4.5 Адекватність результатів дисертаційних досліджень.....	173
Висновки до розділу 4.....	176
ВИСНОВКИ.....	178
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	180
ДОДАТКИ.....	192

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АсМАП	– Асоціація міжнародних автомобільних перевізників
АТП	– автотранспортне підприємство
БТЗ	– багатоступінчаста транспортна задача
ВАТ	– відкрите акціонерне товариство
ВВП	– внутрішній валовий продукт
ВМК	– вантажний митний комплекс
ДТМ	– дорожньо-транспортна мережа
ЗЗЛП	– загальна задача лінійного програмування
ЗЛПН	– задача лінійного програмування з обмеженнями-нерівностями
ЗЛП	– задача лінійного програмування
ІТ	– інформаційні технології
ЛП	– лінійне програмування
МТК	– міжнародні транспортні коридори
ОПР	– особа, яка приймає рішення
ПВ	– пункт відправлення
ПП	– пункт призначення
ПС	– пункт споживання
ПТ	– пункт транзиту
ПСТ	– проміжні складські термінали
РС	– рухомий склад
СП	– проміжні складські пункти
СПРУВП	– система підтримки прийняття рішень управління вантажними перевезеннями
СТ	– симплекс-таблиця
ТС	– транспортна система
СМ	– симплексний метод (симплекс-метод)
ТЗ	– транспортна задача
ТДК	– транспортно-дорожній комплекс
ТМ	– транспортна мережа

ТС	– транспортна система
ТТ	– транспортна таблиця
ЄУТР	– Європейська угода щодо роботи екіпажів ТЗ
ткм	– тонно-кілометр
у.г.о.	– умовна грошова одиниця
у.о.в.	– умовна одиниця вантажу
о.в.	– одиниця вантажу
s	– вихідні дуги орієнтованого графа
t	– вхідні дуги орієнтованого графа

ВСТУП

Науково-технічний прогрес в транспортній галузі є одним із головних факторів розвитку суспільства, підвищення добробуту його громадян. Стратегічним завданням науково-технічної політики в області транспортної системи (ТС) держави є вихід на світовий рівень за технічними параметрами та якістю послуг, що реалізуються транспортом. У зв'язку з цим першочерговим і пріоритетним завданням для транспортної галузі є розширення наукових досліджень з проблем створення прогресивних технологій перевезень та технічних засобів нових поколінь, формування та функціонування ефективної ТС, її інфраструктури, розробка принципово нових систем управління процесом перевезення вантажів і пасажирів з використанням прогресивних інформаційних технологій (ІТ).

Транспорт є галуззю матеріального виробництва, що виконує перевезення людей та вантажів. У структурі суспільного виробництва транспорт відноситься до сфери виробництва матеріальних послуг. В сучасних умовах розвитку економіки України, транспортна галузь має певні проблеми, вирішення яких можливо намітити після вивчення законів побудови, функціонування та розвитку ТС.

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 вантажів і пасажирів.

Аналіз динаміки транзитних вантажопотоків територією України за останні 7 років дозволяють зробити наступні висновки, а саме:

- обсяги транзиту вантажів територією України постійно знижуються, насамперед через падіння транзитних обсягів трубопровідного транспорту;
- спостерігається тенденція до переорієнтації транзитних перевезень з залізничного на автомобільний вид транспорту. Так, обсяги перевезень вантажів, що здійснюються автомобільним транспортом, зросли на 6%, а їхня частка у структурі

транзитних вантажопотоків зросла більше ніж на 69%. Частка обсягів перевезень, що здійснюються залізничним транспортом, у загальних обсягах перевезень вантажів зменшилась на 63,12 млн. тон, що складає 20%, а їхня частка у структурі транзитних вантажопотоків також зменшилась більше ніж на 59%

– найбільші за обсягами транзитні вантажопотоки територією України забезпечуються за рахунок експортних перевезень країн ЄС та Білорусі. Частка країн ЄС останні три роки стабільно тримається на рівні 41%, білоруська частка понизилась із 21,4% до 18,5%;

– російські експортні перевезення в структурі українського транзиту заміщуються вантажопотоками країн Азії. В цілому за групами країн саме країни Азії в 2018 році порівняно з 2013 роком продемонстрували найбільший ріст (25.35%) обсягів транзиту територією України, країни ЄС збільшили транзит на 6,97%, країни СНД лише на 2,63% (за рахунок скорочення російських та білоруських вантажів – відповідно на 33,9% та 0,7%).

З огляду на існуючі вимоги, які пред'являються до методів управління перевезеннями в ТС, можна констатувати факт про наявність у транспортній галузі відповідних проблем по керуванню пасажиро- і вантажопотоками.

Методами розв'язання транспортних задач (ТЗ) ось уже майже 50 років займаються вчені як у галузі дослідження операцій, так і в галузі розв'язання практичних задач планування перевезень вантажів різними видами транспорту: автомобільним, залізничним, водним та авіаційним, як окремо, а також при плануванні задач взаємодії різних видів транспорту.

Серед найбільш значних праць у цьому напрямку досліджень варто відзначити роботи американських та європейських учених: Данцига Дж., Дейкстри Е., Флойда Р., Кофмана А., Таха Х.А. [28-32] та ін., а також науковців: Канторовича Л.В., Вентцель Е.С., Нестерова В.П., Дегтярьова Ю.І., Кремера Н.Ш. [33-37] та багатьох інших. Сучасним методам оптимізації перевезень вантажів та пасажирів у мережевій постановці присвяченні праці Воркута А.І., Сільянова В.В., Кожина А.П., Бідняка М.Н., Четверухіна Б.М., Постан М.Я. та інших [38-41].

Незважаючи на всю багатогранність розгляду проблематики ТЗ щодо оптимізації процесів перевезень і значимість отриманих результатів, необхідно визнати, що більшість відомих стандартних методів оптимізації транспортних перевезень (розподільний метод, метод потенціалів, метод диференціальних рент та ін.) працюють тільки зі збалансованими (закритими) ТЗ, тобто сума запасів підприємства дорівнює сумарним потребам замовників [28, 29, 34-36, 39, 41].

На практиці часто виникають ситуації, у яких немає збалансованості попиту та пропозиції, тобто або попит перевищує пропозицію, або навпаки пропозиція перевищує попит. У першому випадку ми маємо незбалансовану (відкриту) транспортну задачу з нестачею запасів, а у іншому — відкриту транспортну задачу з надлишком запасів [29].

Існують два найбільш відомі методи зведення відкритих ТЗ до збалансованого виду:

- уведення додаткового (фіктивного) пункту відправлення (ПВ) або призначення (ПП) вантажу;
- зменшення обсягу попиту (пропозиції) на величину невідповідності в одного з ПП або ПВ.

Застосування першого з методів найчастіше не задовольняє заявки окремих замовників вантажів, особливо розташованих на значному видаленні від ПВ. При використанні другого методу в невідповідному положенні також виявляються найбільш віддалені ПП.

Так як транспортна задача є окремим випадком загальної задачі лінійного програмування (ЗЛП), то до неї також цілком можливо застосувати всі стандартні методи її рішення, зокрема найвідоміший з них — симплексний метод.

Симплексний метод (симплекс-метод) — це характерний приклад ітераційних обчислень, який використовують при рішенні більшості оптимізаційних завдань. У обчислювальній схемі СМ реалізується впорядкований процес, при якому, починаючи з деякої початкової допустимої кутової точки (зазвичай початок координат), здійснюються послідовні переходи від однієї допустимої екстремальної

точки до іншої до тих пір, поки не буде знайдена точка, відповідна оптимальному рішенню [34-37, 39-41].

Застосувати СМ для вирішення транспортних задач можна тільки попередньо прививши ТЗ до вигляду задачі лінійного програмування, врахувавши її специфічність. Слід також зазначити той факт, що СМ може бути застосований й до відкритих ТЗ – до так званих задач лінійного програмування з обмеженнями-нерівностями (ЗЛПН) [41].

Якісне розв’язання проблеми, яка виникла в управлінні перевезеннями в ТС України за допомогою розробки нових та модифікації існуючих методів, орієнтованих на використання засобів і методів сучасних прогресивних ІТ, дозволить транспорту України як галузі народного господарства, що відповідає за своєчасну, економічну й надійну доставку пасажирів і вантажів до пунктів призначення, гідно виконати покладене на нього величезне народногосподарське завдання.

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 перетину кордонів.

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.

Основним недоліком наявних методів розв'язання ТЗ, представлених у вигляді транспортної мережі (ТМ) є неможливість суворої математичної формалізації задачі та її наступного розв'язання методами сучасних інформаційних технологій. Більшість ТЗ не мають збалансованості попиту та пропозиції, тобто являються задачами відкритого типу. Стандартні методи зведення до задачі закритого типу, частіше всього не ефективні, а іноді взагалі не працюють.

Все це обумовлює актуальність дослідження і розробку удосконалених моделей і методів для розв'язання задач управління перевезеннями у міжнародному сполученні на ТМ при незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно “Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року”, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 року за № 430-р, планів НДР Міністерства освіти і науки України за напрямом “Проблеми формування раціональних транспортних логістичних систем і забезпечення ефективного функціонування їх складових”, в рамках кафедральної науково-дослідної роботи на тему “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні” (Національний транспортний університет, номер державної реєстрації 0112U008415, 2015-2020 р.) та держбюджетної НДР № 37 на тему “Розробка методів підвищення ефективності автомобільних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів” (Національний транспортний університет, номер державної реєстрації 0119U101796, 2019-2020 р.).

Мета роботи та задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності міжнародних автомобільних перевезень вантажів за допомогою розробки, удосконалення і впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу управління перевезеннями вантажів на транспортних мережах при незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів. Для досягнення поставленої мети в роботі визначені такі основні задачі дослідження:

1. Здійснити аналіз існуючих наукових підходів та діючих моделей і методів по управлінню вантажними перевезеннями у міжнародному сполученні;
2. Розробити новий метод зведення відкритих транспортних задач до транспортних задач закритого типу;
3. Провести моделювання процесів управління міжнародними вантажними перевезеннями на транспортних мережах в умовах незбалансованості обсягів поставок і замовлень вантажів;
4. Розробити алгоритмічне та програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень по оптимальному управлінню перевезеннями вантажів на транспортних мережах у міжнародному сполученні;
5. Провести апробацію розробленого програмного забезпечення по управлінню вантажними перевезеннями у міжнародному сполученні на автотransпортних підприємствах АсМАП України.

Об'єкт дослідження – процес перевезення вантажів автомобільним транспортом на транспортних мережах у міжнародному сполученні.

Предмет дослідження – закономірності формування вантажопотоків на транспортних мережах у міжнародному сполученні, які враховують обмеження на незбалансованість обсягів поставок і замовлень вантажів.

Методи дослідження. У роботі використані методи теорії транспортних процесів і систем, окремі методики та положення системного аналізу та моделювання складних систем, методи дослідження операцій та імітаційного моделювання, алгоритми та методи теорії обчислювальної математики, програмування та баз даних, а також комбінаторний аналіз і теорія графів. Теоретична цінність результатів дослідження міститься у системному підході щодо аналізу існуючих моделей та методів управління вантажними перевезеннями на транспортних мережах, обґрунтуванні питань модифікації відомих і розробці нових моделей та методів розв'язання задач подібного класу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає, насамперед, у тому, що вперше з єдиних системних позицій на основі теорії транспортних процесів і систем сформульовано теоретичні і методичні основи розв'язання проблеми управління

міжнародними вантажними перевезеннями в умовах незбалансованості обсягів постачання і споживання вантажу. В роботі, в розвиток зазначеного напряму:

- *вперше* розроблено метод зведення відкритих транспортних задач до транспортних задач закритого типу, що дозволяє отримати більш дешевий план перевезень вантажів;

- *вперше* розроблено систему підтримки прийняття рішень по управлінню вантажними перевезеннями (СПРУВП) на ТМ у міжнародному сполученні, яка значно підвищує якість управлінських рішень при знаходженні оптимального плану перевезень вантажів за рахунок використання всіх існуючих і удосконалених методів зведення незбалансованих вантажних перевезень до збалансованого виду;

- *удосконалено* симплексний метод оптимізації вантажних перевезень на транспортних мережах у міжнародному сполученні, який дозволяє проводити оптимізацію вантажних перевезень при наявності незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів, а також враховує особливість випадку перевищення обсягу пропозиції вантажу над його попитом;

- *знайшов подальший розвиток* пропорційно-різницевий метод усунення незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів в транспортних мережах, використання якого в окремих випадках сприяє отриманню більш ефективного плану вантажних перевезень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці, на основі запропонованих науково-методичного забезпечення по управлінню вантажними перевезеннями й перерахованих вище моделей і методів, системи підтримки прийняття рішень по управлінню перевезеннями на транспортних мережах, яка дає можливість значно підвищити якість прийняття управлінських рішень по перевезенню вантажів на транспортних мережах різної структури й розмірності.

Основні наукові і практичні результати дисертації впроваджені в навчальний процес кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету Міністерства освіти і науки України, а на все розроблене в рамках виконання наукових досліджень по даній дисертаційній роботі

програмне забезпечення одержані 2 Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір (Додатки А, Б).

Також результати дисертаційної роботи були впроваджені в виробничу діяльність ТЗОВ «ЛВ-Транс» та в навчальну діяльність НКЦ АсМАП України (Додаток В) у вигляді спроектованої СПРУВП на транспортних мережах у міжнародному сполученні, яка використовує базу даних міжнародних транспортних коридорів інфраструктури України та Західної Європи (Додаток Г).

Особистий внесок здобувача. Теоретичні положення, розробки та висновки, які наведені у дисертації, є результатом самостійних наукових досліджень автора. Всі теоретичні, методологічні і концептуальні розробки, представлені у пункті “Наукова новизна одержаних результатів”, отримані автором самостійно. В роботах за темою дисертації, виконаних у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає у наступному:

- в [1] автором виконано зведення транспортної задачі до загальної задачі лінійного програмування;
- в [2] автором спроектована платіжна матриця та виконані розрахунки стратегій по різних критеріям;
- в [3] автором проведено опис логістичного підходу до аналізу діяльності дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень;
- в [4] автору належить визначення критеріїв ефективності дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів;
- в [5] автору належить аналіз літературних джерел з питання поточних змін функціонування дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів;
- в [6] автором наводиться структура і основні складові вантажних митних комплексів;
- в [7] автором виконаний аналіз методів підвищення ефективності автомобільних перевезень міжнародними транспортними коридорами;
- в [8] автором проведена оптимізація вантажних перевезень на транспортній мережі за допомогою табличного процесора;

- в [9] автором дається аналіз стану та перспективи розвитку перевезення швидкопсувних вантажів;
- в [14] автору належить порівняльний аналіз процесів формування транспортно-логістичних кластерів;
- в [16] автором запропонована модель управління проектами транспортно-експедиторського обслуговування;
- в [18] автором наведені шляхи підвищення ефективності процесу доставки збірних вантажів у міжнародному сполученні;
- в [20] автору належать дослідження ринку вантажних перевезень автомобільним транспортом в сучасних умовах;
- в [21] автором виконані дослідження поточної проблематики та тенденцій в логістиці доставки вантажів автомобільним транспортом;
- в [22] автором здійснена оптимізація вантажних перевезень на транспортній мережі за допомогою табличного процесора;
- в [23] автором проаналізовані результати оптимізації вантажних перевезень за допомогою інформаційних технологій;
- в [26] автору належить розділ робочої навчальної дисципліни з логістиці організації перевезень вантажів в транспортних системах;
- в [27] автор прийняв участь в експериментальних розрахунках варіантів завдань до курсового проекту;
- роботи [10, 11, 12, 13, 15, 17, 19, 24, 25] виконані автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації та результати наукових розробок доповідались здобувачем і обговорювались на:

- 66-68, 70-71, 75-76 наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, Національний транспортний університет, 2010-2012 рр., 2014-2015 рр., 2019-2020 рр.);
- VIII та X Міжнародних науково–практичних конференціях «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT)» (м. Херсон: Херсонська державна морська академія, 24-26 травня 2016р., 29-31 травня 2018 р.);

– XIV Міжнародної науково–практичної конференції «Управління проектами: стан та перспективи» (м. Миколаїв: Національний університет кораблебудування, 11-14 вересня 2018 р.);

– III Международной научной конференции «Научные исследования: парадигма инновационного развития» (Братислава–Вена: ГО «Международный научный центр развития науки и технологий», 26 мая 2020 года);

– International scientific and practical conference «Science, engineering and technology: global trends, problems and solutions»: Conference proceedings (September 25-26, 2020. Prague: Izdevnieciba «Baltija Publishing»);

– Міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні технології управління транспортними процесами»(м. Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 17-18 листопада 2020 р.).

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано 27 наукових праць (Додаток Д), із них: 8 статей у виданнях іноземних держав або у фахових виданнях, що входять до переліку затверджених ВАК України, 17 публікацій в інших періодичних науково-практичних виданнях, 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Структура та об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків (разом 151 сторінка), списку використаних джерел із 117 найменувань і додатків, разом з якими її обсяг складає 222 сторінки. Ілюструється 77 рисунками, містить 28 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ НА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

1.1 Управління перевезеннями в транспортних системах

Сучасний транспорт являє собою єдину (у соціально-економічному відношенні) транспортну систему, включаючи могутню мережу залізничних, морських, річкових, автомобільних, повітряних, трубопровідних, міських і промислових комунікацій [42, 43]. Переміщаючи мільярди тон сировини, палива, матеріалів, продукції, а також багато мільярдів пасажирів з досить високим рівнем комфорту і швидкості, сучасний транспорт забезпечує масове індустріальне виробництво, глибокий поділ праці, внутрішню і зовнішню торгівлю, сприяє розвитку культури і науки.

У структурі суспільного виробництва транспорт відноситься до сфери виробництва матеріальних послуг (рис. 1.1) [44, 45]. Залежно від історичних умов, рівня розвитку продуктивних сил, особливості територіальної структури господарства, розміщення населення, природних умов, присутності водних шляхів, характеру рельєфу та інше, формується той чи інший тип транспортної системи.

Існує два типи високорозвинутих транспортних систем:

1. Північноамериканська транспортна система;
2. Західноєвропейська транспортна система.

Перший тип склався в США і Канаді – великі території, значний виробничий капітал, цілісний внутрішній ринок і таке інше. В цих країнах розвинуті всі види транспорту. В перевезенні пасажирів на перше місце вийшов повітряний транспорт, в перевезенні вантажів – залізничний транспорт.

В країнах Західної Європи більша частина припадає на залізничний та автомобільний транспорт. В Німеччині всі види транспорту розподілені однаково, а процент трубопровідного транспорту малий.

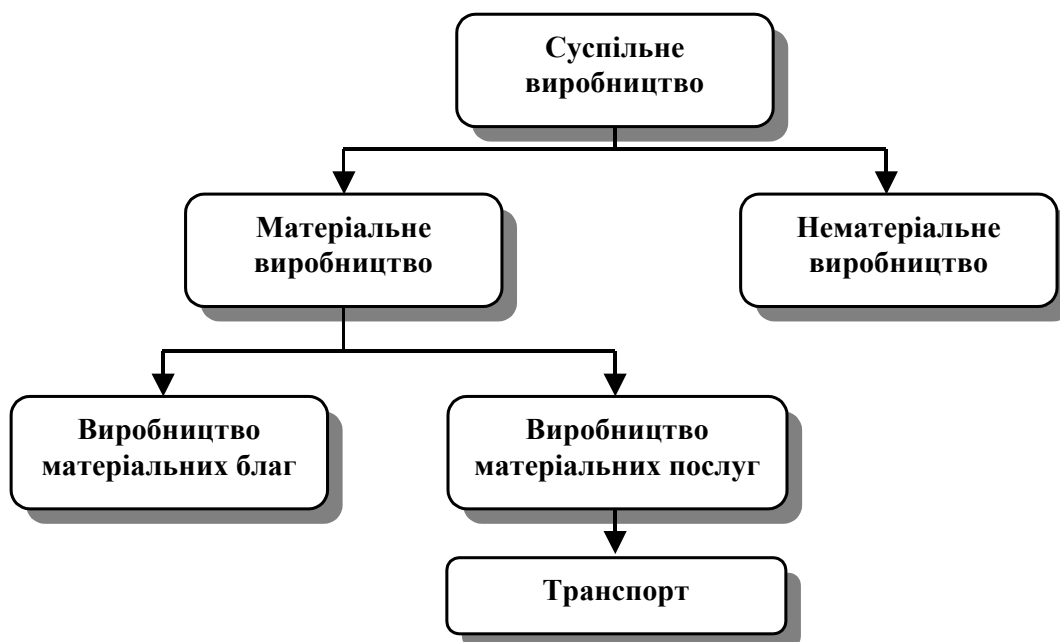


Рисунок 1.1 – Місце транспорту у структурі суспільного виробництва

Доля морського транспорту більша в Англії, трубопровідного – у Франції. Автомобільний транспорт одержав значне поширення в Західній Європі враховуючи відносно короткі відстані між містами. Транспортні системи Японії, ЮАР, Австралії відносяться до перехідних. В Японії найбільше поширення одержав морський і повітряний транспорт.

Особливий тип транспортної системи характерний для країн, які розвиваються – вони набагато гірше забезпечені транспортом, що є серйозною завадою для розвитку економіки цих країн.

В сучасних умовах розвитку економіки України, транспортна галузь має певні проблеми, вирішення яких можливо намітити після вивчення певних закономірностей розвитку її транспортної системи.

Можна виділити наступні об'єктивні закономірності ТС [46, 47, 48, 49]:

- нормальне функціонування транспортної системи за рахунок налагодженої роботи і взаємодії усіх видів транспорту, що входять в дану систему;
- обов'язковий пропорційний розвиток провізних та переробних можливостей на взаємодіючих напрямках транспортної мережі різних видів транспорту;

- визначення якості транспортного обслуговування народного господарства та населення країни державними стандартами якості перевезення і відповідними тарифами;
- досягнення оптимальної організації вантажопотоків на транспортній мережі з запровадженням методу комплексних аналітичних співставлень, що охоплюють весь шлях проходження вантажів;
- одержання найбільшої швидкості переміщення вантажів та пасажирів в сфері обігу за рахунок організації перевезень по всьому шляху їх проходження, усунення невиробничих простоїв рухомого складу та вантажів в пунктах з'єднання різних видів транспорту та перевантаження вантажів;
- одержання найвищої продуктивності роботи транспорту за кінцевим результатом на основі теорії комплексної експлуатації видів транспорту, що виступає системною формою їх використання.

Ринкові перетворення, що відбуваються в нашій країні, призвели до інтенсивних досліджень нового науково-практичного напрямку логістики. В даний час діапазон діяльності, який охоплює логістика, постійно розширюється, включаючи не тільки внутрішньовиробничу діяльність, але і міжвиробничу сферу, міжгалузеву, регіональну, міжнародну й інші види логістичної координації й інтеграції.

Закордонний досвід показує, що в останні десятиліття активно розвиваються міждержавні і транснаціональні макрологістичні системи, покликані полегшити переміщення через кордони інформації, товарів, капіталу і людей. Для України формування і розвиток макрологістичних торгових, транспортних і інформаційних систем має першорядне значення, тому що дозволить прискорити інтеграцію нашої країни у світовий економічний та інформаційний простір. Вже є певний позитивний досвід у цьому напрямку. Зокрема, Україна активно бере участь у міжнародних проектах TACIS по створенню регіональних транспортно-логістичних і телекомунікаційних систем, мережі логістичних центрів у торгівлі і на транспорті. Розроблена і впроваджується “Концепція розвитку транспортно-дорожнього комплексу (ТДК) України на середньостроковий період та до 2030 року”.

В Концепції визначаються шляхи розв'язання проблем подальшого розвитку транспортної галузі, виходячи з нових завдань, що постали перед транспортом в умовах пожвавлення і відновлення реального сектору економіки, зростання попиту на транспортні послуги, активізації процесів інтеграції ТДК України до європейської та світової транспортних систем.

Темпи зростання внутрішнього валового продукту (ВВП) України підвищились до 7-8%. За експертними оцінками для виходу України на економічні показники характерні для розвинутих європейських держав на період до 2030 року необхідно забезпечити середньорічні темпи зростання ВВП в розмірі 6-8%. Це відповідно відобразиться і на потребах у перевезеннях [50, 51].

Починаючи з 2002 року обсяги перевезень вантажів всіма видами транспорту загального користування збільшується в середньому на 4% щорічно.

Відповідно прогнозам очікується щорічне зростання попиту на транспортні послуги на 4-5%, обсяги перевезень вантажів до 2024 року можуть збільшитися на 27-28% порівняно з 2014 роком, пасажирів – на 2,7%, а у перспективі до 2021 року вантажів – у 1,5-2 рази, пасажирів – у 1,3-1,5 рази.

На даний час транспортна система України не в повній мірі готова до забезпечення перевезень у таких обсягах. Внаслідок недостатнього розвитку нормативно-правової бази і низького інвестиційного потенціалу ТДК збільшується зношення технічних засобів, погіршується їх структура, не забезпечується належна безпека руху, зростає негативний вплив діяльності транспорту на навколишнє природне середовище та здоров'я людини. Все це в умовах жорсткої конкуренції призводить до витіснення українських перевізників з міжнародних ринків транспортних послуг, знижує якість обслуговування вітчизняних підприємств і населення, створює реальну загрозу економічній безпеці держави.

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

- недостатнє оновлення основних фондів всіх видів транспорту і дорожнього господарства, невідповідність їх технічного рівня перспективним вимогам;

- низький рівень міжгалузевої координації у розвитку транспортної інфраструктури, що приводить до роз'єднання єдиного транспортного простору, нераціонального використання ресурсів і зниження ефективності використання транспорту;
- слабкий ступінь використання геополітичного положення України та можливостей її транспортних комунікацій для міжнародного транзиту вантажів територією України;
- повільне удосконалення транспортних технологій та недостатня їх пов'язаність з виробничими, торговельними, складськими і митними технологіями;
- неприпустимо 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 в області окремих видів діяльності транспорту, транспортного машинобудування, розбудови державного кордону.

Прискорення вирішення цих проблем має виключно важливе значення не тільки для транспортної галузі, а і для держави в цілому, ефективного функціонування її виробничої та соціальної сфер, яке значною мірою забезпечується стабільною і надійною роботою транспорту. Все більшої ваги набуває роль транспорту у розвитку зовнішньоекономічних зв'язків, реалізації геополітичного потенціалу України як транзитної держави.

Все це визначає необхідність здійснення комплексу організаційно-правових, економічних і техніко-технологічних заходів, розрахованих як на близьку, так і на довгострокову перспективу, які б забезпечували розвиток транспортно-дорожнього комплексу у самому тісному поєднанні з процесами, що відбуваються у світовій та вітчизняній економіці, сприяли розвитку продуктивних сил країни, соціальної мобільності населення.

В цілому діяльність підприємств ДТК спрямована насамперед на стабілізацію перевезень вантажів і пасажирів, створення передумов для поліпшення фінансового

стану підприємств даної області, поживавлення інвестиційного процесу, структурну перебудову, скорочення й ліквідацію заборгованості перед бюджетом держави й виплатою заробітної плати [52-59].

На основі статистичних даних взятих з Державної служби статистики України [60-64] обсяги перевезення на автомобільному транспорті з 2010-2019 роки представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Обсяги перевезення на автомобільному транспорті з 2010-2019 рр.

№ п/п	Роки	млн. т.
1	2010	1168,22
2	2011	1252,39
3	2012	1259,70
4	2013	1260,77
5	2014	1131,31
6	2015	1020,60
7	2016	1085,66
8	2017	1121,67
9	2018	1205,53
10	2019	1147,05

Для знаходження результату на основі таблиці вихідних даних потрібно використати вбудовані статистичні функції робочого листа Excel, що дозволяють отримувати регресії, тобто потрібно побудувати 5 ліній тренду: експоненціальну, лінійну, логарифмічну, поліноміальну і степеневу.

На наступних рисунках (1.2–1.6) можна побачити вихідні дані, за якими побудована лінія тренду та знайдено рівняння для подальшого розрахунку.

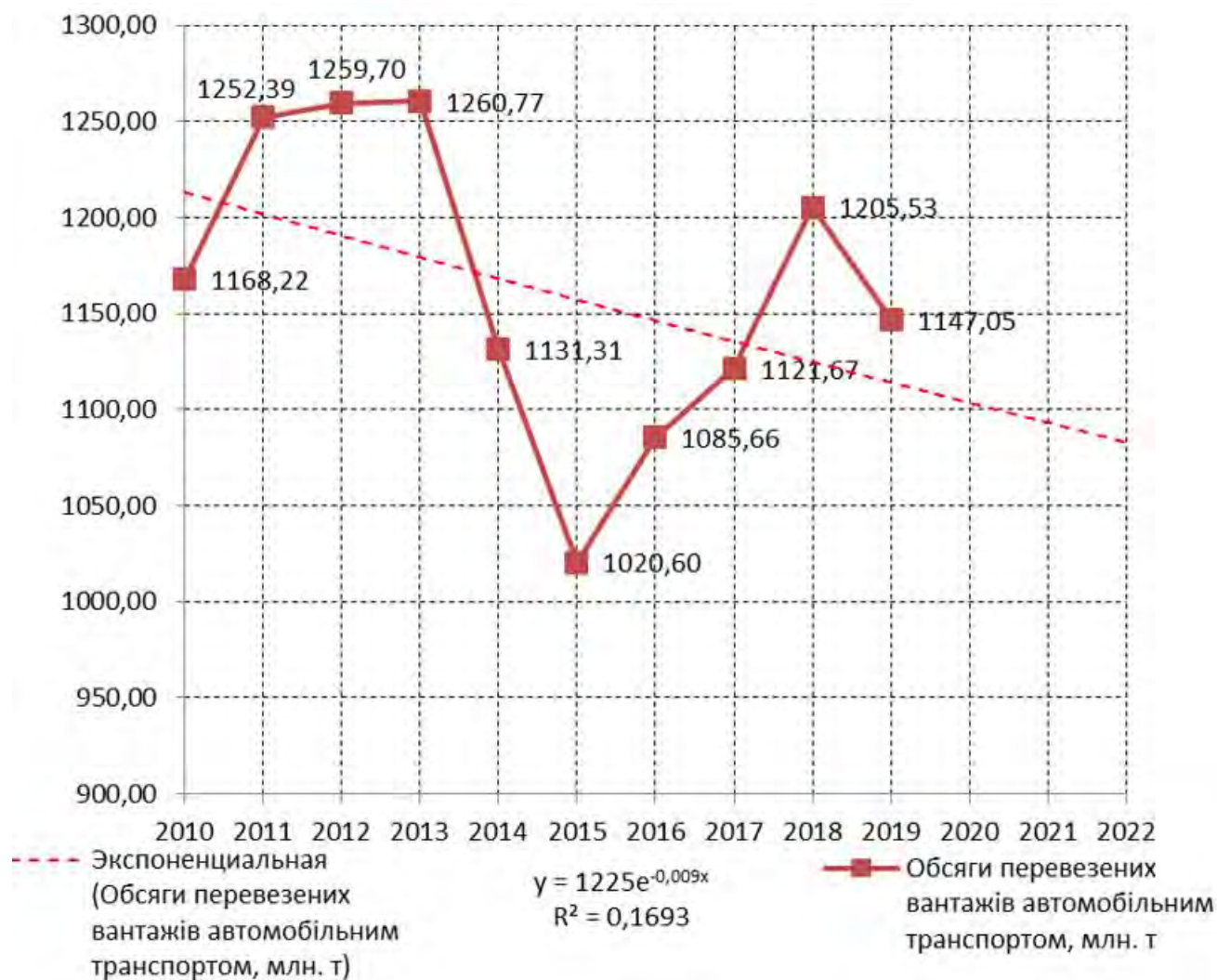


Рисунок 1.2 – Обсяги перевезених вантажів автомобільним транспортом
(експоненціальна лінія тренду)

Можна побачити, що моделі з експоненціальною лінією тренду відповідає не велике значення достовірності апроксимації, а саме $R^2 = 0,1693$. Тобто робити прогнозування за допомогою цієї залежності не має сенсу.

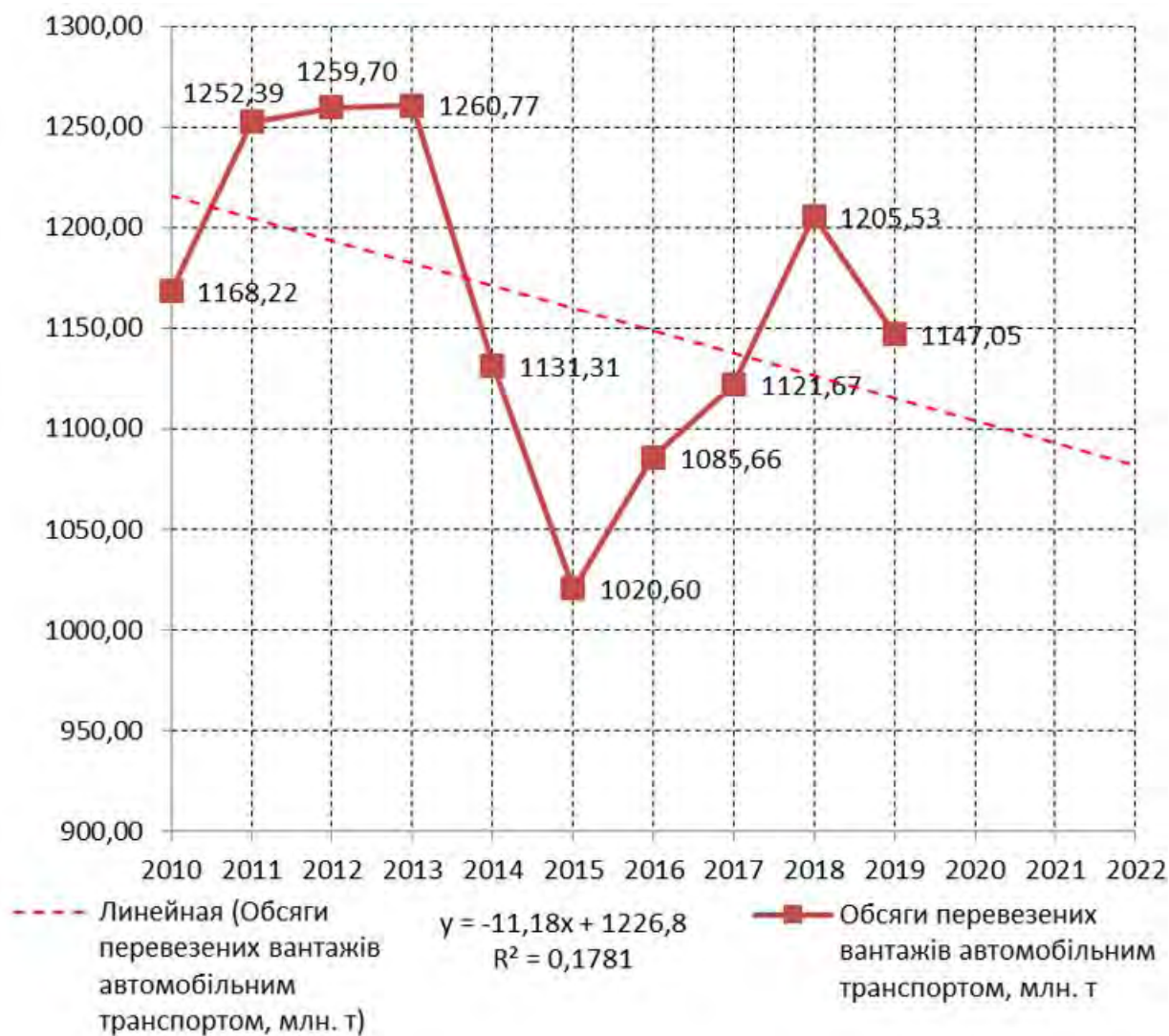


Рисунок 1.3 – Обсяги перевезених вантажів автомобільним транспортом
(лінійна лінія тренду)

Можна побачити, що моделі з лінійною лінією тренду відповідає також не велике значення достовірності апроксимації, а саме $R^2 = 0,1781$. Тобто робити прогнозування за допомогою цієї залежності також не має сенсу.

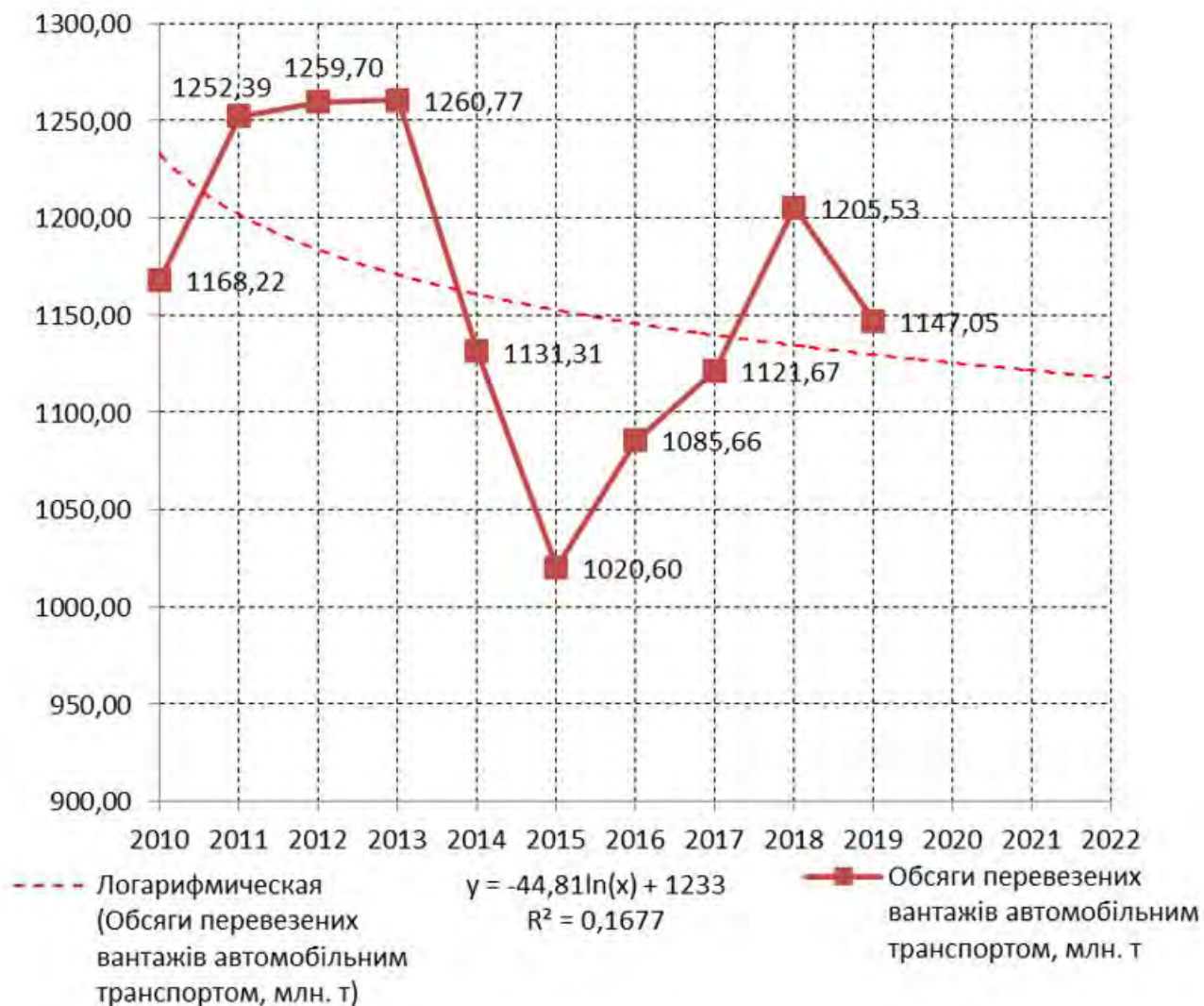


Рисунок 1.4 – Обсяги перевезених вантажів автомобільним транспортом
(логарифмічна лінія тренду)

Можна побачити, що моделі з логарифмічною лінією тренду відповідає також не велике значення достовірності апроксимації, а саме $R^2 = 0,1677$. Тобто робити прогнозування за допомогою цієї залежності також не має сенсу.

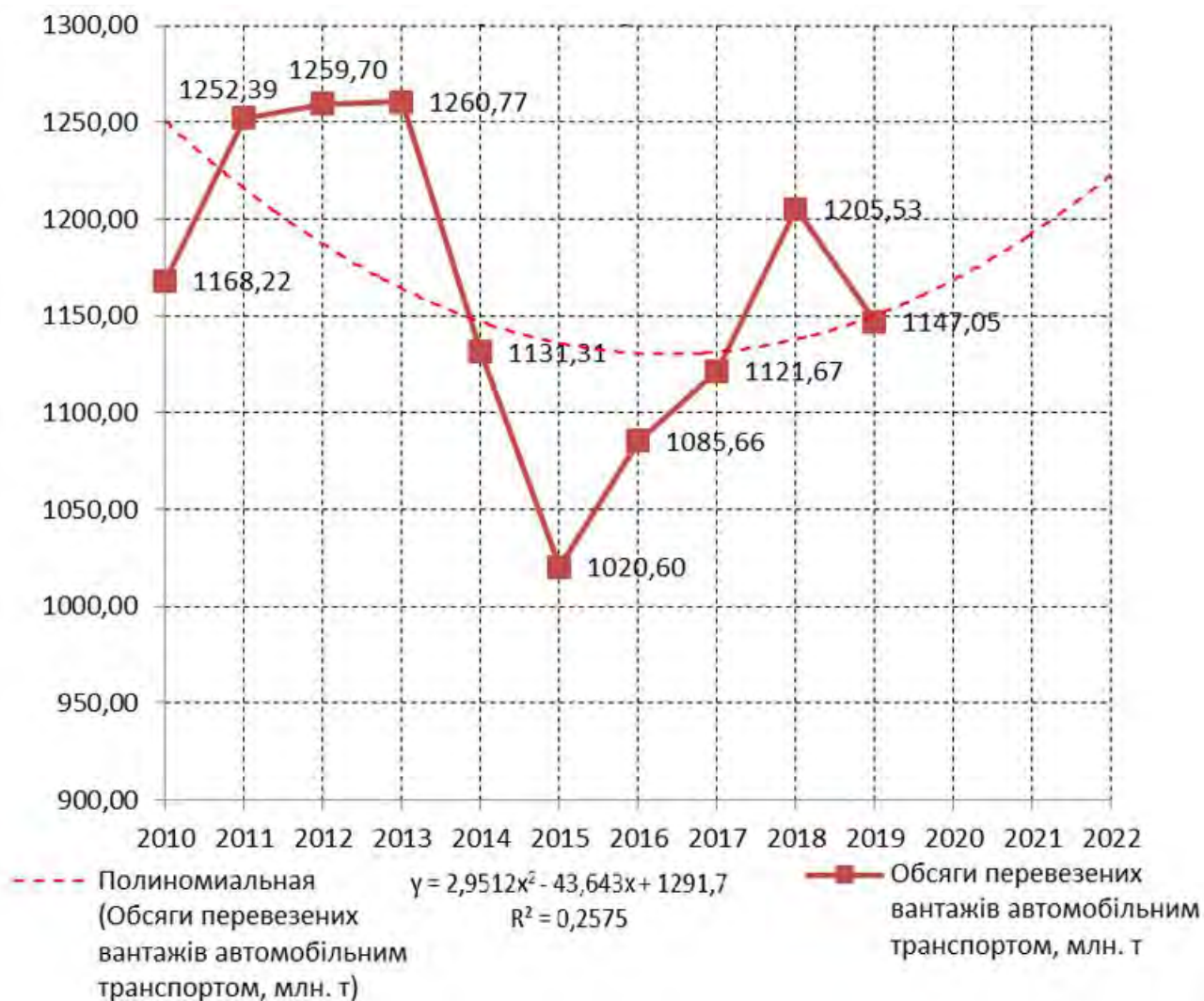


Рисунок 1.5 – Объемы перевезенных грузов автомобильным транспортом
(полиномиальная линия тренда)

Можна побачити, що моделі з поліноміальною лінією тренду відповідає також не велике значення достовірності апроксимації, а саме $R^2 = 0,2575$. Тобто робити прогнозування за допомогою цієї залежності також не має сенсу.

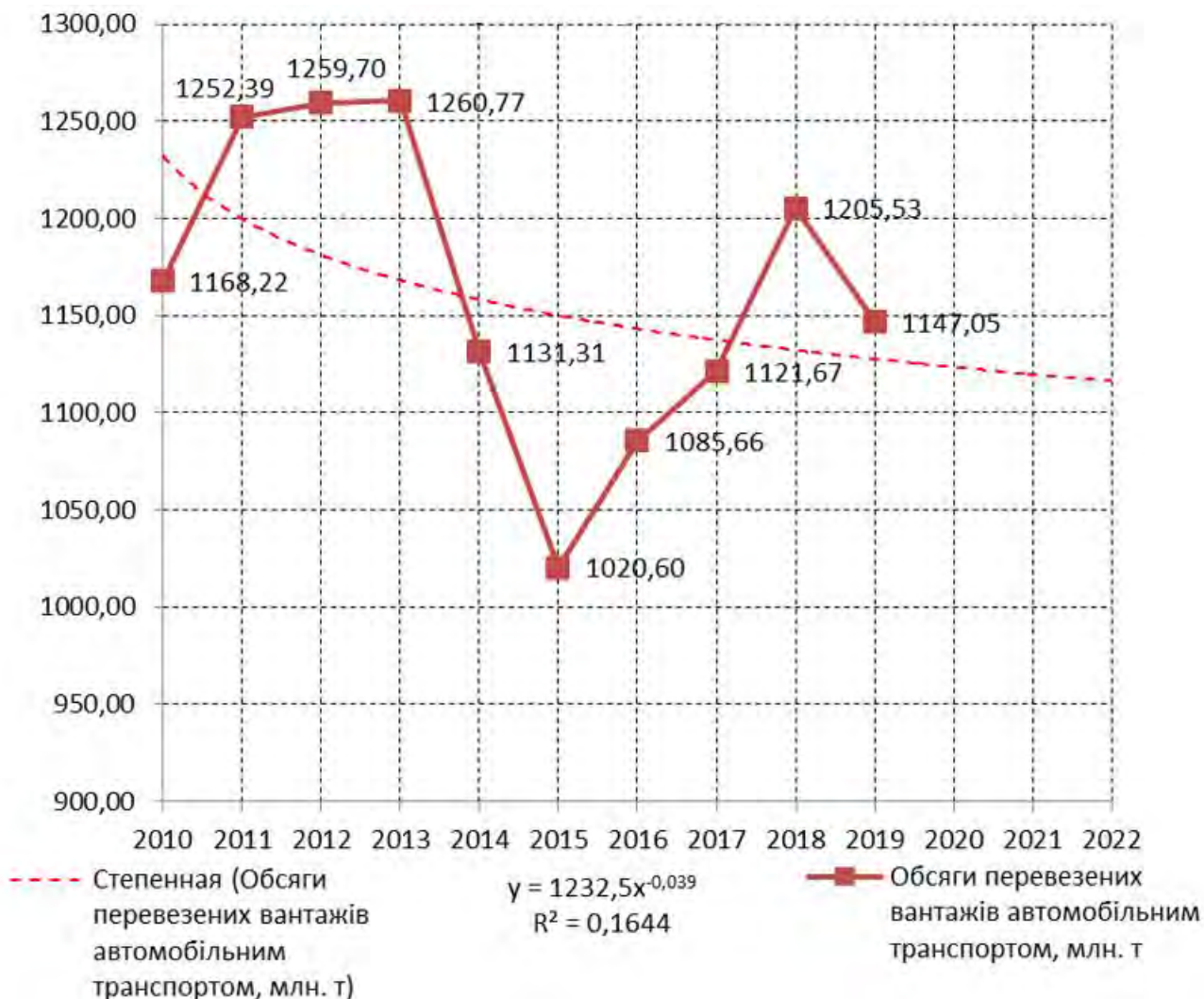


Рисунок 1.6 – Обсяги перевезених вантажів автомобільним транспортом (степеневая лінія тренду)

Можна побачити, що моделі зі степеневою лінією тренду відповідає також не велике значення достовірності апроксимації, а саме $R^2 = 0,1644$. Тобто робити прогнозування за допомогою цієї залежності також не має сенсу.

Зведемо отримані результати апроксимації у таблицю (табл. 1.2). Якщо усереднити всі функції згладжування, тобто на 2020, 2021 та 2022 роки усереднити значення прогнозів (?1, ?2, ?3), які зроблені окремо кожною функцією (рис. 1.7), то отримаємо достовірний прогноз.

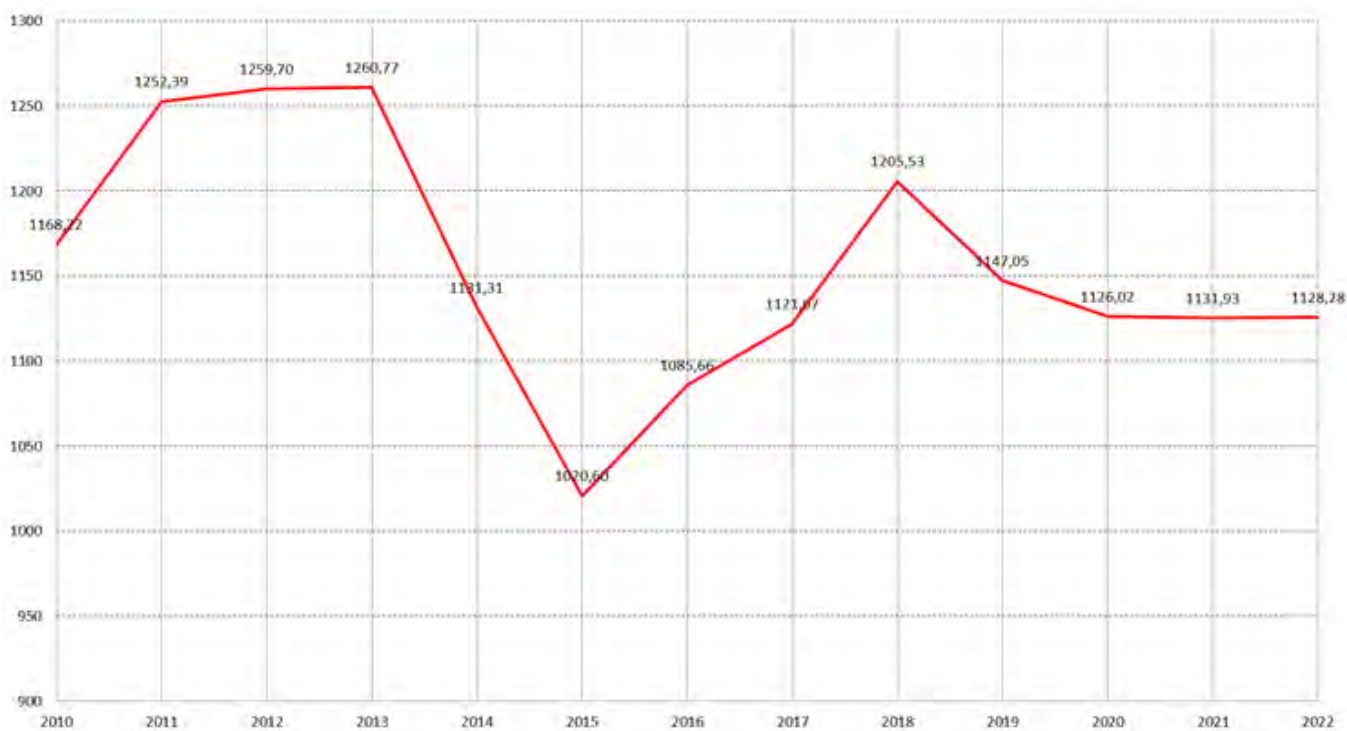
Таблиця 1.2 – Зведені результати апроксимації

№ п/п	Роки	Вихідні дані	Експоненціальна	Лінійна	Логарифмічна	Поліноміальна	Степенева
1	2010	1168,22	1214,02	1215,62	1233,00	1251,01	1232,50
2	2011	1252,39	1203,15	1204,44	1201,94	1216,22	1199,63
3	2012	1259,70	1192,37	1193,26	1183,77	1187,33	1180,81
4	2013	1260,77	1181,68	1182,08	1170,88	1164,35	1167,63
5	2014	1131,31	1171,10	1170,90	1160,88	1147,27	1157,52
6	2015	1020,60	1160,60	1159,72	1152,71	1136,09	1149,31
7	2016	1085,66	1150,21	1148,54	1145,80	1130,81	1142,43
8	2017	1121,67	1139,90	1137,36	1139,82	1131,43	1136,49
9	2018	1205,53	1129,69	1126,18	1134,54	1137,96	1131,28
10	2019	1147,05	1119,57	1115,00	1129,82	1150,39	1126,64
11	2020	?1	1109,53	1103,82	1125,55	1168,72	1122,46
12	2021	?2	1099,59	1092,64	1121,65	1192,96	1118,66
13	2022	?3	1089,74	1081,46	1118,06	1223,09	1115,18

?1 = 1126,02

?2 = 1131,93

?3 = 1128,28

Рисунок 1.7 – Прогноз обсягів перевезень вантажів
автомобільним транспортом (млн. т)

Можна побачити, що моделі зі степеневим трендом, відповідає найменше значення достовірності апроксимації $R^2 = 0,1644$. Найбільше значення R^2 відповідає

моделі з поліноміальним трендом $R^2 = 0,2575$. Отже, за розрахунками наведеними вище, прогноз обсягів перевезення вантажів автомобільним транспортом на 2021-2022 роки наведений на рисунку 1.7. За результатами всіх обчислень прогнозування на 2020-2022 роки обсяги перевезення на автомобільному транспорті становитимуть:

2020 р. – 1126,0 млн. т; 2021 р. – 1131,93 млн. т; 2022 р. – 1128,28 млн. т.

Згідно прогнозів обсяги перевезення автомобільним транспортом до 2022 року почнуть стабілізуватися та поступово зростати.

1.2 Особливості рішення задач управління перевезеннями в транспортних мережах

Задачі транспортного типу досить поширені в практиці. Крім того, до них зводиться багато інших задач лінійного програмування — задачі про призначення, мережеві, календарного планування. Як одна з задач лінійного програмування транспортна задача принципово може бути вирішена універсальним методом рішення будь-якої задачі лінійного програмування, але цей метод не враховує специфіки умов транспортної задачі.

У класичній постановці транспортній задачі, запропонованій Хічкоком [28, 65-67] передбачається здійснення лише безпосередніх перевезень від m пунктів A_i ($i = \overline{1, m}$), які виробляють (або попередньо складують) товари, до n споживачів B_j ($j = \overline{1, n}$), які замовляють перевезення товарів. У більшості публікацій не розглядається ситуація, коли деякі пункти постачання ($ПП_i$) або пункти споживання ($ПС_j$) товарів є проміжними, тобто, в яких вантаж або зовсім не розвантажується, або розвантажується лише частково [68, 69]. У цьому випадку ми маємо не одну, а чотири види зв'язку між $ПП$ і $ПС$ (рис. 1.8):

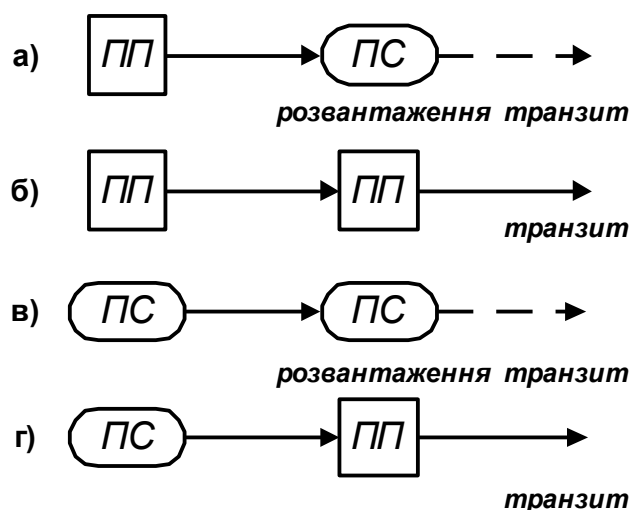


Рисунок 1.8 – Види зв'язку між пунктами постачання і пунктами споживання

При цьому зв'язки виду а) і в) допускають або часткове розвантаження товару і можливе транспортування залишків товару до сусідніх пунктів транспортної мережі (цю обставину виділено пунктирною лінією зв'язку), або повне вивантаження всього товару. Зв'язки виду б) і г) призначені лише для транспортування всього товару через відповідний пункт. Якщо ж у проміжному пункті немає запасів перевезеного товару, а також немає потреби в ньому, тобто він є суто пунктом транзиту (ПТ), тоді до наявних чотирьох видів зв'язків додаються ще п'ять з аналогічним трактуванням їхнього призначення (рис 1.9):

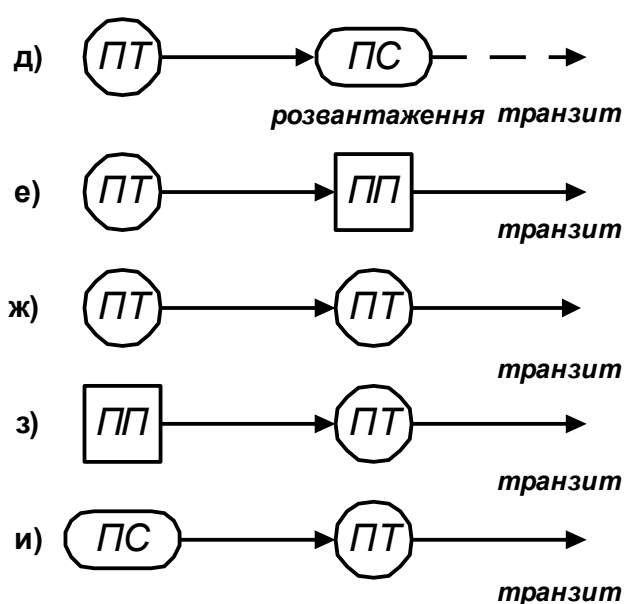


Рисунок 1.9 – Види зв'язку між пунктами постачання і пунктами споживання

Зауважимо, що фактично перевезення можуть здійснюватися і через декілька проміжних пунктів, використовуючи при цьому кожний з перерахованих вище видів зв'язку, що дозволяє створювати складні транспортні комунікації. ТЗ у такому трактуванні належать до класу мережевих ТЗ [70, 71]. Крім того передбачається, що перевезення між двома будь-якими пунктами завжди “найдешевші” за різними показниками маршрутів, а показником “дешевизни” може бути час, відстань або затрати на перевезення. Але, нажаль, наявні методи розв'язання мережевих ТЗ [69, 72] по-перше, мають недостатнє алгоритмічне забезпечення, що ускладнює пошук оптимального плану перевезень на мережі; по-друге, їхнє застосування обмежено лише мережевими задачами невеликої розмірності. Крім того, наявні методи розв'язання подібних задач не дозволяють автоматизувати процес їхнього рішення із застосуванням засобів обчислювальної техніки.

Вперше узагальнену транспортну модель, у якій допускаються перевезення через проміжні пункти запропонував А. Орден [31, 73]. У цій моделі для кожного пункту складається рівняння матеріального балансу, яке показує, що обсяг вивезеного вантажу мінус кількість завезеного вантажу дорівнює чистому обсягу вантажу, виробленого у цьому пункті (якщо різниця позитивна), чи чистому обсягу споживаного в ньому вантажу (якщо різниця негативна).

Перейдемо до розгляду узагальненої транспортної моделі, у якій допускаються перевезення через проміжні пункти. Для кожного пункту ми будемо мати рівняння матеріального балансу наступного виду:

Сумарний обсяг перевезень = ввіз + виробництво = вивіз + споживання,
чи, у вигляді рівняння:

$$\sum_{i \neq j} x_{ij} + a_j^* = \sum_{k \neq j} x_{jk} + b_j^* = x_{jj}^*, \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (1.1)$$

де

n – сумарна кількість пунктів виробництва і споживання,

x_{ij} – загальний обсяг перевезення з i в j для $i \neq j$,

x_{jk} – загальний обсяг перевезення з j в k для $k \neq j$,

x_{jj}^* – сумарний обсяг постачання в j ,

a_j^* – виробництво в пункті j ,

b_j^* – споживання в пункті j .

Якщо місцеве виробництво для внутрішнього споживання виключено з моделі, так що або a_j^* , або b_j^* звертається в нуль, то ми будемо використовувати символи a_j і b_j без зірочок. У загальному випадку чисте виробництво a_j і споживання b_j виражаються через a_j^* і b_j^* у такий спосіб:

$$\begin{aligned} a_j &= a_j^* - \min(a_j^*, b_j^*), \\ b_j &= b_j^* - \min(a_j^*, b_j^*) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Ми будемо називати a_j і b_j чистими обсягами виробництва і споживання.

Задача про перевезення з проміжними пунктами полягає в знаходженні $x_{ij} \geq 0$ і $\min z$, що задовольняють рівнянням (1.1) і цільовому рівнянню

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} = z. \quad (1.3)$$

Після прирівнювання виразів для сумарного обсягу постачань, приведенного в (1.1), ми одержимо повну модель перевезень із проміжними пунктами для n пунктів.

Матриця коефіцієнтів цієї задачі описана наочно у таблиці 1.3. За винятком вартісного фактора, кожен стовпець містить тільки по два ненульових коефіцієнта $+1$ і -1 .

У загальному випадку, якщо ми враховуємо надлишок чи недолік, то рядки містять вільні змінні, а відповідні стовпці містять тільки один ненульовий коефіцієнт $+1$ або -1 .

Таблиця 1.3 – Модель із проміжними пунктами – мережева постановка ТЗ (матриця коефіцієнтів)

Обсяги перевезень	$x_{12} \ x_{13} \dots x_{1n}$	$x_{21} \ x_{23} \dots x_{2n}$	...	$x_{n1} \ x_{n2} \dots x_{n, n-1}$	Чисте виробництво чи споживання
Пункт 1	1 1 ... 1	-1	...	-1	$a_1^* - b_1^*$
Пункт 2	-1	1 1 ... 1	...	-1	$a_2^* - b_2^*$
.	-1	-1	...		.
.	.	.	...	.	.
.	.	.	...	.	.
.	.	.	...	.	.
Пункт n	-1	-1	...	1 1 ... 1	$a_n^* - b_n^*$
Витрати	$c_{12} \ c_{13} \dots c_{1n}$	$c_{21} \ c_{23} \dots c_{2n}$	...	$c_{n1} c_{n2} \dots c_{n, n-1}$	z

Таким чином, загальна, модель із проміжними пунктами характеризується цільовою функцією і системою рівнянь з ненегативними змінними, кожен стовпець якої містить не більш двох ненульових коефіцієнтів (+1 або -1, або як той, так і інший). Стандартна транспортна модель є, мабуть, частковим випадком цього формулювання.

Матриця в табл. 1.3 містить $n(n-1)$ стовпців, що відповідають числу стовпців перевезень від кожного пункту до будь-якого іншого. Однак якщо всі перевезення від одного пункту до іншого здійснюються за допомогою ланцюга, що складається з ланок між сусідніми пунктами, то досить розглядати тільки мережу, складену з таких локальних ланок. Усі змінні, зв'язані з перевезеннями до пунктів, що не є сусідніми, можна ігнорувати.

Розглянемо приклад транспортної мережі, в якій допускаються перевезення через проміжні пункти. Для спрощення розуміння та роботи з ТМ, ми представляємо її у вигляді неорієнтованого графу (рис. 1.10), де вершини – це вузли мережі, ребра – відповідні шляхи, а вага ребер – вартість перевезення для відповідного шляху. При цьому потрібно відмітити відсутність "петель", так як перевезення від себе до себе в нашій задачі не доцільні. Тобто, ми працюємо з простим або звичайним графом

(simple graph). Він також являється зв'язаним, так як існують шляхи між будь-якими двома вершинами.

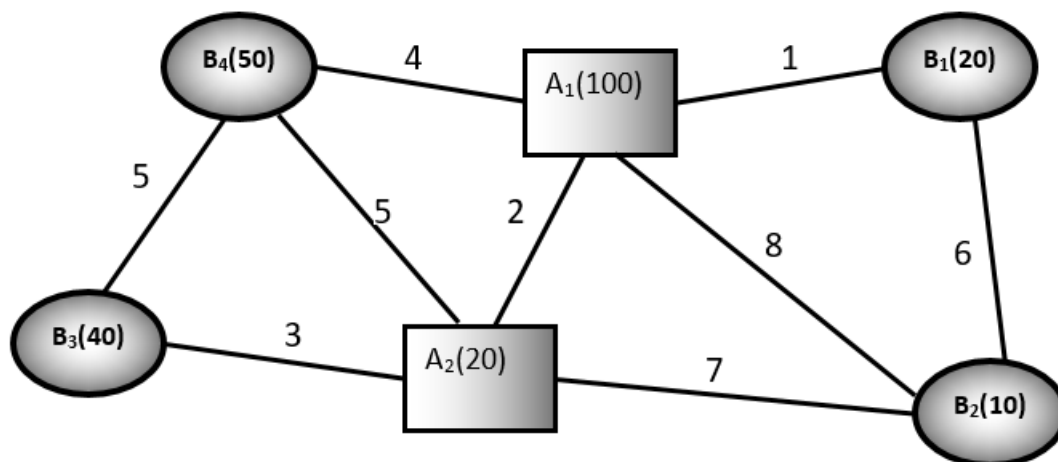


Рисунок 1.10 – ТЗ у вигляді графа (мережі)

Існує достатньо способів рішення ТЗ у вигляді графа [34, 35, 74, 75], але всі вони потребують наочного прикладу, їх практично неможливо використати для програмної реалізації тому, що вони мають нечіткі формулювання багатьох понять.

1.3 Постановка задач дослідження по удосконаленню методів управління перевезеннями в транспортних мережах при незбалансованості обсягів поставок і замовлень вантажів

Використовуючи системний підхід визначимо задачі удосконалення методів управління перевезень в транспортних мережах системною метою M_c якісного та ефективного удосконалення транспортного процесу [76-81].

Системна мета M_c може бути розподілена шляхом декомпозиції на локальні цілі M_{ik} , які враховують окремі аспекти діяльності.

Звідси, задачі дослідження ставляться і вирішуються комплексно з урахуванням функціональних взаємозв'язків згідно з формулою системного аналізу:

$$M_c \rightarrow M_{ik} \left\{ \tilde{M}_{ik} : \tilde{M}_{ik} \in M_{ik}; i = 1, 2 \dots I, \kappa = 1, 2, \dots K \right\} \quad (1.4)$$

$$M_{ik} \rightarrow F_{ik} \left\{ \tilde{F}_{ik} : \tilde{F}_{ik} \in F_{ik}; i = 1, 2 \dots I, \kappa = 1, 2, \dots K \right\} \quad (1.5)$$

$$F_{ik} \rightarrow Z_{ik} \left\{ \tilde{Z}_{ik} : \tilde{Z}_{ik} \in Z_{ik}; i = 1, 2 \dots I, \kappa = 1, 2, \dots K \right\} \quad (1.6)$$

$$Z_{ik} \rightarrow R_{ik} \left\{ \tilde{R}_{ik} : \tilde{R}_{ik} \in R_{ik}; i = 1, 2 \dots I, \kappa = 1, 2, \dots K \right\} \quad (1.7)$$

$$R_{ik} \rightarrow A_{ik} \left\{ \tilde{A}_{ik} : \tilde{A}_{ik} \in A_{ik}; i = 1, 2 \dots I, \kappa = 1, 2, \dots K \right\} \quad (1.8)$$

$$A_{ik} \rightarrow \Pi_{ik} \left\{ \tilde{\Pi}_{ik} : \tilde{\Pi}_{ik} \in \Pi_{ik}; i = 1, 2 \dots I, \kappa = 1, 2, \dots K \right\} \quad (1.9)$$

$$\Pi_{ik} \rightarrow \Sigma_{ik} \left\{ \tilde{\Sigma}_{ik} : \tilde{\Sigma}_{ik} \in \Sigma_{ik}; i = 1, 2 \dots I, \kappa = 1, 2, \dots K \right\} \quad (1.10)$$

$$\Sigma_{ik} \rightarrow P_{ik} \left\{ \tilde{P}_{ik} : \tilde{P}_{ik} \in P_{ik}; i = 1, 2 \dots I, \kappa = 1, 2, \dots K \right\} \quad (1.11)$$

де M_c , M_{ik} – відповідно системна і локальна мета забезпечення результативності вдосконалення (κ – кількість відповідних компонент);

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} ;

Π_{ik} – програмно-методичні засоби вирішення задач Z_{ik} ;

Σ_{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.

Основні задачі досягнення поставленої мети можна класифікувати наступним чином:

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

На основі (1.1–1.11) та представленої класифікації визначено структуру взаємозв'язку і змісту основних задач (рис. 1.11).

Висновки до розділу 1

На основі проведених досліджень отримані результати, які полягають в наступному:

1. З єдиних системних позицій проведений аналіз стану справ та закономірностей управління перевезеннями в транспортних системах з незбалансованим обсягом постачань і замовлень вантажів. В результаті було виявлено, що деякі стандартні методи балансування обсягів постачань і замовлень вантажів не завжди ефективні, а іноді взагалі не можливі для застосування. За результатами прогнозування на 2020-2022 роки обсяги перевезення на автомобільному транспорті становитимуть: 2020 р. – 1126,0 млн. т., 2021 р. – 1131,93 млн. т., 2022 р. – 1128,28 млн. т. Тобто, за прогнозами обсяги перевезення автомобільним транспортом до 2022 року почнуть стабілізуватися та поступово зростати.

Встановлено, що оптимальна організація перевезень вантажів є одним із основних засобів забезпечення ефективності та якості їх переміщення від постачальника до споживача.

2. Визначено особливості рішення задач управління перевезеннями в транспортних мережах.

3. Здійснено системну постановку задач дослідження по удосконаленню методів управління перевезеннями в транспортних мережах, які є основою для формування теоретичних і методологічних аспектів ефективної діяльності транспорту.

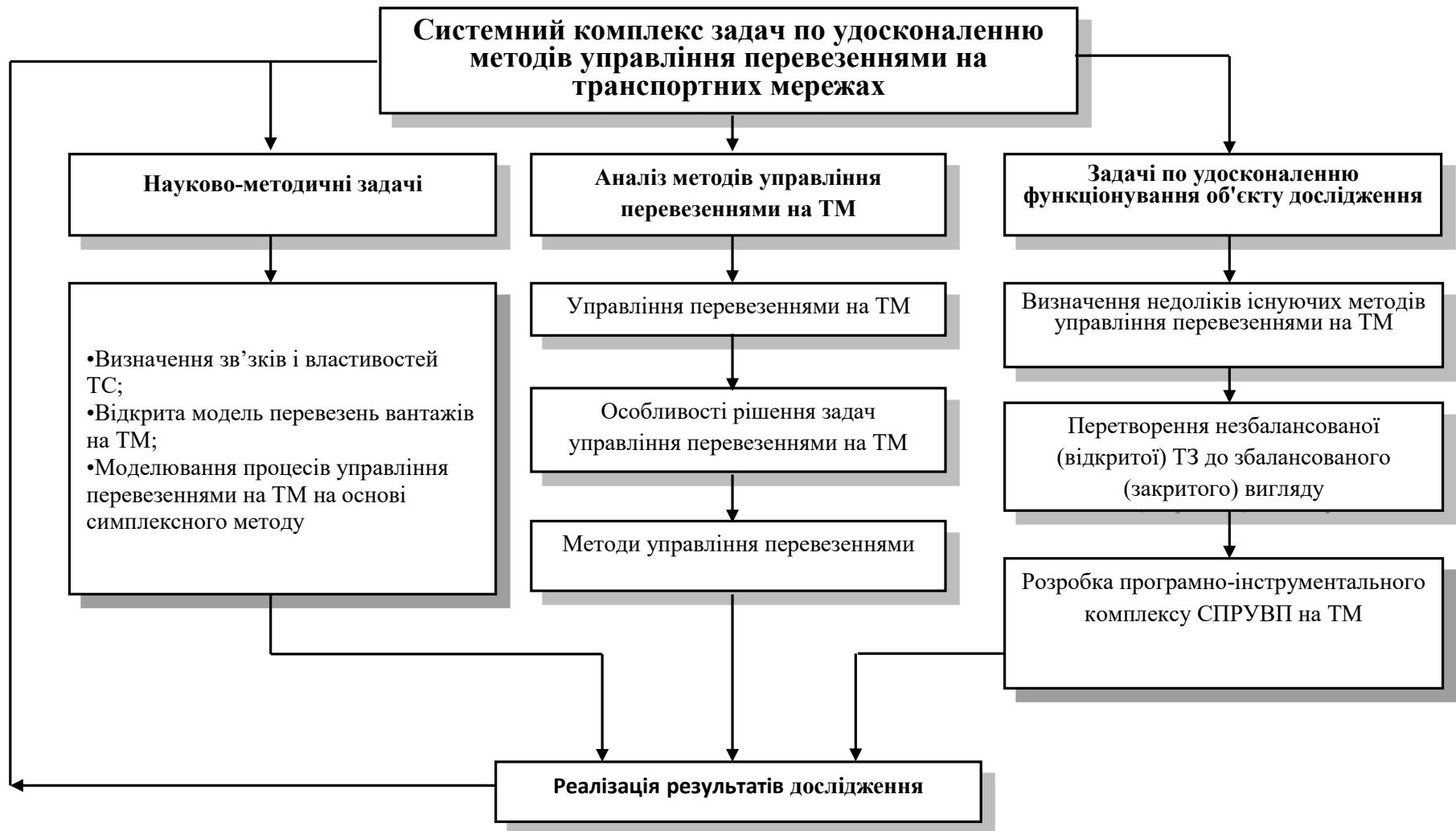


Рисунок 1.11 – Структура взаємозв'язку і зміст основних задач по удосконаленню методів управління перевезеннями на транспортних мережах

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ ПРИ НЕЗБАЛАНСОВАНOSTІ ОБСЯГІВ ПОСТАЧАНЬ І ЗАМОВЛЕНЬ ВАНТАЖІВ

2.1 Математична модель представлення перевезень вантажів у відкритих транспортних задачах

При аналізі існуючих методів рішення транспортних задач малося на увазі, що усі транспортні задачі збалансовані (закриті), тобто сума запасів якими володіє підприємство дорівнює сумарним потребам замовників [28, 33, 38, 41]. Але на практиці часто виникають ситуації, у яких не має збалансованості попиту та пропозиції, тобто або попит перевищує пропозицію, або навпаки пропозиція перевищує попит. У першому випадку ми маємо незбалансовану (відкриту) транспортну задачу з нестачею запасів, а в іншому, не збалансовану, або відкриту транспортну задачу з надлишком запасів [82, 83, 84].

Збалансована модель ТЗ, яка характеризується виконанням умови

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (2.1)$$

Якщо умова (2.1) порушується, то говорять про незбалансовану (відкриту) модель ТЗ. Зрозуміло, що при цьому змінюється і математичне формулювання задачі. Наприклад, якщо

$$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j \quad (2.2)$$

то ТЗ набуває вигляду:

$$L(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min, \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = a_i, \quad i = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, \dots, n.$$

Аналогічно записується математична модель ТЗ для другого випадку. Зрозуміло, що у першому випадку не в усіх пунктах споживання, $Q_j \quad j = 1, \dots, n$, буде задоволена потреба у продукції. Загальний об'єм незадоволеного попиту дорівнює

$$\Delta b = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i \quad (2.4)$$

У другому випадку у деяких пунктах виробництва $P_i, \quad i = 1, \dots, m$, залишається не реалізована продукція загального об'єму

$$\Delta a = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j \quad (2.5)$$

Проте у кожному з цих випадків план перевезень, що відповідає мінімуму транспортних витрат, побудувати можна. Для цього у першому випадку вводиться фіктивний пункт виробництва P_{m+1} з об'ємом виробництва:

$$a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i \quad (2.6)$$

одиниць продукції, собівартості перевезень з котрого рівні нулю, тобто $c_{m+1}, i = 0, j = 1, \dots, n$. У другому випадку додається фіктивний споживач Q_{n+1} з величиною попиту

$$b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j \quad (2.7)$$

одиниць продукції, собівартості перевезень до якого рівні нулю, тобто $c_{i,n+1} = 0, \quad i = 1, \dots, m$.

При знаходженні початкового базисного розв'язку розширених ТЗ методом мінімального елемента (або іншим методом, що враховує собівартості перевезень) у першу чергу потрібно вибирати клітинки для завантаження серед реальних виробників та споживачів, а клітинки фіктивного стовпчика (рядка) — в останню чергу. Це дозволить одержати план ближчий до оптимального. Цієї ж мети можна досягнути, враховуючи $c_{m+1,j} > \max_{i,j} c_{ij}, \quad c_{i,n+1} > \max_{i,j} c_{ij}$, відповідно.

2.2 Методи управління перевезеннями на транспортних мережах

Загальна вартість перевезень при розв'язанні ТЗ в транспортних мережах змінюється залежно від методу складання опорного плану. Але завжди стає питання отримання оптимального плану, що забезпечує мінімум витрат. Невідомо також наперед, чи є все ж таки оптимальний, отриманий певними розрахунками план перевезень оптимальним остаточно, тобто кожного разу необхідна перевірка отриманого плану перевезень на оптимальність.

Серед багаточисельних методів перевірки оптимальності отриманого плану та його поліпшення до оптимального, варто визначити саме два методи, що є найбільш придатними для оптимального розв'язання транспортних задач — *розподільчий метод та метод потенціалів*.

Розподільчий метод оптимізації. Першим кроком по перевірці отриманого плану перевезень на оптимальність є перевірка кількості ненульових перевезень (тобто кількості зайнятих клітинок у транспортній таблиці — ТТ), що має бути обов'язково рівною $(m+n-1)=N$, тому що більшість методів оптимізації транспортних таблиць, за винятком методу диференціальних рент, вимагають саме цієї кількості зайнятих клітинок ТТ.

У випадку, коли опорний план має понад N зайнятих клітинок, необхідно ліквідувати зайві перевезення. Для ліквідації одного зайвого перевезення

знаходиться замкнутий контур, який має в вершинах *тільки зайняті* клітинки. Потім визначається найменше перевезення у вершинах цього контуру (x_{min}). Даній клітинці привласнюють знак "-", потім кожній наступній вершині по чергово привласнюються знаки "+", за ним "-" і так далі, чергуючи їх. Потім до перевезень в клітинках із знаком "+" додаємо x_{min} , а від перевезень в клітинках із знаком "-" віднімаємо x_{min} . Таким чином, клітинка, що має x_{min} , стає нульовою, тобто незавантаженою.

У випадку, коли кількість зайнятих клітинок менша N , їх кількість збільшується до N шляхом додавання штучного $x_{min} = 0$ у вільні клітинки, які мають менше значення l_{ij} – відстані між i та j вузлами ТМ. Надалі ці клітинки будемо умовно вважати також зайнятими, а кількість перевезень рівними N .

В якості прикладу заповнимо таблицю 2.1 за допомогою методу північно-західного кута для конкретних значень:

$$m = 3; \quad n = 4;$$

$$A_1=100 \text{ т}; \quad A_2=120 \text{ т}; \quad A_3=140 \text{ т};$$

$$B_1=80 \text{ т}; \quad B_2=100 \text{ т}; \quad B_3=110 \text{ т}; \quad B_4 = 70 \text{ т};$$

При цьому матриця відстаней має вигляд (в км):

$$\left\| \begin{array}{cccc} 4 & 7 & 2 & 5 \\ 3 & 6 & 1 & 8 \\ 9 & 3 & 6 & 2 \end{array} \right\|_4^3,$$

а вартість виконання побудованого плану перевезень дорівнює:

$$L = c \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n l_{ij} \times x_{ij}, \text{ де } c - \text{вартість перевезення 1 т вантажу на 1 км и складає}$$

$$L = 4 \cdot 80 + 7 \cdot 20 + 6 \cdot 80 + 1 \cdot 40 + 6 \cdot 70 + 2 \cdot 70 = 1540 \text{ умовних грошових одиниць (у.г.о.) при } c = 1 \text{ у.г.о./ткм.}$$

Простежимо, як буде змінюватися план перевезень (якщо він не є оптимальним) з оцінкою кожного разу поточного значення загальної вартості перевезень. Ця вартість має поступово зменшуватися за рахунок поліпшення плану перевезень. Звичайно, що в якості опорного плану може бути використаний будь-який метод складання опорного плану.

У випадку, що розглядається, отримано число ненульових перевезень $N=6$, тому ні додавання додаткових, ні зменшення зайвих перевезень не вимагається.

Таблиця 2.1 – Вихідна транспортна таблиця з опорним планом перевезень вантажу

	B_1	B_2	B_3	B_4	Запаси a_i
A_1	4 80	7 20	2	5	100
A_2	3	6 80	1 40	8	120
A_3	9	3 +	6 70	2 70	140
Заявки b_j	80	100	110	70	360

Далі перевіряємо, чи зміниться в бік зменшення вартості план перевезень, якщо почергово робити спробу перемістити одиницю вантажу в кожну незайняту клітинку. В цьому випадку кожну незайняту клітинку помістимо у вершину контуру, в інших вершинах якого розташовані зайняті клітинки. Наприклад, для незайнятої клітинки A_1B_3 таким контуром буде:

$$A_1B_3 \rightarrow A_1B_2 \rightarrow A_2B_2 \rightarrow A_2B_3 \rightarrow A_1B_3$$

Для кожного такого контуру знаходимо вартісну характеристику переміщення одиниці вантажу в незайняту клітинку (a_{ij}), не змінюючи балансу сум перевезень в рядках та стовпчиках. Для переміщення, наприклад, 1 т вантажу в A_1B_3 отримуємо збільшення вартості на $(c \times l_{13})$, але для збереження балансу вантажів в рядках і стовпчиках зменшуємо на 1 т вантаж в клітинці A_1B_2 , що дозволить зменшити вартість перевезення на $(c \times l_{12})$. Оскільки x_{12} зменшується на 1 т, додаємо в клітинку A_2B_2 також 1 т, що викличе збільшення вартості перевезення на $(c \times l_{12})$. Однак збільшення x_{22} на 1 т повинно призвести до зменшення x_{23} на 1 т, тобто до зменшення вартості перевезень на $(c \times l_{23})$. Це зменшення x_{23} буде компенсовано

раніше проведенням додаванням 1т в незайняту клітинку A_1B_3 . Таким чином, додавання 1 т в незайняту клітинку A_1B_3 призведе до зміни вартості на величину вартісної характеристики (при $c = 1$ у.г.о./ткм):

$$\alpha_{13} = c \times l_{13} - c \times l_{12} + c \times l_{22} - c \times l_{23} = c \times (l_{13} - l_{12} + l_{22} - l_{23}) = 1 \times (2 - 7 + 6 - 1) = 1 \times 0 = 0$$

Іншими словами, переміщення одиниці вантажу (або будь-якого об'єму) по контуру $A_1B_3 \rightarrow A_1B_2 \rightarrow A_2B_2 \rightarrow A_2B_3 \rightarrow A_1B_3$ не викличе зміни вартості перевезень, тобто така зміна початкового плану недоцільна. Відзначимо, що вартість $c = 1$ у.г.о./ткм входить в α_{13} як додатній коефіцієнт при алгебраїчній сумі відстаней по даному контуру, тому будемо визначати α_{ij} в незайнятій (ij) -й клітинці як алгебраїчну суму відстаней по даному контуру, причому для даної незайнятої клітинки ця відстань приймається завжди зі знаком "+", потім за мірою просування по контуру (або в одну, або в іншу сторону – напрям проходження контуру не має значення) відстані l_{ij} приймають послідовно знаки "-" або "+".

Очевидно, що якщо отримане значення α_{ij} для ij -ї незайнятої клітинки буде від'ємним, то це свідчить про те, що переміщення вантажу в цю точку знижують загальну вартість перевезень, якщо ж $\alpha_{ij} > 0$, то переміщення в цю точку збільшують вартість перевезень; якщо $\alpha_{ij} = 0$, то вартість перевезень не змінюється.

Визначаємо α_{ij} для всіх незайнятих клітинок:

$$\alpha_{13} = 2 - 7 + 6 - 1 = 0;$$

$$\alpha_{14} = 5 - 7 + 6 - 1 + 6 - 2 = 7;$$

$$\alpha_{21} = 3 - 4 + 7 - 6 = 0;$$

$$\alpha_{24} = 8 - 1 + 6 - 2 = 11;$$

$$\alpha_{31} = 9 - 4 + 7 - 6 + 1 - 6 = 1;$$

$$\alpha_{32} = 3 - 6 + 1 - 6 = -8.$$

Таким чином, доцільно перерозподілити обсяги перевезень базового плану по контуру $A_3B_2 \rightarrow A_3B_3 \rightarrow A_2B_3 \rightarrow A_2B_2 \rightarrow A_3B_2$ з метою завантаження клітинки A_3B_2 , що має $\alpha_{32} = -8$. Будуємо цей контур з вказівкою знаків, що переміщуються і позначають додавання ("+") або зменшення ("-") об'ємів перевезень по даному контуру (табл. 2.2). Об'єм, що переміщається, визначається як мінімальний з від'ємних об'ємів по даному контуру ($x_{33} = 70$).

Таким чином, переміщення вантажу обсягом 70 т по даному контуру дозволить завантажити клітинку A_3B_2 і повністю розвантажити клітинку A_3B_3 . Очевидно, що при цьому x_{22} стане рівним $(80 - 70) = 10$, а x_{23} стане рівним $(40 + 70) = 110$. Інші значення для даного контуру $x_{32} = 70$; $x_{33} = 70 - 70 = 0$ (див. табл. 2.2).

Очевидно, що загальна вартість перевезень повинна при цьому змінитися на:

$$\Delta L = c \times \alpha_{32} \times x_{32} = 1 \times (-8) \times 70 = 560 \text{ у.з.о.}$$

і має бути рівною

$$L_1 + \Delta L = 1540 - 560 = 980 \text{ у.з.о.}$$

Таблиця 2.2 – Транспортна таблиця з контуром перерозподілу плану перевезень вантажу

	B_1	B_2	B_3	B_4	Запаси a_i
A_1	80	20			100
A_2		10	110		120
A_3		70		70	140
Заявки b_j	80	100	110	70	360

Щоб перевірити скоректований план на оптимальність знову перевіряємо його на оптимальність за допомогою вартісних характеристик незайнятих клітинок. Нагадаємо, що план є оптимальним в тому випадку, якщо всі вартісні характеристики незаповнених клітинок будуть позитивними ($\alpha_{ij} \geq 0$).

Для отриманого плану:

$$\alpha_{13} = 2 - 7 + 6 - 1 = 0;$$

$$\alpha_{14} = 5 - 7 + 3 - 2 = -1;$$

$$\alpha_{21} = 3 - 4 + 7 - 6 = 0;$$

$$\alpha_{24} = 8 - 6 + 3 - 2 = 3;$$

$$\alpha_{31} = 9 - 4 + 7 - 3 = 9;$$

$$\alpha_{33} = 6 - 3 + 6 - 1 = 8.$$

Перевіряємо загальну вартість перевезень:

$$L_1 = 1(4 \times 80 + 7 \times 20 + 6 \times 10 + 1 \times 110 + 3 \times 70 + 2 \times 70) = 980 \text{ у.з.о.},$$

що співпадає з очікуваною вартістю перевезень. Але цей план також не є оптимальним, так як $\alpha_{14} = -1$, тому будуємо замкнутий контур для клітинки A_1B_4 , що має $\alpha_{14} = -1$, і переносимо (згідно контуру в табл. 2.2) $x = 20$ одиниць вантажу в клітинку A_1B_4 . Знову заповнюємо транспортну таблицю 2.3 для скоректованого плану. При цьому зменшення вартості повинно складати $c \times \alpha_{14} \times x$, а загальна вартість

$$L_2 = L_1 + \Delta L = 980 + c \times \alpha_{14} \times x = 980 \times (+1) \times (-1) \times 20 = 960 \text{ у.з.о.}$$

Перевіряємо план на оптимальність:

$$\alpha_{12} = 7 - 3 + 2 - 5 = 1;$$

$$\alpha_{13} = 2 - 5 + 2 - 3 + 6 - 1 = 1;$$

$$\alpha_{21} = 3 - 4 + 5 - 2 + 3 - 6 = -1;$$

$$\alpha_{24} = 8 - 6 + 3 - 2 = 3;$$

$$\alpha_{31} = 9 - 4 + 5 - 2 = 8;$$

$$\alpha_{33} = 6 - 3 + 6 - 1 = 8.$$

Таблиця 2.3 Транспортна таблиця з новим контуром перерозподілу плану перевезень вантажу

	B_1	B_2	B_3	B_4	Запаси a_i
A_1	4 80 -	7 -----	2 -----	5 20 +	100
A_2	3 + -----	6 10 -	1 110	8 -----	120
A_3	9 -----	3 90 +	6 -----	2 50 -	140
Заявки b_j	80	100	110	70	360

План знову не є оптимальним, так як $\alpha_{21} = -1$. Загальна вартість складає:

$$L_2 = 1(4 \times 80 + 5 \times 20 + 6 \times 10 + 1 \times 110 + 3 \times 90 + 2 \times 50) = 960 \text{ у.з.о.},$$

що співпадає з очікуваною вартістю перевезень.

Переносимо $x = 10$ в клітинку A_2B_1 , по зазначеному в таблиці 2.3 контуру. Зміна вартості перевезень повинна складати $c \times \alpha_{21} \times x = -10$ у.з.о., а загальна вартість перевезень становитиме:

$$L_3 = L_2 + \Delta L = 960 - 10 = 950 \text{ у.з.о.}$$

Будуємо знову скореговану таблицю 2.4. Перевіряємо план на оптимальність:

$$\alpha_{12} = 7 - 5 + 2 - 3 = 1;$$

$$\alpha_{13} = 2 - 4 + 3 - 1 = 0;$$

$$\alpha_{22} = 6 - 3 + 4 - 5 + 2 - 3 = 1;$$

$$\alpha_{24} = 8 - 3 + 4 - 5 = 4;$$

$$\alpha_{31} = 9 - 4 + 5 - 2 = 8;$$

$$\alpha_{33} = 6 - 1 + 3 - 4 + 5 - 2 = 7.$$

Оскільки всі $\alpha_{ij} \geq 0$, то план перевезень є оптимальним і забезпечує витрати на перевезення на суму:

$$L_3 = L_{opt} = 1 \times (4 \times 70 + 5 \times 30 + 3 \times 10 + 1 \times 110 + 3 \times 100 + 2 \times 40) = 950 \text{ у.з.о.},$$

яка відповідає попереднім розрахункам вартості перевезень, що очікується.

Таблиця 2.4 – Транспортна таблиця з оптимальним планом перевезень вантажу

	B_1	B_2	B_3	B_4	Запаси a_i
A_1	4 70	7	2 30	5	100
A_2	3 10	6 110	1	8	120
A_3	9 100	3	6 40	2	140
Заявки b_j	80	100	110	70	360

Таким чином, оптимальний план перевезень передбачує перевезення вантажу:

- від постачальника A_1 : до споживача B_1 в обсязі 70 т;
до споживача B_4 в обсязі 30 т;
- від постачальника A_2 : до споживача B_1 в обсязі 10 т;

до споживача B_3 в обсязі 110 т;

- від постачальника A_3 : до споживача B_2 в обсязі 100 т;

до споживача B_4 в обсязі 40 т.,

при цьому загальна вартість перевезень $L_{onm} = 950$ у.з.о.

Зазначимо, що при застосуванні опорного плану, отриманого за допомогою методу північно-західного кута, оптимальний план перевезень був отриманий за три ітерації (тобто три корегування плану). Очевидно, що використання більш досконалого опорного плану має зменшити кількість необхідних ітерацій для отримання оптимального плану.

Метод потенціалів. Цей метод базується на використанні двоїстої задачі лінійного програмування. Транспортна задача як пряма задача ЛП може бути перетворена згідно з правилами переводу в двоїсту задачу ЛП [41, 69, 85, 86]. Прийmemo замість змінних прямої задачі $X = \|x_{ij}\|_n^m$ для двоїстої задачі наступні $W = \{V_1; V_2; \dots; V_n; (-U_1); (-U_2); \dots (-U_m)\}$. Тоді згідно співвідношенням обох задач ЛП, для оптимальних рішень будемо мати рівність значень цільових функцій, тобто:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}^0 = \sum_{j=1}^n b_j V_j^0 + \sum_{i=1}^m a_i U_i^0 \quad (2.8)$$

Зміст цього рівняння полягає в тому, що при оптимальному плані перевезень сумарні транспортні затрати дорівнюють приросту вартості вантажу, що знаходиться вже у споживача, відносно його вартості при знаходженні його у постачальника. Тому змінні V_j і U_i , що звуться потенціалами відповідних пунктів B_j і A_i , мають зміст "тіньових" цін вантажу до і після здійснення перевезень. Враховуючи $c_{ij} = c \cdot l_{ij}$, запишемо по аналогії $V_j = c \cdot v_j$ і $U_i = c \cdot u_i$, тоді $(V_j + U_i) = c(v_j + u_i)$, що забезпечує рівність

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m l_{ij} x_{ij} = \sum_{j=1}^n b_j v_j + \sum_{i=1}^m a_i u_i \quad (2.9)$$

відповідаючи впливу саме відстаней на оптимальне рішення. Обмеження ж двоїстої задачі згідно правил, викладених в розділі 1.5, будуть мати вигляд:

$$v_j + u_i \cdot l_{ij} \quad (j=\overline{1,n}; i=\overline{1,m}) \quad (2.10)$$

При цьому строге рівняння (1.6) забезпечує $x_{ij}^0 > 0$ і навпаки $x_{ij}^0 = 0$, якщо $v_j + u_i < l_{ij}$.

Таким чином, умова $v_j + u_i < l_{ij}$ відповідає необхідності забезпечення $x_{ij}=0$ для оптимального плану, а $v_j + u_i \geq l_{ij}$ відповідає необхідності забезпечення $x_{ij} \neq 0$, тобто необхідності завантаження відповідної клітинки.

Саме ці обставини і обумовили застосування методу потенціалів для розв'язання транспортних задач, суть якого полягає у наступному:

1. Приймаємо будь-який початковий потенціал v_j для j -го ряду таблиці; шукаємо клітинку (ij) , для якої і визначаємо відповідний потенціал $u_i = l_{ij} - v_j$. Робимо аналогічні розрахунки для решти рядів і стовпчиків таблиці, спираючись на вже розраховані транспортні потенціали.

2. Після визначення v_j і u_i ($j=\overline{1,n}; i=\overline{1,m}$) перевіряємо нерівність $v_j + u_i < l_{ij}$ для всіх (ij) незайнятих клітинок таблиці (тобто для $x_{ij} = 0$). Якщо ця нерівність має місце для усіх без виключення незайнятих клітинок, план перевезень є оптимальним.

3. Якщо у будь якій незайнятій клітинці $v_j + u_i > l_{ij}$, то складений план перевезень не є оптимальним і підлягає корегуванню. Корегування полягає в заповненні незайнятих клітинок, що мають $v_j + u_i > l_{ij}$, згідно правил перерозподілу, вантажу по клітинках, що вже застосовувалась раніше, при розгляданні розподільчого методу оптимізації плану перевезень.

При умові $v_j + u_i = l_{ij}$ для незайнятої клітинки ($x_{ij} = 0$) означає, що перерозподіл вантажу в цю клітинку можливий, але це не поліпшує, ні погіршує план перевезень. Це означає, що є ще один план, еквівалентний по вартості

перевезень. Тому в подальшому домовимось вважати, що клітинка залишається незайнятою при $v_j + u_i \leq l_{ij}$.

Розглянемо той же самий приклад оптимізації плану перевезень, що розглядався раніше. Щоб порівняти ефективність різних методів складання опорного плану, застосовуємо для оптимізації опорний план, отриманий за допомогою методу Лебедєва-Тихомирова (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Транспортна таблиця з опорним планом, отриманим за допомогою методу Лебедєва-Тихомирова

		B_1	B_2	B_3	B_4	<i>Запаси a_i</i>
	v_j u_i	4	7	2	6	
A_1	0	4 30	7 -	2 70	5 +	100
A_2	-1	3 80	6	1 40	8	120
A_3	-4	9 70	3 +	6 -	2 70	140
<i>Заявки b_j</i>		80	100	110	70	360

Розрахуємо потенціали u_i і v_j використовуючи саме зайняті клітинки, і занесемо їх в додаткові стовпчик і рядок (див. табл. 2.5). Приймаємо $u_1 = 0$, тоді $v_2 = l_{12} - u_1 = 7 - 0 = 7$; $v_3 = 2 - 0 = 2$.

Використовуючи вже отримані потенціали, визначаємо решту потенціалів:

$$u_2 = l_{23} - v_3 = 1 - 2 = -1; \quad u_3 = l_{32} - v_2 = 3 - 7 = -4;$$

$$v_4 = l_{14} - u_1 = 6 - 0 = 6; \quad v_1 = 3 - (-1) = 4.$$

Відмітимо, що для отриманого опорного плану (при $c = 1$ у.з.о./ткм) маємо $L = 980$ у.з.о.

Перевіряємо опорний план на оптимальність, використовуючи отримані потенціали. Для цього перевіряємо умову оптимальності для всіх незайнятих клітинок плану, тобто $v_j + u_i \leq l_{ij}$;

$$A_1B_1 : 0 + 4 = 4; \quad A_1B_4 : 0 + 6 > 5; \quad A_2B_2 : (-1) + 7 = 6;$$

$$A_2B_4 : (-1) + 6 < 8; \quad A_3B_1 : (-4) + 4 < 9; \quad A_3B_3 : (-4) + 2 < 6.$$

Опорний план не є оптимальним, тому що для клітинки A_1B_4 $v_j + u_i > l_{ij}$.

Це означає, що ця клітинка, як кажуть, є потенційною і має бути завантажена.

Для цього шукаємо контур, що містить у інших кутах зайняті клітинки. Це контур: $A_1B_4 \rightarrow A_3B_4 \rightarrow A_3B_2 \rightarrow A_1B_2 \rightarrow A_1B_4$. Оскільки ми хочемо завантажити A_1B_4 , присвоюємо їй знак "+", потім, пересуваючись по контуру, послідовно міняємо знаки. Мінімальне абсолютне значення від'ємного обсягу знаходиться в клітинці A_1B_2 і дорівнює $x = 30$ т. Пересуваємо цей обсяг по контуру з урахуванням знаків і отримуємо новий план перевезень (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Транспортна таблиця з новим модифікованим опорним планом

		B_1	B_2	B_3	B_4	Запаси a_i
	v_j u_i	4	6	2	5	
A_1	0	4 + 80 -	7 - 40 +	2 - 30 +	5	100
A_2	-1	3 - 80 -	6 - 40 +	1 + 30 +	8	120
A_3	-3	9 100	3 100	6 40	2	140
Заявки b_j		80	100	110	70	360

Знову визначаємо потенціали u_i і v_j по зайнятим клітинкам і перевіряємо план на оптимальність по незайнятим клітинкам.

$$\begin{array}{lll}
 A_1B_1 : 0 + 4 = 4; & A_1B_2 : 0 + 6 < 7; & A_2B_2 : (-1) + 6 < 6; \\
 A_2B_4 : (-1) + 5 < 8; & A_3B_1 : (-3) + 4 < 9; & A_3B_3 : (-3) + 2 < 6.
 \end{array}$$

Таким чином, отриманий план є оптимальним. Загальна вартість перевезень по цьому плану складає (при $c = 1$ у.з.о./ткм):

$$L_{opt} = 1 \square (2 \square 70 + 5 \square 30 + 3 \square 80 + 1 \square 40 + 3 \square 100 + 2 \square 40) = 950 \text{ у.з.о.}$$

Порівняємо отримані результати з аналогічними результатами оптимального плану перевезень, отриманого за допомогою розподільчого методу (таблиця 1.7). Незважаючи на те, що плани перевезень дещо не співпадають, загальні витрати на здійснення перевезень є однакові для обох планів. Зауважимо, що при перевірці плану таблиці 1.8 ми отримали для клітинки A_1B_1 строге рівняння $u_1 + v_1 = 0 + 4 = l_{11} = 4$. Це означає, що можливо завантаження цієї клітинки без зміни загальної вартості перевезень.

Спробуємо це зробити. Контур перерозподілу вантажу для клітинки A_1B_1 таблиці 1.8 є наступний: $A_1B_1 \rightarrow A_1B_3 \rightarrow A_2B_3 \rightarrow A_2B_1 \rightarrow A_1B_1$. Загальний обсяг перерозподілу дорівнює $x = 70$ т. Неважко показати, що після цього перерозподілу ми миттєво отримаємо план, що відповідає таблиці 1.6, що була отримана за допомогою розподільчого методу оптимізації, без зміни загальних витрат на здійснення перевезень.

Зауважимо також, що застосування більш досконалого опорного плану дозволило значно скоротити пошук оптимального рішення (одна ітерація замість трьох). Розв'язання ТЗ в цій постановці є більш наглядним в порівнянні з раніше розглянутим методом.

Здійснимо вирішення *задачі управління перевезеннями на транспортній мережі* на конкретному прикладі. Маємо мережу доріг (рис. 1.11). Вершинами цієї мережі є постачальники A_i і одержувачі B_j однорідного вантажу ($i \square m; j \square n; m = 3; n = 9$). Довжини дуг (l_{ij}) між пунктами i та j дорівнюють відстаням (в км) і ці значення проставлені біля цих дуг. Запаси постачальників і заявки одержувачів проставлені у відповідних квадратах і кружках. Розв'язок проводимо методом потенціалів [13, 87].

Порядок розв'язку за цим методом такий.

1. Складається опорний (базовий) план перевезень. Визначених правил задовольнити в першу чергу тих одержувачів вантажу, які розташовані найближче, і уникнути, по можливості, зустрічних перевезень та його складання в сітьовій постановці не існує, окрім намагання уникнути замкнутих контурів із завантажених дуг. На рис. 2.1 опорний план перевезень показано пунктирними стрілками із вказівкою поряд з ними відповідних об'ємів перевезень (x_{ij}). Оскільки кількість ненульових перевезень виявилася рівною 10, а необхідна їх кількість повинна бути рівною $(m + n - 1) = 11$, введемо нульове (фіктивне) перевезення по гілці A_2B_2 .

2. Присвоїмо потенціали всім вузлам мережі. Для цього присвоїмо будь-якому з вузлів (A або B) потенціал, який більший за *максимальну* відстань між вузлами (у нашому прикладі вузлу A_1 присвоїмо потенціал 15).

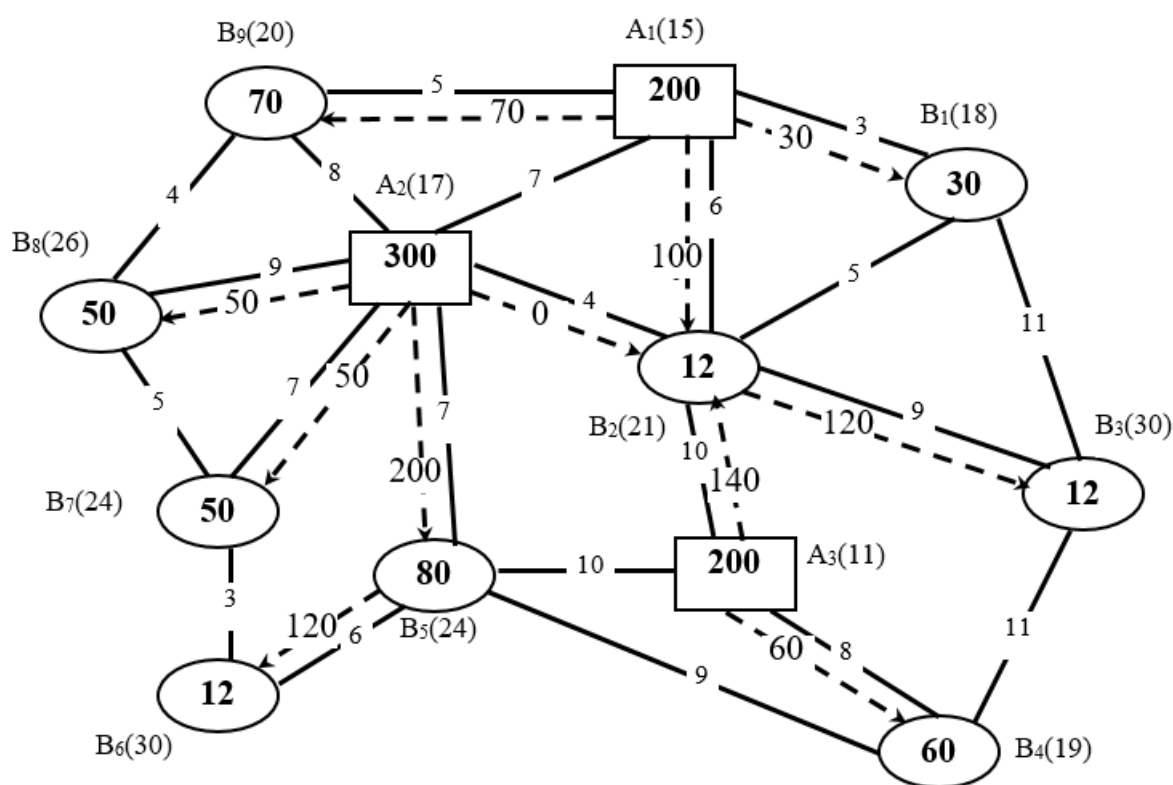


Рисунок 2.1 – Транспортна мережа перевезень

Рухаючись *завантаженими* дугами, визначаємо потенціали всіх інших вершин. За правилом присвоєння потенціалів при русі *в напрямку* перевезення до попереднього потенціалу додається довжина завантаженої дуги. Якщо ж рух

здійснюється *проти напрямку* перевезення – довжина дуги вираховується з попереднього потенціалу. Наприклад, потенціал B_2 по відношенню до A_1 дорівнює $(15 + 6) = 21$, потенціал A_3 дорівнює $(21 - 10) = 11$ і т.д.

3. 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. Такими є чотири:

$$\begin{aligned} B_8B_9 &\square 26-20 = 6 > 4; & B_6B_7 &\square 30-24 = 6 > 3; \\ B_3B_1 &\square 30-18 = 12 > 11; & B_5A_3 &\square 24-11 = 13 > 10. \end{aligned}$$

Вибираємо найбільшу різницю (найбільше потенційне привабливу дугу). Таких дуг буде два: $B_6B_7 \square 6 - 3 = 3$; $B_5A_3 \square 13 - 10 = 3$. Вибираємо будь-яке з них, наприклад, B_5A_3 і виконуємо перерозподіл поставок. Для цього виберемо замкнутий контур, що складається із завантажених дуг, крім однієї – B_5A_3 . Таким контуром буде $A_3 \square B_5 \square A_2 \square B_2 \square A_3$. Завантажуємо потенційну (не завантажену) дугу A_3B_5 , переміщуючи вантаж по даному контуру. Напрямок переміщення від меншого потенціалу відгалуження A_3B_5 до більшого, тобто від A_3 до B_5 і далі по контуру. Величина перерозподілу вантажу дорівнює найменшій величині зустрічного перевезення в даному контурі [88]. Для даного контуру зустрічними будуть перевезення, рівні 200 і 140. Вибираємо величину завантаження, рівну 140 т. Зустрічні будуть зменшуватися на цю величину, супутні - збільшуватися. На цьому перше корегування плану завершено [89, 90]. Новий план перевезень представлено на рис. 2.2.

4. Повторюємо процедуру визначення потенціалів перевірки на оптимальність і корегування до тих пір, доки не залишиться потенційних дуг. На рис. 2.2 потенційними відгалуженнями будуть три:

$$B_8B_9 \square 26 - 20 = 6 > 4; \quad B_6B_7 \square 30 - 24 = 6 > 3; \quad B_3B_1 \square 30 - 18 = 12 > 11;$$

Найбільш потенційно приваблива дуга – $B_6B_7 \square 6 - 3 = 3$. Вибираємо замкнутий контур для переміщення вантажу $B_7 \square B_6 \square B_5 \square A_2 \square B_7$. Напрямок переміщення

вантажу: від B_7 до B_6 , мінімальний зустрічний потік вантажу на дузі A_2B_5 дорівнює 60 т.

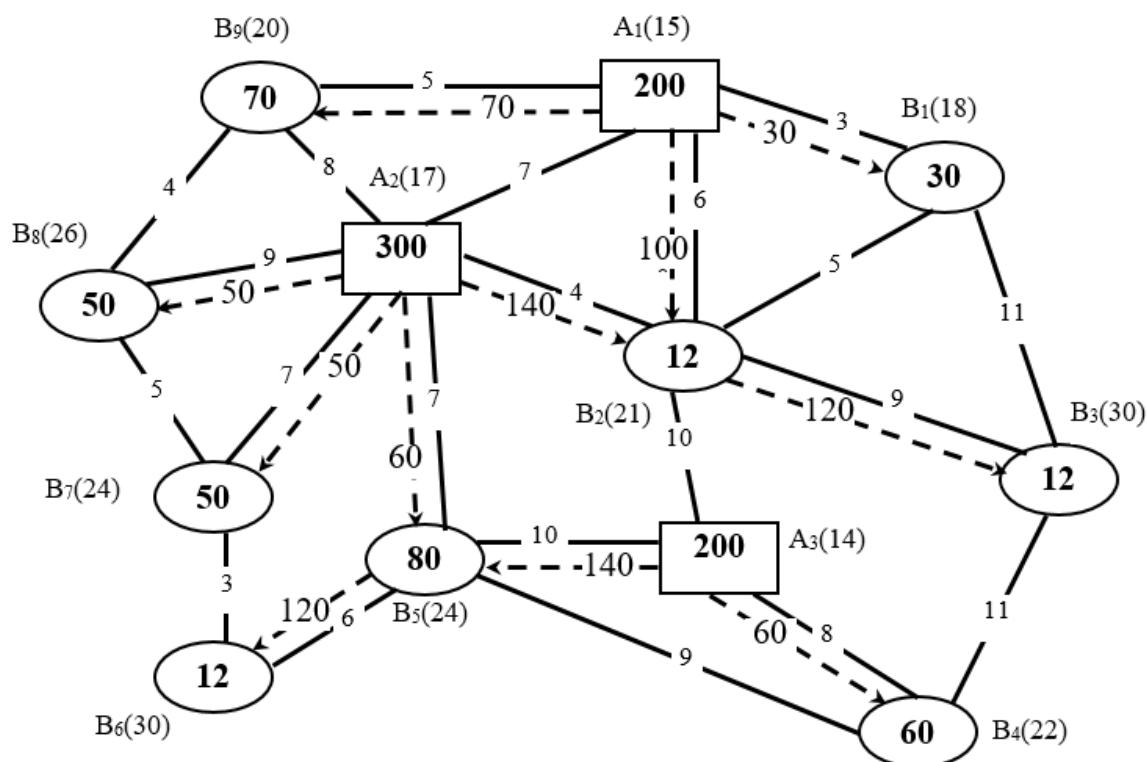


Рисунок 2.2 – 1-е коректування плану перевезень

Зробимо перерозподіл вантажу і отримаємо план перевезень, зображений на рис. 2.3.

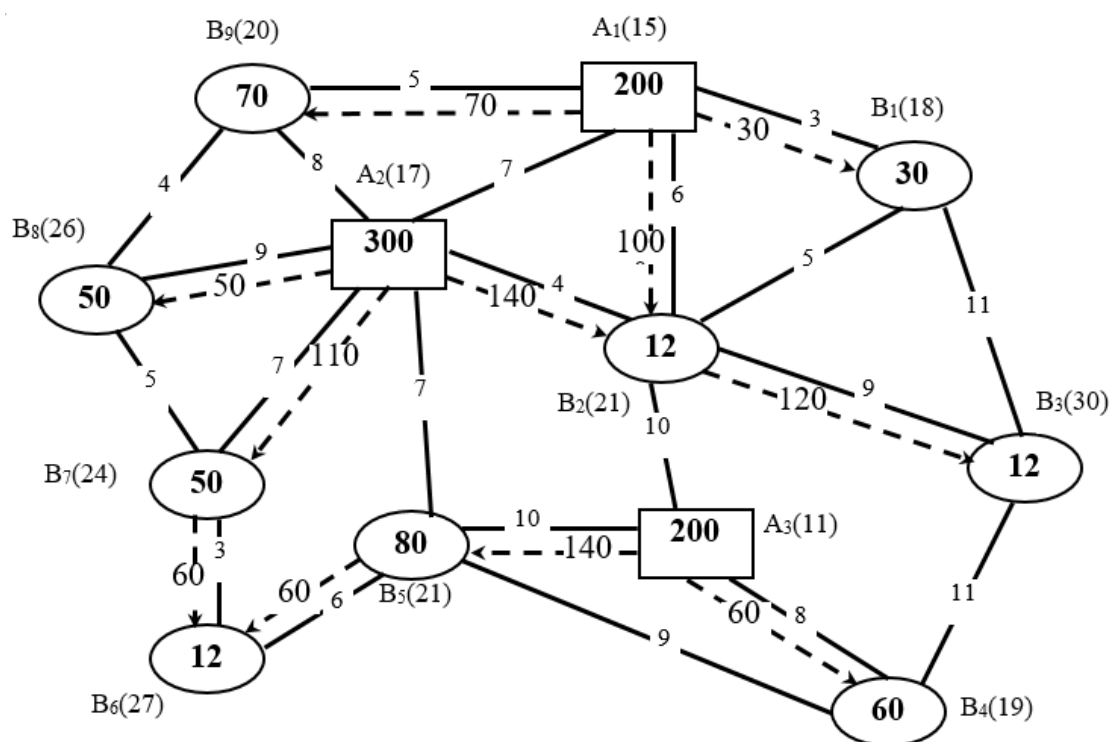


Рисунок 2.3 – 2-е корегування плану перевезень

Для цього плану маємо дві потенційні дуги:

$$B_8B_9 \Rightarrow 26 - 20 = 6 > 4; \quad B_3B_1 \Rightarrow 30 - 18 = 12 > 11.$$

Завантажуємо гілку B_8B_9 по контуру: $B_9 \rightarrow B_8 \rightarrow A_2 \rightarrow B_2 \rightarrow A_1 \rightarrow B_9$ потоком, що дорівнює мінімальному зустрічному між B_8 і A_2 , тобто 50 т., отримуємо новий план перевезень (рис. 2.4), визначаємо знову потенціали і робимо перевірку на оптимальність.

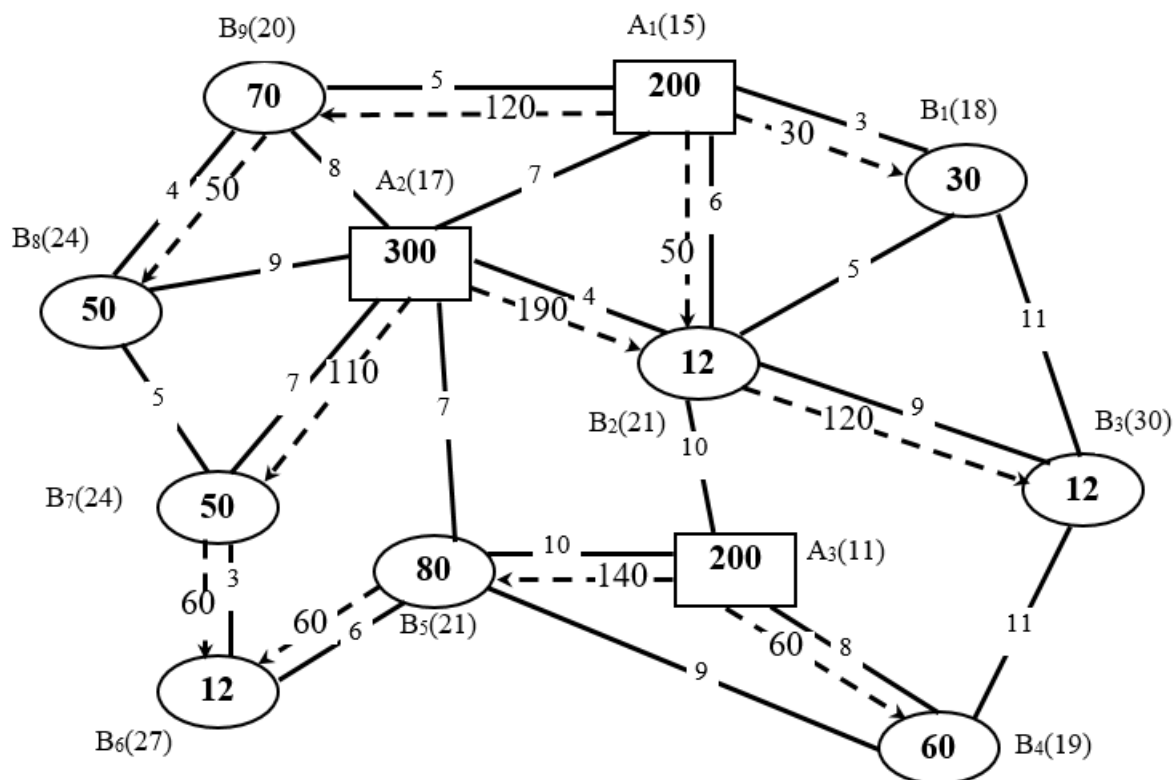


Рисунок 2.4 – 3-є корегування плану перевезень

Для цього плану маємо одну потенційну не завантажену дугу $B_1B_3 \rightarrow 30 - 18 = 12 > 11$. Вибираємо напрямок переміщення вантажу по контуру: $B_1 \rightarrow B_3 \rightarrow B_2 \rightarrow A_1 \rightarrow B_1$. Від B_1 до B_3 мінімальний зустрічний потік дорівнює 50 т.

Будуємо новий план перевезень (рис. 2.5). 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.

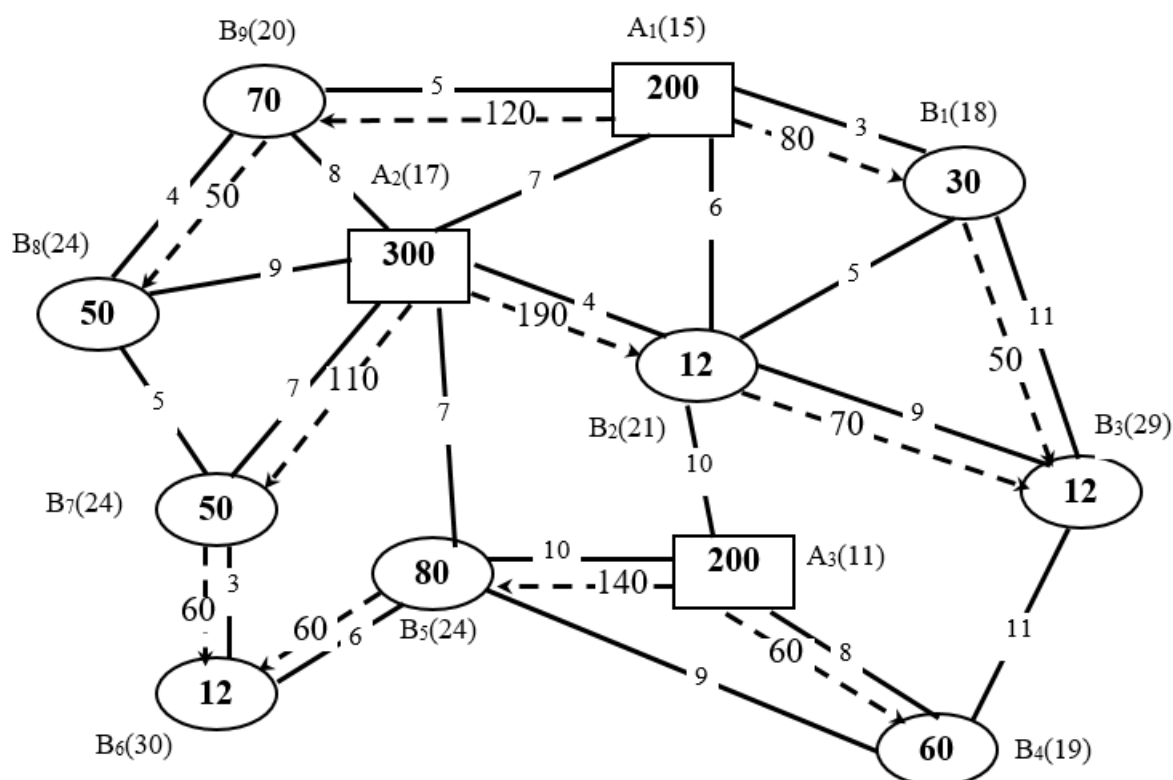


Рисунок 2.5 – Оптимальний план перевезень

1. Для базового плану (рис. 2.1):

$$L_0 = 1 \square (70 \square 5 + 50 \square 9 + 50 \square 7 + 120 \square 6 + 200 \square 7 + 60 \square 8 + 140 \square 10 + \\ + 120 \square 9 + 30 \square 3 + 100 \square 6) = 6920 \text{ y.z.o.}$$

2. Після 1-го корегування плану перевезень (рис. 2.2):

$$L_1 = 1 \square (70 \square 5 + 50 \square 9 + 50 \square 7 + 120 \square 6 + 60 \square 7 + 140 \square 10 + 60 \square 8 + \\ + 120 \square 9 + 140 \square 4 + 100 \square 6 + 30 \square 3) = 6500 \text{ y.z.o.}$$

3. Після 2-го корегування (рис. 2.3):

$$L_2 = 1 \square (70 \square 5 + 50 \square 9 + 110 \square 7 + 60 \square 3 + 60 \square 6 + 140 \square 10 + 60 \square 8 + \\ + 140 \square 4 + 120 \square 9 + 100 \square 6 + 30 \square 3) = 6320 \text{ y.z.o.}$$

4. Після 3-го корегування плану перевезень (рис. 2.4):

$$L_3 = 1 \square (120 \square 5 + 50 \square 4 + 110 \square 7 + 60 \square 3 + 60 \square 6 + 140 \square 10 + 60 \square 8 + \\ + 120 \square 9 + 190 \square 4 + 50 \square 6 + 30 \square 3) = 6220 \text{ y.z.o.}$$

5. При оптимальному плані перевезень (рис.2.5):

$$L_{onm} = 1 \square (120 \square 5 + 50 \square 4 + 110 \square 7 + 60 \square 3 + 60 \square 6 + 140 \square 10 + 60 \square 8 + \\ + 190 \square 4 + 70 \square 9 + 50 \square 11 + 80 \square 3) = 6170 \text{ y.z.o.}$$

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:

1. Знайти на мережі контур тільки із зайнятих дуг.

2. В цьому контурі вибрати дугу з найменшим навантаженням.

3. 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 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 Розв'язання транспортних задач симплексним методом

Так як транспортна задача є окремим випадком загальної задачі лінійного програмування (ЗЛП), то до неї також цілком можливо застосувати всі стандартні методи її рішення (зокрема найвідоміший з них - симплексний метод), попередньо прививши транспортну задачу до вигляду задачі лінійного програмування і врахувавши її специфічність [82, 90, 91, 92].

Для цього необхідно провести над математичною моделлю транспортної задачі (ТЗ) ряд перетворень. Ці перетворення будемо здійснювати на конкретному прикладі ТЗ, а саме для m постачальників ($m=2$) і n споживачів продукції ($n=3$).

а) спочатку запишемо вихідну систему рівнянь ТЗ у наступному вигляді:

$$\begin{cases} x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} = a_1 \\ x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} = a_2 \\ \parallel \quad \parallel \quad \parallel \\ b_1 \quad b_2 \quad b_3 \end{cases} \quad (2.11)$$

де: x_{ij} – кількість продукції, відправленої від i -го постачальника до j -го споживача;

a_i – обсяг продукції наявної у i -го постачальника ($i=1,2$);

b_j – обсяг продукції необхідної j -ому споживачу ($j=1,3$).

б) представимо її у виді системи $(m + n)$ лінійних рівнянь наступним чином:

$$\begin{cases} x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} & & & = a_1 \\ & x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} & & = a_2 \\ x_{1,1} + & & x_{2,1} & = b_1 \\ & x_{1,2} + & & x_{2,2} & = b_2 \\ & & x_{1,3} + & & x_{2,3} & = b_3 \end{cases} \quad (2.12)$$

в) замінимо $x_{1,1}$ на x_1 , $x_{1,2}$ на x_2 , $x_{1,3}$ на x_3 і т.д. $x_{2,3}$ на x_6 та одержимо:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 & & & = a_1 \\ & x_4 + x_5 + x_6 & & = a_2 \\ x_1 + & & x_4 & = b_1 \\ & x_2 + & & x_5 & = b_2 \\ & & x_3 + & & x_6 & = b_3 \end{cases} \quad (2.13)$$

г) додаємо, як того вимагає симплексний метод, до усіх рівнянь додаткові змінні, які складуть початкове базисне рішення ТЗ:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 & & & + x_7 & = a_1 \\ & x_4 + x_5 + x_6 & & + x_8 & = a_2 \\ x_1 + & & x_4 & & + x_9 & = b_1 \\ & x_2 + & & x_5 & + x_{10} & = b_2 \\ & & x_3 + & & x_6 & + x_{11} & = b_3 \end{cases} \quad (2.14)$$

У результаті цих перетворень одержали систему $(m + n)$ лінійних рівнянь з $(m \times n + m + n)$ позитивними змінними, рішення з якої може бути одержано за допомогою симплекс-методу. Тому що сума рівнянь системи по рядках дорівнює сумі рівнянь системи по стовпцях, то ми одержали лінійно-залежну систему рівнянь. З метою приведення її до нормального (лінійно-незалежного) виду одне з рівнянь системи (в основному це останнє) можна без шкоди для кінцевого результату рішення ТЗ відкинути. Тоді ми будемо мати $(m+n-1)$ лінійних рівнянь і $(m \times n + m + n - 1)$ змінних.

Необхідно також відмітити то, що у класичній ТЗ перевезти продукцію від усіх постачальників (a_i) потрібно так, щоб усі заявки були виконані (b_j) і при цьому загальна вартість (L) транспортних перевезень була би мінімальною, тобто:

$$L = c_1 * x_1 + c_1 * x_2 + \dots + c_k * x_k \Rightarrow \min, \quad (2.15)$$

де: $c_1, c_2, \dots, c_k$ – вартість перевезення одиниці продукції від кожного постачальника до кожного споживача $(k = 1, m \times n)$.

Розглянемо розв’язання транспортної задачі на конкретному прикладі, заданому у вигляді наступної транспортної таблиці (табл. 2.7):

Таблиця 2.7 – Матриця перевезень

		Споживачі		
		$b_1 = 40$	$b_2 = 50$	$b_3 = 60$
Постачальники	$a_1 = 70$	x_1 $c_1 = 1$	x_2 $c_2 = 2$	x_3 $c_3 = 4$
	$a_2 = 80$	x_4 $c_4 = 2$	x_5 $c_5 = 5$	x_6 $c_6 = 3$

де: $m = 2$, и $n = 3$. Відповідно, кількість рівнянь буде дорівнювати $(m + n - 1) = 4$, кількість вихідних змінних $(m * n) = 6$ і кількість додаткових змінних – $(m + n - 1) = 4$.

Запишемо умову нашої ТЗ у термінах загальної задачі лінійного програмування.

Мінімізувати цільову функцію

$$L = 1 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 + 2 \cdot x_4 + 5 \cdot x_5 + 3 \cdot x_6 \quad (2.16)$$

при наступних обмеженнях:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 & & & & & & = 70 \\ & & & x_4 + x_5 + x_6 & & & = 80 \\ x_1 + & & & x_4 & & & = 40 \\ & x_2 + & & & x_5 & & = 50 \end{cases} \quad (2.17)$$

тобто кількість рівнянь рівняється 4, а кількість вихідних змінних дорівнює 6.

Вводимо до обмежень нові змінні x_7, x_8, x_9, x_{10} . Значення відповідних коефіцієнтів впливу вибираємо набагато більшими за існуючі. У нашому випадку приймемо у якості цієї величини суму всіх коефіцієнтів при невідомих у початковій цільовій функції, тобто 17. Завдяки цьому змінні x_7, x_8, x_9, x_{10} з базисних поступово будуть переведені у вільні, що забезпечить тим самим мінімум цільової функції.

Після введення нових змінних маємо:

$$L = 1 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 + 2 \cdot x_4 + 5 \cdot x_5 + 3 \cdot x_6 + 17 \cdot x_7 + 17 \cdot x_8 + 17 \cdot x_9 + 17 \cdot x_{10} \rightarrow \min \quad (2.18)$$

При обмеженнях

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 & & & + x_7 & = 70 \\ & & x_4 + x_5 + x_6 + x_8 & = 80 \\ x_1 + & & x_4 & + x_9 & = 40 \\ & x_2 + & & x_5 & + x_{10} & = 50 \end{cases} \quad (2.19)$$

Остаточна кількість рівнянь $k = 4$; кількість змінних $l = 10$.

В якості базисних вибираємо x_7, x_8, x_9, x_{10} і отримуємо перше базисне рішення $X = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 70, 80, 40, 50\}$, що забезпечує

$$L = 17 \cdot 70 + 17 \cdot 80 + 17 \cdot 40 + 17 \cdot 50 = 4080 \text{ умовних грошових одиниць (у.г.о.).}$$

Складемо першу симплекс-таблицю (табл. 2.8.). Перший рядок симплекс-таблиці (СТ) являє собою значення коефіцієнтів C_j при невідомих у цільовій функції

2.18; у першому стовпці СТ перебувають значення коефіцієнтів $C_{\bar{b}i}$ при базових невідомих у цільовій функції 2.18; другий стовпець представлений самими базовими невідомими $X_{\bar{b}i}$; у третьому стовпці перебувають значення базових невідомих $b_{\bar{b}i}$ (у першій СТ це значення правих частин системи рівнянь) і частина СТ, що залишилася, за винятком останнього рядка, зайнята коефіцієнтами a_{ij} при невідомих системи рівнянь.

Таблиця 2.8 – Перша симплекс-таблиця

			1	2	4	2	5	3	17	17	17	17
$C_{\bar{b}i}$	$X_{\bar{b}i}$	$b_{\bar{b}i}$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
17	X_7	70	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
17	X_8	80	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0
17	X_9	40	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
17	X_{10}	50	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
$\Delta_0 = 4080$			$\Delta_1=33$	$\Delta_2=32$	$\Delta_3=13$	$\Delta_4=32$	$\Delta_5=29$	$\Delta_6=14$	$\Delta_7=0$	$\Delta_8=0$	$\Delta_9=0$	$\Delta_{10}=0$

Останній рядок (індексний ряд) служить для розрахунків індексів Δ_j , що є характеристиками оптимальності отриманого плану. Індеси розраховуються за допомогою наступних формул:

$$\Delta_0 = \sum_{i=1}^k C_{\bar{b}i} \cdot b_{\bar{b}i} \quad (2.20)$$

$$\Delta_j = \sum_{i=1}^k C_{\bar{b}i} \cdot a_{ij} - C_j \quad (j = \overline{1, k+l}) \quad (2.21)$$

Вважається, що отримане рішення $X_{\bar{b}i}$ ($i = \overline{1, k}$) є оптимальним, якщо $\Delta_j \leq 0$ ($j = \overline{1, k+l}$).

Порахуємо значення індексів для першої СТ:

$$\Delta_0 = 17 \cdot 70 + 17 \cdot 80 + 17 \cdot 40 + 17 \cdot 50 = 4080 \text{ у.г.о.}$$

$$\Delta_1 = 17 \cdot 1 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 1 + 17 \cdot 0 - 1 = 33$$

$$\Delta_2 = 17 \cdot 1 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 1 - 2 = 32$$

$$\Delta_3 = 17 \cdot 1 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 0 - 4 = 13$$

$$\Delta_4 = 17 \cdot 0 + 17 \cdot 1 + 17 \cdot 1 + 17 \cdot 0 - 2 = 32$$

$$\Delta_5 = 17 \cdot 0 + 17 \cdot 1 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 1 - 5 = 29$$

$$\Delta_6 = 17 \cdot 0 + 17 \cdot 1 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 0 - 3 = 14$$

$$\Delta_7 = 17 \cdot 1 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 0 - 17 = 0$$

$$\Delta_8 = 17 \cdot 0 + 17 \cdot 1 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 0 - 17 = 0$$

$$\Delta_9 = 17 \cdot 0 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 1 + 17 \cdot 0 - 17 = 0$$

$$\Delta_{10} = 17 \cdot 0 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 0 + 17 \cdot 1 - 17 = 0$$

Очевидно, що базове рішення не є оптимальним, тому що всі індекси від Δ_1 до Δ_{10} позитивні, тому продовжимо поліпшення (оптимізацію) базового плану далі. У якості ключового стовпця, який містить внесену в базу вільну змінну, вибираємо стовпець X_1 , що має максимальне позитивне значення $\Delta_1 = 33$. Для визначення ключового рядка рахуємо відповідні відношення значень базових невідомих b_{oi} на не нульові значення елементів обраного ключового стовпця, а саме:

$$\frac{b_1}{a_{11}} = \frac{70}{1} = 70 \quad ; \quad \frac{b_3}{a_{31}} = \frac{40}{1} = 40 \quad \text{і вибираємо з них мінімальне, тобто друге.}$$

Тоді ключовим рядком буде третій і він містить базову змінну X_9 , що виводиться з базису. Тобто змінна ключового першого рядка базису X_9 має бути замінена на вільну змінну ключового стовпця X_1 , при цьому ключове число $a_{31} = 1$. Складаємо нову СТ (табл. 2.9).

Спочатку введемо в базис замість змінної X_9 змінну X_1 зі значенням її коефіцієнта $C_1 = 1$ і розділимо всі елементи цього рядка на ключове число $a_{31} = 1$. Після цього перерахуємо значення частини елементів таблиці, що залишилася, таким способом:

$$HE = CE - \frac{EK_p \cdot EK_{cm}}{K} \quad (2.22)$$

Таблиця 2.9 – Друга симплекс таблиця

			1	2	4	2	5	3	17	17	17	17
C_{bi}	X_{bi}	b_{bi}	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
17	X_7	30	0	1	1	-1	0	0	1	0	-1	0
17	X_8	80	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0
1	X_1	40	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
17	X_{10}	50	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
$\Delta_0 = 2760$			$\Delta_1 = 0$	$\Delta_2 = 32$	$\Delta_3 = 13$	$\Delta_4 = -1$	$\Delta_5 = 29$	$\Delta_6 = 14$	$\Delta_7 = 0$	$\Delta_8 = 0$	$\Delta_9 = -33$	$\Delta_{10} = 0$

де: HE і CE – відповідно будь-який новий елемент (a_{ij}'' або b_i'') з неключового рядка і той самий старий елемент (a_{ij} або b_i) СТ, що перетворюється;

EK_p і EK_{cm} – відповідно елементи ключового рядка і ключового стовпчика СТ, що перетворюється;

K – ключовий елемент СТ, що перетворюється (у нашому випадку для першої СТ це a_{31}).

Порахуємо як приклад по цій формулі нові значення b_1 , a_{11} і a_{12} :

$$b_1 = 70 - \frac{40 \cdot 1}{1} = 30 \quad a_{11} = 1 - \frac{1 \cdot 1}{1} = 0 \quad a_{12} = 1 - \frac{0 \cdot 1}{1} = 1.$$

Інші елементи перенесемо в нову СТ без демонстрації аналогічних детальних розрахунків. Як видно з таблиці 2.9 нове значення цільової функції дорівнює 2760 у.г.о., що значно менше попереднього її значення і, що, у свою чергу, свідчить про нормальний хід процесу оптимізації. Індексний рядок нової СТ містить позитивні елементи – це означає, що отримане значення не є оптимальним і план перевезень вимагає поліпшення. Відзначимо в СТ ключовий елемент a_{12} і опускаючи всі розрахунки по формулі 2.2 перейдемо до наступної СТ (табл. 2.10).

Із цієї СТ також видно, що процес оптимізації триває (нове значення цільової функції дорівнює 1800), але в індексному рядку ще присутні позитивні елементи – це означає, що план перевезень вимагає подальшого поліпшення. Відзначимо також у СТ ключовий елемент a_{44} і перейдемо до наступної СТ (табл. 2.11).

Таблиця 2.10 – Третя симплекс-таблиця

			1	2	4	2	5	3	17	17	17	17
$C_{\delta i}$	$X_{\delta i}$	$b_{\delta i}$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
2	X_2	30	0	1	1	-1	0	0	1	0	-1	0
17	X_8	80	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0
1	X_1	40	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
17	X_{10}	20	0	0	-1	1	1	0	-1	0	1	1
$\Delta_0 = 1800$			$\Delta_1 = 0$	$\Delta_2 = 0$	$\Delta_3 = -19$	$\Delta_4 = 31$	$\Delta_5 = 29$	$\Delta_6 = 14$	$\Delta_7 = -32$	$\Delta_8 = 0$	$\Delta_9 = -1$	$\Delta_{10} = 0$

Таблиця 2.11 – Четверта симплекс-таблиця

			1	2	4	2	5	3	17	17	17	17
$C_{\delta i}$	$X_{\delta i}$	$b_{\delta i}$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
2	X_2	50	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
17	X_8	60	0	0	1	0	0	1	1	1	-1	-1
1	X_1	20	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	-1
2	X_4	20	0	0	-1	1	1	0	-1	0	1	1
$\Delta_0 = 1180$			$\Delta_1 = 0$	$\Delta_2 = 0$	$\Delta_3 = 12$	$\Delta_4 = 0$	$\Delta_5 = -2$	$\Delta_6 = 14$	$\Delta_7 = -1$	$\Delta_8 = 0$	$\Delta_9 = -32$	$\Delta_{10} = -31$

У цій таблиці також присутні позитивні елементи в індексному рядку, тому переходимо до нового СТ із новим ключовим елементом – a_{26} (табл. 2.12).

Отримана симплекс-таблиця містить усі $\Delta_j \leq 0$, завдяки чому можна стверджувати, що отримане рішення є оптимальним, тобто: $X_1 = 20$; $X_2 = 50$; $X_3 = 0$; $X_4 = 20$; $X_5 = 0$; $X_6 = 60$; $X_7 = 0$; $X_8 = 0$; $X_9 = 0$; $X_{10} = 0$, що забезпечує $L_{\text{opt}} = 340$ у.г.о.

Таблиця 2.12 – П'ята симплекс-таблиця

			1	2	4	2	5	3	17	17	17	17
$C_{\delta i}$	$X_{\delta i}$	$b_{\delta i}$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
2	X_2	50	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
3	X_6	60	0	0	1	0	0	1	1	1	-1	-1
1	X_1	20	1	0	1	0	-1	0	1	0	0	-1
2	X_4	20	0	0	-1	1	1	0	-1	0	1	1
$\Delta_0 = 340$			$\Delta_1 = 0$	$\Delta_2 = 0$	$\Delta_3 = -2$	$\Delta_4 = 0$	$\Delta_5 = -2$	$\Delta_6 = 0$	$\Delta_7 = -15$	$\Delta_8 = -14$	$\Delta_9 = -18$	$\Delta_{10} = -17$

Слід зазначити той факт, що симплексний метод рішення загальної задачі лінійного програмування має строгу алгоритмічну основу, що дуже добре реалізується програмно.

2.4 Методи розв'язання відкритих транспортних задач

Транспортна задача, в якій сумарні запаси і потреби не збігаються, тобто не виконується умова $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$, називається відкритою. Для відкритої моделі може бути два випадки:

а) сумарні запаси перевищують сумарні потреби $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$;

б) сумарні потреби перевищують сумарні запаси $\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$.

Лінійна функція однакова в обох випадках, змінюється тільки вид системи обмежень.

Знайти мінімальне значення лінійної функції:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij} \quad (2.23)$$

при обмеженнях:

випадок а)

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, i = \overline{1, m} \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = \overline{1, n} \quad (2.24)$$

випадок б)

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = \overline{1, m} \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j, j = \overline{1, n} \quad (2.25)$$

$$x_{ij} \geq 0, (j = \overline{1, n}; i = \overline{1, m}).$$

Відкрита модель вирішується приведенням до закритої моделі.

У випадку (а), коли сумарні запаси перевищують сумарні потреби, вводиться

фіктивний споживач V_{n+1} , потреби якого $b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j$.

У випадку (б), коли сумарні потреби перевищують сумарні запаси, вводиться

фіктивний постачальник A_{m+1} , запаси якого $a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i$.

Вартість перевезення одиниці вантажу як фіктивного споживача, так і вартість перевезення одиниці вантажу від фіктивного постачальника вважають рівними нулю, тому що вантаж в обох випадках не перевозиться.

Після перетворень задача приймає вид закритої моделі і вирішується звичайному способом. При рівних вартостях перевезення одиниці вантажу від постачальників до фіктивного споживача витрати на перевезення вантажу реальним споживачам мінімальні, а фіктивному споживачеві буде спрямований вантаж від найменш вигідних постачальників. Те ж саме одержуємо й у відношенні фіктивного постачальника.

Перш ніж вирішувати яку-небудь транспортну задачу, необхідно спочатку перевірити, до якої моделі вона належить, і тільки після цього скласти таблицю для її рішення.

2.4.1 Метод фіктивного вузла

Якщо справедлива умова

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j \quad (2.26)$$

то:

- вводиться фіктивний пункт споживання B_{n+1} з обсягом споживання:

$$b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j \quad (2.27)$$

- транспортні витрати $c_{i,n+1} = 0$ для $i = \overline{1, m}$;

- система обмежень

$$\sum X_{ij} \leq A_i, \quad i = \overline{1, m} \quad (2.28)$$

$$\sum X_{ij} \leq B_j, \quad j = \overline{1, n} \quad (2.29)$$

матиме вигляд:

$$\sum_{j=1}^{n+1} x_{ij} = a_i \quad (2.30)$$

цільова функція дорівнює:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n+1} c_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min \quad (2.31)$$

Якщо справедлива умова

$$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j \quad (2.32)$$

то:

- вводиться фіктивний пункт виробництва A_{m+1} з обсягом виробництва:

$$a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i \quad (2.33)$$

- транспортні витрати $c_{m+1,j} = 0$ для $j = \overline{1, n}$;

система обмежень (2.23) і (2.24) матиме вигляд:

$$\sum_{i=1}^{m+1} x_{ij} = b_j \quad (2.34)$$

цільова функція дорівнює

$$Z = \sum_{i=1}^{m+1} \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min \quad (2.35)$$

Після введення фіктивного постачальника або споживача, незбалансована транспортна задача стає збалансованою, яка задовольнятиме системі обмежень (2.37) і (2.38), і умові балансу:

$$\sum A_i = \sum B_j, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n} \quad (2.36)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^{n+1} b_j \quad (2.37)$$

$$\sum_{i=1}^{m+1} a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (2.38)$$

2.4.2 Різницевий метод

Існують два найбільш відомі методи зведення відкритих ТЗ до збалансованого виду:

- введення додаткового (фіктивного) пункту відправлення (ПВ) (призначення) вантажу;
- зменшення обсягу попиту (пропозиції) на величину невідповідності в одного з пунктів призначення (ПП).

Перший метод має два випадки використання:

а) якщо $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$, тобто пропозиція перевищує попит. При цьому

потреба фіктивного ПП B_{n+1} складає $b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j$;

б) якщо $\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$ - тобто попит перевищує пропозицію. У цьому

випадку запаси фіктивного ПО складають $a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i$. При цьому в

матриці вартостей з'являється, відповідно, додатковий стовпець або рядок, які означають нульові вартості перевезень. ТЗ стає збалансованою, але при цьому частково або цілком не вивозиться вантаж в окремих ПВ при введенні додаткового ПП або також частково або цілком не задовольняються заявки на одержання вантажу деякими ПП при введенні додаткового ПВ.

Використовуючи другий метод – різницевий метод, для приведення ТЗ до збалансованого виду, модуль різниці $\left| \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i \right|$ віднімається у ПП (при

$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$), від попиту, що має найбільше значення, або у ПВ (при $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$

), від пропозиції, що має найбільше значення. Цей метод неможливо використати в тому випадку, коли найбільше значення попиту (пропозиції)

менше модуля різниці $\left| \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i \right|$, який віднімається.

Застосування першого з методів найчастіше не задовольняє заявки окремих замовників вантажів, особливо розташованих на значному видаленні від ПВ. При використанні другого методу в невідгідному положенні також виявляються найбільш віддалені склади.

З метою зняття цих двох істотних недоліків, пропонується новий метод зведення відкритої ТЗ до збалансованого виду, а саме коефіцієнтний метод балансування ТЗ або пропорційно – різницевий метод.

2.4.3 Пропорційно-різницевий метод

В основі цього методу закладене пропорційне обсягам заявок (запасів) зменшення попиту (пропозиції) вантажів усіх без винятку ПП або ПВ.

У випадку перевищення запасів вантажу над його попитом, розраховується коефіцієнт зменшення обсягів пропозиції:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j}{\sum_{i=1}^m a_i} \quad (2.39)$$

Після чого обсяги пропозиції вантажів усіх ПВ ($i=1, m$) зменшуються до величин $a_i^* = (1-k) * a_i$ і задача стає збалансованою з тими ж обсягами заявок b_j ($j=1, n$) і тією же розмірністю ТЗ.

При перевищенні ж попиту на вантаж над його пропозицією, розраховується відповідний коефіцієнт зменшення обсягів заявок усіх ПП ($j=1, n$) по формулі (2.23). Ці обсяги заявок зменшуються до величин $b_j^* = (1-k) * b_j$ і ТЗ стає збалансованою з тими ж обсягами запасів a_i ($i=1, m$) і тією же розмірністю.

$$k = \frac{\sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i}{\sum_{j=1}^n b_j} \quad (2.40)$$

2.5 Порівняльний аналіз методів розв'язання відкритих транспортних задач

Як приклад розглянемо ТЗ у вигляді трьох заводів, що випускають продукцію, яка розподіляється по чотирьох складах. Також задані витрати на перевезення одиниці продукції від кожного заводу до кожного складу (табл. 2.13). Необхідно мінімізувати транспортні витрати з умовою того, що продукції

Для порівняння приведемо розрахунок транспортних перевезень симплекс методом:

Таблиця 2.17 – Матриця перевезень симплекс-методу

				Склади			
				№1	№2	№3	№4
				Об'єми заявок			
				20	50	40	60
Заводи	№1	Об'єми поставок	80		10	40	30
	№2		10		10		
	№3		50	20	30		
Транспортні витрати на перевезення							790

Приведені вище теоретичні дослідження існуючих методів зведення відкритих ТЗ до збалансованого виду і засновані на них експериментальні дані, отримані за допомогою розробленого програмного комплексу оптимізації транспортних перевезень, дозволяють зробити наступні висновки:

- по-перше, оптимізацію транспортних перевезень доцільно робити тільки на збалансованій ТЗ;
- по-друге, метод пропорційного зменшення обсягів попиту (пропозиції) вантажу в учасників перевізного процесу крім його “справедливості”, що виявляється при перерозподілі обсягів перевезень, і практично необмеженості застосування, показує непоганий економічний ефект;
- по-третє, більшість відомих стандартних методів оптимізації транспортних перевезень (розподільний метод, метод потенціалів, метод диференціальних рент та ін.) взагалі працюють тільки з закритими ТЗ;
- по-четверте, метод коефіцієнтів приведення відкритих ТЗ до збалансованого виду також застосовується і до мережових ТЗ, являючись

обов'язковим підготовчим (попереднім) етапом перед наступним застосуванням процедури оптимальної маршрутизації [87].

– по-п'яте, симплекс метод являється основним методом лінійного програмування і також може бути використаний для розв'язання відкритих транспортних задач. Практичне застосування показало непогані економічні результати.

Висновки до розділу 2

В другому розділі було введено поняття відкритої транспортної задачі, що являє собою два види:

- сумарні запаси перевищують сумарні потреби $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$;
- сумарні потреби перевищують сумарні запаси $\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$.

Обидва види відкритих транспортних задач об'єднані і для рішення обраних умов ТЗ використовувався комбінаторний метод рішення.

Розроблено метод раціонального балансування обсягів постачань і замовлень вантажів в транспортних мережах. Метод відмінний від відомих тим, що зменшення обсягу попиту (пропозиції) на величину невідповідності попиту-пропозиції (пропозиції-попиту) проводиться не тільки у пунктах постачання або пунктах споживання, які мають найбільше значення попиту (пропозиції), а в усіх учасників перевізного процесу по черзі, що дозволяє отримати більш дешевший план перевезень, ніж при застосуванні класичного різницевого методу. Запропонована також методика застосування симплексного методу для розв'язання задач раціональної організації автомобільних вантажних перевезень в умовах незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів, що підвищує ефективність використання удосконаленого симплексного методу на 10-15 % у разі перевищення пропозиції вантажу над його попитом.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ МІЖНАРОДНИМИ ВАНТАЖНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

3.1 Теоретичні засади знаходження основних характеристик транспортних мереж

3.1.1 Задача про найкоротший шлях на транспортній мережі

Потрібно знайти найкоротші шляхи на транспортній мережі (ТМ) від транспортного вузла (ТВ) *1* (ТВ-джерело) до всіх інших (рис. 3.1). Нехай на всіх ділянках цієї ТМ допустимий двосторонній рух, а їхня довжина в обох напрямках однакова.

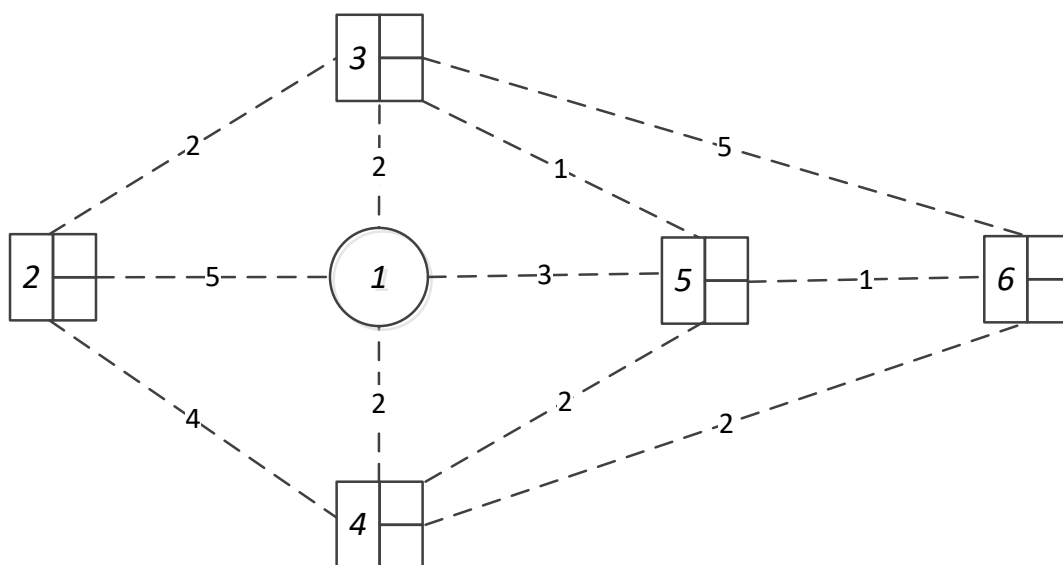


Рисунок 3.1 – Вихідна транспортна мережа

Спочатку проставимо у суміжних з ТВ *1* транспортних вузлах (а їх в нашому випадку 4 – 2, 3, 4 і 5) відстані до них і його номер – тобто *1* (рис. 3.2). Тобто в цьому випадку чисельник дробі означає відстань, а знаменник – номер ТВ, з якого ця відстань вимірюється. Розрахунок цих відстаней наведений на рис. 2 на стрілках.

Далі вибираємо з отриманих відстаней найкоротшу – це 2. Слід зазначити, що у нашому випадку ми маємо дві таких відстані. Вони належать, відповідно, ділянкам $1 - 3$ і $1 - 4$ ТМ. Вибираємо довільним способом одну з них, наприклад $1 - 3$. Починаючи з ТВ, яким закінчується ця ділянка (а це 3), знову проставимо у суміжних з цим ТВ транспортних вузлах відстань до них від ТВ-джерела і його номер (рис. 3.3).

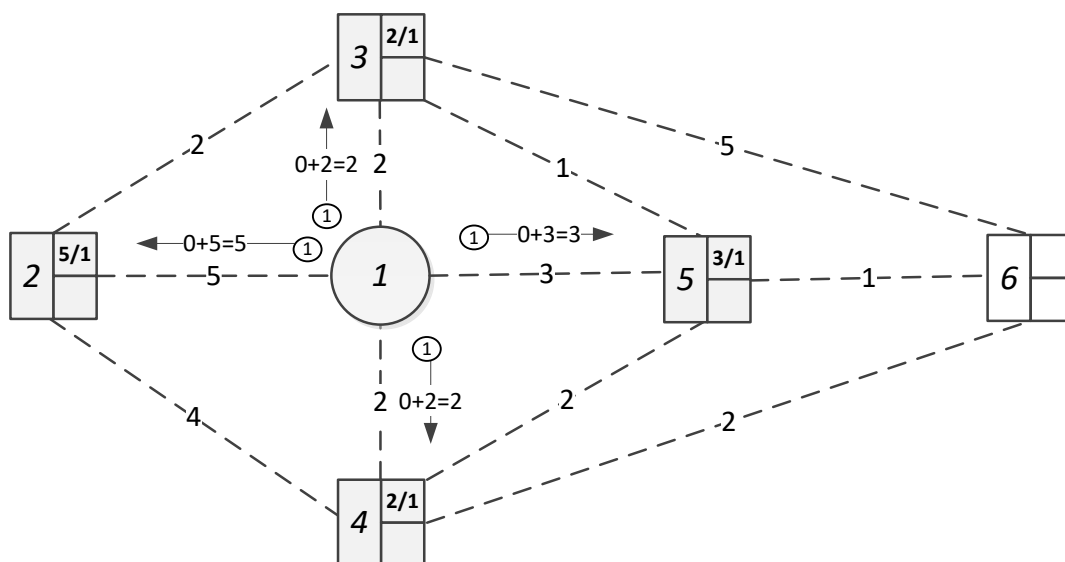


Рисунок 3.2 – 1-й крок знаходження найкоротших шляхів на ТМ

Розрахунок цих відстаней наведений на рис. 3.3 на стрілках. Причому в результаті цих розрахунків могли виникнути такі випадки:

- 1) отримане значення відстані вноситься вперше в ТВ – на порожнє місце (у випадку з ділянкою $3 - 6$);
- 2) отримане значення відстані менше того, що проставлено в ТВ – воно вноситься замість існуючого в порожню клітинку ТВ (у випадку з ділянкою $3 - 2$);
- 3) отримане значення відстані дорівнює або більше того, що проставлено в ТВ – воно не вноситься в ТВ (у випадку з ділянкою $3 - 5$).

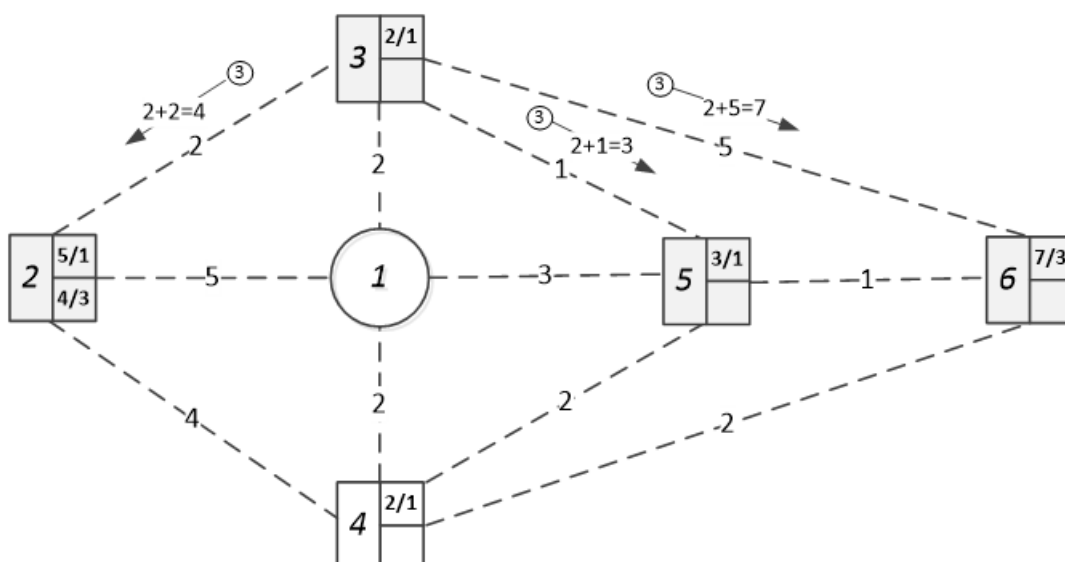


Рисунок 3.3 – 2-й крок знаходження найкоротших шляхів на ТМ

На наступному 3-ому кроці знаходимо серед ТВ, які не були задіяні на попередніх двох, а саме – **2**, **4**, **5** і **6**, того, відстань до якого від ТВ-джерела найменша. Таким ТВ виявився ТВ з номером **4**.

Знову проставимо у суміжних з цим ТВ транспортних вузлах відстань до них від ТВ-джерела і його номер (рис. 3.4). Розрахунок цих відстаней наведений на рис. 4 на стрілках. Причому в результаті цих розрахунків могли виникнути такі випадки:

1) отримане значення відстані менше того, що проставлено в ТВ – воно вноситься замість існуючого в порожню клітинку ТВ (у випадку з ділянкою **4 – 6**);

2) отримане значення відстані більш того, що проставлено в ТВ – воно не вноситься в ТВ (у випадках з ділянкою **4 – 2** та **4 – 5**).

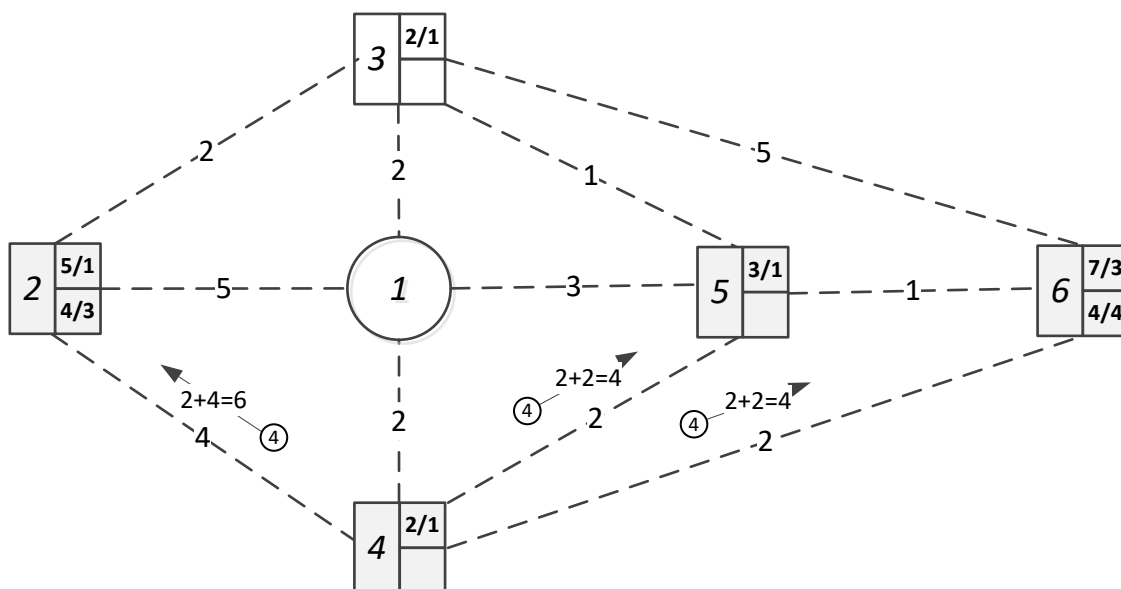


Рисунок 3.4 – 3-й крок знаходження найкоротших шляхів на ТМ

Зробимо розрахунок по знаходженню найкоротших шляхів на ТМ для останній вільній ділянки – **5 – 6**. Цей розрахунок представлений на рис. 3.5 на стрілці і свідчить про те, що отримане значення відстані дорівнює тому, що проставлено в ТВ – воно не вноситься в ТВ.

На підставі інформації, яка представлена на рис. 3.5 побудуємо найкоротші маршрути від ТВ-джерела до всіх інших ТВ ТМ, а саме:

$$\begin{array}{lll}
 \begin{array}{c} 2 \quad 2 \\ 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 = 4 \end{array} & \begin{array}{c} 2 \\ 1 \rightarrow 3 = 2 \end{array} & \begin{array}{c} 2 \\ 1 \rightarrow 4 = 2 \end{array} \\
 \begin{array}{c} 3 \\ 1 \rightarrow 5 = 3 \end{array} & \begin{array}{c} 2 \quad 2 \\ 1 \rightarrow 4 \rightarrow 6 = 4 \end{array} &
 \end{array}$$

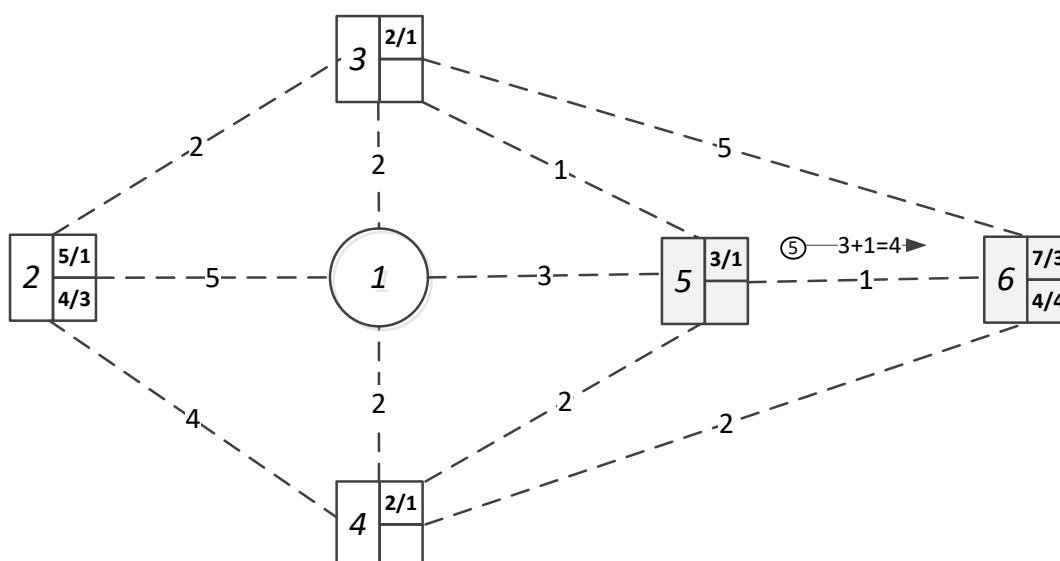


Рисунок 3.5 – 4-й крок знаходження найкоротших шляхів на ТМ

3.1.2 Задача про максимальний потік у транспортній мережі

Потрібно знайти на транспортній мережі (ТМ) максимальний потік від транспортного вузла (ТВ) **1** (джерело) до ТВ **6** (стік) (рис. 3.6).

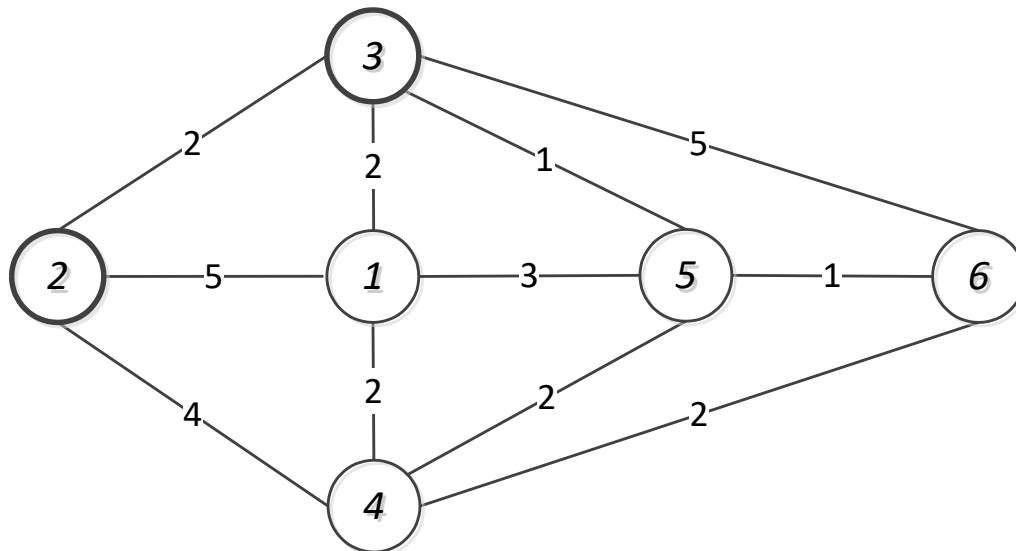


Рисунок 3.6 – ТМ з вузлом-джерелом і вузлом-стоком

Нехай на ділянках ТМ допустимий двосторонній рух, а їх пропускна здатність в обох напрямках однакова. Вся мережа доволіно розбивається на два дерева. В одному з них знаходяться ТВ **1** (джерело), а в іншому – ТВ **6** (стік). Одне дерево складається з чотирьох ребер 1–2, 1–3, 1–4 і 3–5 (відповідно до цього дерева відносяться також ТВ **2**, **3**, **4** та **5**); друге – з одного ТВ **6** (рис. 3.7).

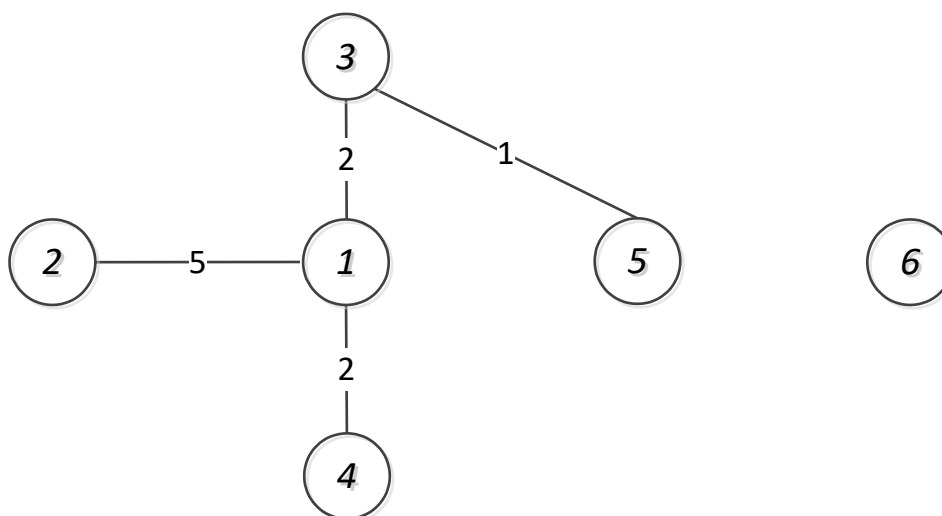


Рисунок 3.7 – Початкове розбиття ТМ на 2 дерева

Спочатку потік між ТВ **1** і **6** дорівнюватиме нулю (тому що між ними немає зв'язку). Потім дерева з'єднують дугою $5 \rightarrow 6$, показаною пунктирною лінією. У зв'язку з цим від ТВ **1** до ТВ **6** можна пропустити потік θ_1 , рівний мінімальній пропускній здатності однієї з дуг, а саме: $1 \rightarrow 3$, $3 \rightarrow 5$ або $5 \rightarrow 6$. На рис. 3.8_а) ділянок з мінімальною пропускною здатністю у 1 одиницю дві – $3-5$ і $5-6$ (тобто $\theta_1=1$). Тому пропускаємо потік, рівний 1, за маршрутом $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6$. Після цього одну з ділянок з мінімальною пропускною здатністю, наприклад $5-6$, вилучаємо з розгляду, позначаючи цю дію двома рисками на рис. 3.8_б).

Мережа на рис. 3.8_б) знову розірвалася на два дерева. До першого входять ТВ **1, 2, 3, 4, 5**, а до другого – ТВ **6**. З'єднаємо їх дугою $4 \rightarrow 6$, по якій можна пропустити додатковий потік θ_2 . Його розмір, обумовлений мінімальною пропускною здатністю ділянок маршруту $1 \rightarrow 4 \rightarrow 6$, тобто θ_2 дорівнює 2. Пропускаємо цей потік по ТМ і вилучаємо з розгляду ділянку $4-6$, позначаючи цю дію двома рисками на рис 3.8_в).

На рис. 3.8_в) аналогічним способом (з'єднавши дугою $3 \rightarrow 6$ дерево з ТВ **1, 2, 3, 4, 5** і дерево з ТВ **6**) пропускаємо потік $\theta_3 = 1$ по ділянкам $1 \rightarrow 3 \rightarrow 6$ і вилучаємо з подальшого розгляду ділянку $1 \rightarrow 3$, як ділянку з мінімальною пропускною здатністю, позначаючи цю дію двома рисками на рис. 3.8_г).

На рис. 3.8_г) мережа складається із двох дерев: з ТВ **1, 2, 4** і з ТВ **3, 5, 6**. Ці два дерева з'єднуємо дугою $1 \rightarrow 5$ і визначаємо додатковий потік θ_4 , який можна пропустити від ТВ **1** до ТВ **6** за маршрутом $1 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 6$. Проте на ділянці $5 \rightarrow 3$ він піде назустріч наявному потоку $3 \rightarrow 5$ величиною в 1, тому його величину треба відняти від величини цього наявного потоку, тобто $1 - \theta_4$. Потік θ_4 дорівнює 1, тому що мінімальна пропускна здатність маршруту $1 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 6$ складає 1 (зокрема: на ділянці $1 \rightarrow 5$ це 3; на ділянці $5 \rightarrow 3$ це 1; на ділянці $3 \rightarrow 6$ це 4). Таким чином на ділянці $3 \rightarrow 5$ потік буде дорівнювати нулю.

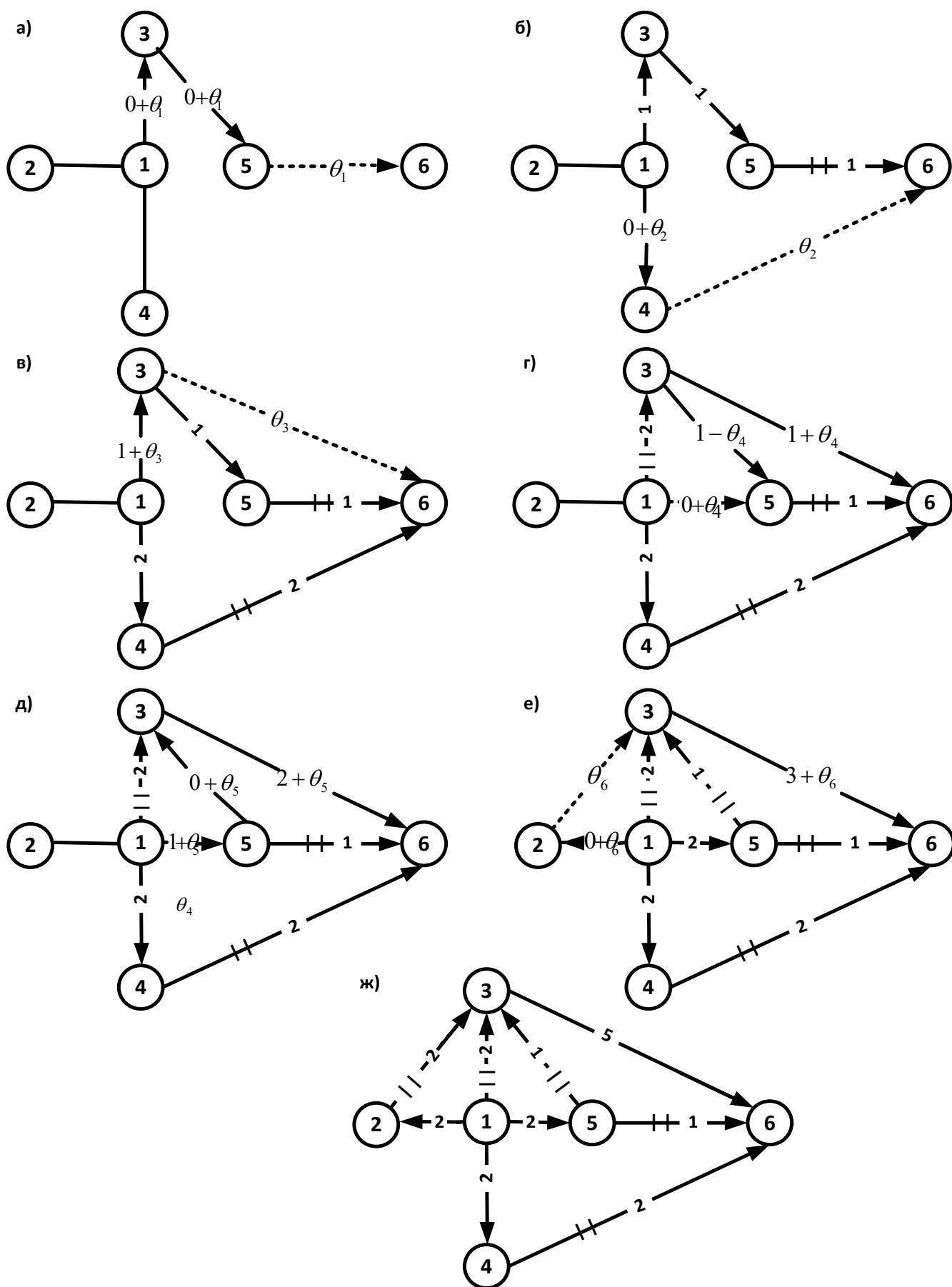


Рисунок 3.8 – Приклад знаходження на ТМ методом дерев максимального потоку

На тому ж самому рис. 3.8_е) показаний додатковий потік θ_6 на маршруті $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 6$, рівний 2 (при цьому вилучаємо з подальшого розгляду ділянку $2 \rightarrow 3$, як ділянку з мінімальною пропускною здатністю, позначаючи цю дію двома рисками на рис. 3.8_ж)).

І в кінці, на рис. 3.8_ж) представлений максимальний потік на всій мережі від джерела (ТВ 1) до стіка (ТВ 6), рівний 8. Ділянки, які перекреслені двома рисками визначають ділянки ТМ, пропускна здатність яких повністю використана. Слід зазначити, що до них треба додати ще ділянки $1 \rightarrow 4$ і $3 \rightarrow 6$, які також задовольняють описаної вище умові.

Цей метод можна поширити і на задачу з кількома джерелами і стоками, по суті мережеву транспортну задачу. Для цього досить побудувати фіктивне джерело й з'єднати його ділянками з вузлами відправлення вантажу. Пропускною здатністю цих ділянок буде величина відправлення вантажу з кожного ТВ. Аналогічні дії можна виконувати і з ТВ прибуття.

3.1.3 Мережева транспортна задача

На рис. 3.9 зображена транспортна мережа з 6 транспортними вузлами (вершинами) і 11 транспортними шляхами (дугами). Поруч із відповідною вершиною у дужках числом зі знаком плюс показаний обсяг виробництва, а обсяг споживання, відповідно, числом зі знаком мінус. Вартість перевезення вантажу і пропускна здатність вписана в кожну дугу у якості дробу, чисельником якої виступає вартість, а пропускною здатністю – знаменник. Дуга 4 – 6 не має обмежень на пропускну здатність, тому у знаменнику дроби цієї дуги проставлено свідомо велике значення – у нашому випадку 100.

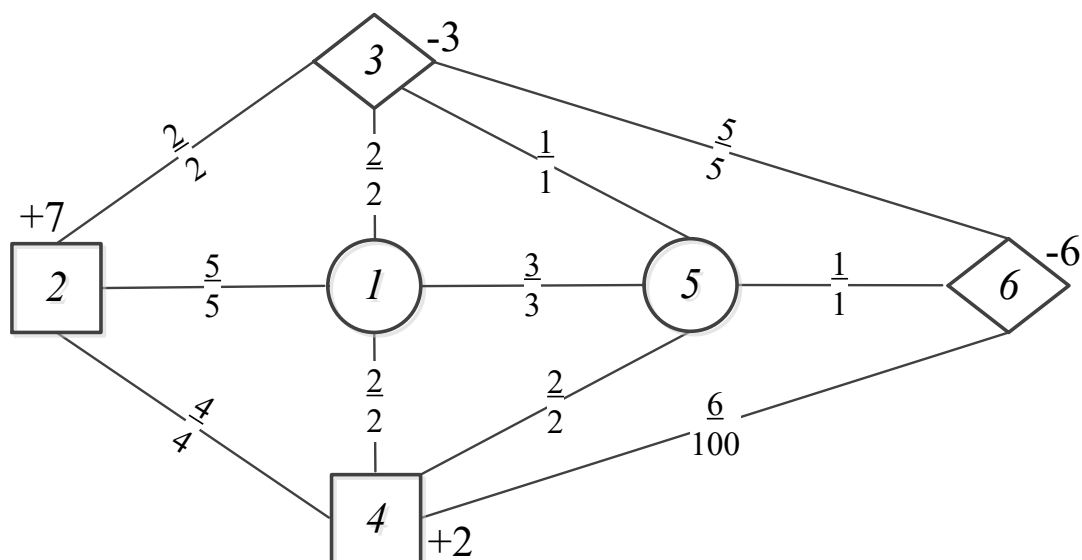


Рисунок 3.9 – Приклад ТМ з обмеженнями на пропускні здатності

Розглянемо знаходження оптимального плану перевезень вантажу методом Вагнера Ш.М. Спочатку у таблиці 3.1 покажемо результати зведення вихідних даних транспортної мережі до матричної форми.

Для дуг тут відведені рядки, а для вершин стовпці. Пропускні здатності кожної дуги так само як і вартості перевезення одиниці вантажу на ній беремо безпосередньо з рисунку 3.9. Там, де на мережі немає безпосереднього зв'язку між вершинами, передбачається їхнє блокування свідомо більшим числом – у таблиці 1 це 99. Відсутність петель у кожного транспортного вузла моделюється нулем.

У нашому прикладі обсяги виробництва дорівнюють пропускній здатності дуги, тобто $a_i = d_{ij}$. Для дуг, де пропускна здатність необмежена, зокрема для дуг 4 – 6 і 6 – 4, вона відповідатиме (у нашому прикладі) числу – 100.

Обсяг споживання для виробляючих вершин (2, 4) мережі визначають за формулою:

$$b_j = \sum_{j \neq i} d_{ij} - a(x), \quad (3.1)$$

для вершин, які споживають вантаж (3, 6) за формулою:

$$b_j = \sum_{j \neq i} d_{ij} + b(x), \quad (3.2)$$

для транзитних вершин (1, 5) за формулою:

$$b_j = \sum_{j \neq i} d_{ij}. \quad (3.3)$$

Таблиця 3.1 – Зведення мережевої задачі до матричної форми методом Вагнера

		1	2	3	4	5	6
Дуги	Пропускні здатності (обсяги виробництва)	Витрати на перевезення одиниці					
1 – 2	5	0	5	99	99	99	99
2 – 1	5	5	0	99	99	99	99
1 – 3	2	0	99	2	99	99	99
3 – 1	2	2	99	0	99	99	99
1 – 4	2	0	99	99	2	99	99
4 – 1	2	2	99	99	0	99	99
1 – 5	3	0	99	99	99	3	99
5 – 1	3	3	99	99	99	0	99
2 – 3	2	99	0	2	99	99	99
3 – 2	2	99	2	0	99	99	99
2 – 4	4	99	0	99	4	99	99
4 – 2	4	99	4	99	0	99	99
3 – 5	1	99	99	0	99	1	99
5 – 3	1	99	99	1	99	0	99
3 – 6	5	99	99	0	99	99	5
6 – 3	5	99	99	5	99	99	0
4 – 5	2	99	99	99	0	2	99
5 – 4	2	99	99	99	2	0	99
4 – 6	100	99	99	99	0	99	6
6 – 4	100	99	99	99	6	99	0
5 – 6	1	99	99	99	99	0	1
6 – 5	1	99	99	99	99	1	0

Таким чином, для виробляючій вершини **2** обсяг споживання дорівнює $2 + 5 + 4 - 7 = 4$, для споживаючій вершини **6** – $5 + 1 + 100 + 6 = 112$, а для транзитній

вершини $1 - 5 + 2 + 3 + 2 = 12$.

На рисунку 3.10 представлений результат розв’язання поставленої задачі у середовищі *Excel*, поданий у вигляді виділених знаком підкреслення значень, а на рисунку 3.11 – діалогове вікно параметрів пошуку цього рішення. У клітинках з вартістю, рівною нулю (тобто для петель), потік є доповненням до пропускної здатності, тобто фіктивним.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2			1	2	3	4	5	6				Обсяги перевезень по вершинам					
3	Дуги	Пропускні здатності (обсяги виробництва)	Витрати на перевезення одиниці вантажу							Дуги	Усього	1	2	3	4	5	6
4	1 - 2	5	0	5	99	99	99	99		1 - 2	5	5	0	0	0	0	0
5	2 - 1	5	5	0	99	99	99	99		2 - 1	5	1	4	0	0	0	0
6	1 - 3	2	0	99	2	99	99	99		1 - 3	2	1	0	1	0	0	0
7	3 - 1	2	2	99	0	99	99	99		3 - 1	2	0	0	2	0	0	0
8	1 - 4	2	0	99	99	2	99	99		1 - 4	2	2	0	0	0	0	0
9	4 - 1	2	2	99	99	0	99	99		4 - 1	2	0	0	0	2	0	0
10	1 - 5	3	0	99	99	99	3	99		1 - 5	3	3	0	0	0	0	0
11	5 - 1	3	3	99	99	99	0	99		5 - 1	3	0	0	0	0	3	0
12	2 - 3	2	99	0	2	99	99	99		2 - 3	2	0	0	2	0	0	0
13	3 - 2	2	99	2	0	99	99	99		3 - 2	2	0	0	2	0	0	0
14	2 - 4	4	99	0	99	4	99	99		2 - 4	4	0	0	0	4	0	0
15	4 - 2	4	99	4	99	0	99	99		4 - 2	4	0	0	0	4	0	0
16	3 - 5	1	99	99	0	99	1	99		3 - 5	1	0	0	1	0	0	0
17	5 - 3	1	99	99	1	99	0	99		5 - 3	1	0	0	0	0	1	0
18	3 - 6	5	99	99	0	99	99	5		3 - 6	5	0	0	5	0	0	0
19	6 - 3	5	99	99	5	99	99	0		6 - 3	5	0	0	0	0	0	5
20	4 - 5	2	99	99	99	0	2	99		4 - 5	2	0	0	0	1	1	0
21	5 - 4	2	99	99	99	2	0	99		5 - 4	2	0	0	0	0	2	0
22	4 - 6	100	99	99	99	0	99	6		4 - 6	100	0	0	0	95	0	5
23	6 - 4	100	99	99	99	6	99	0		6 - 4	100	0	0	0	0	0	100
24	5 - 6	1	99	99	99	99	0	1		5 - 6	1	0	0	0	0	0	1
25	6 - 5	1	99	99	99	99	1	0		6 - 5	1	0	0	0	0	0	1
26			5	0	6	16	2	31									
27										Усього		12	4	13	106	7	112
28	Витрати на перевезення		60														
29										Споживання		12	4	13	106	7	112

Рисунок 3.10 – Розв’язання мережевої ТЗ з обмеженнями на пропускні здатності за допомогою Excel-таблиці

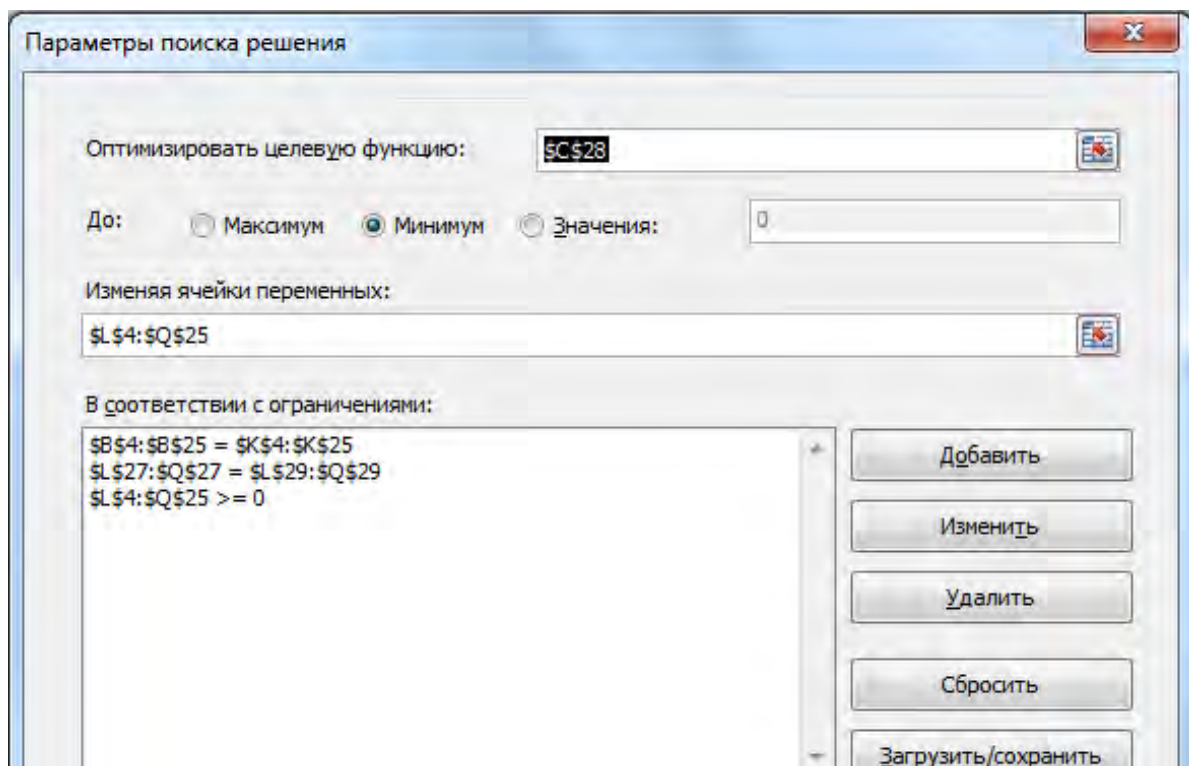


Рисунок 3.11 – Діалогове вікно параметрів пошуку рішення мережевої ТЗ

На рисунку 3.12 показано остаточний результат розв'язання задачі – оптимальний план перевезень вантажу у вигляді потоків вантажів на ТМ

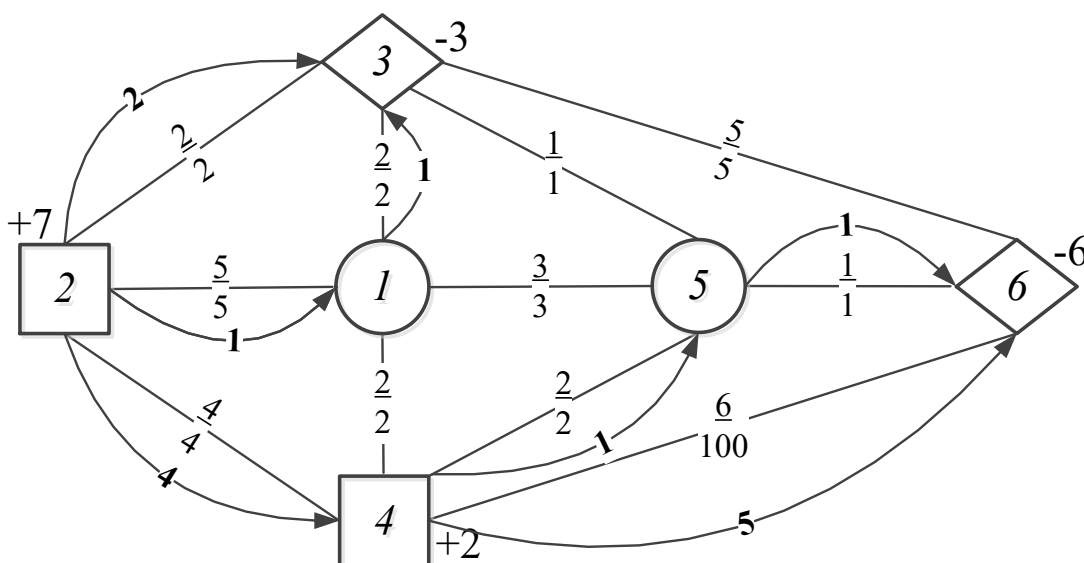


Рисунок 3.12 – Оптимальний план перевезень вантажу на ТМ
у вигляді потоків вантажів

3.2 Рішення задач управління вантажними перевезеннями за допомогою електронних таблиць

Використання сучасних комп'ютерних технологій дозволяє використовувати економіко-математичні методи для рішення транспортних задач за допомогою досить поширеного класу програм – електронних таблиць.

Проведемо дослідження щодо використання стандартної функції “Пошук рішення” програми MS Excel для визначення вартості перевезень вантажів [93, 94]. На рис. 3.13 та рис. 3.14 показано постановка класичної ТЗ та її рішення.

Microsoft Excel - Transzad

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

W1

А В С D E F G H I J K L N

1 **Решение классической транспортной задачи**

2 **Постановка задачи**

3 Необходимо разработать план перевозок для распределения продукции между

4 предприятиями и складами при производстве, включающем несколько предприятий и складов

5 Требуется минимизировать затраты на перевозку товаров от предприятий-производителей на торговые

6 склады. При этом необходимо учесть возможности поставок каждого из производителей при максималь-

7 ном удовлетворении запросов потребителей. Так же требуется определить объемы перевозок между

8 каждым заводом и складом.

9 Для решения транспортных задач необходима следующая информация:

10 1) Планируемый выпуск продукции на каждом предприятии;

11 2) Прогнозируемый спрос каждого склада;

12 3) Транспортные затраты, связанные с перевозками продукции с каждого предприятия на любой склад.

13 **Ограничения**

14 В этой модели представлена задача доставки товаров с пяти заводов на пять региональных складов

15 Товары могут доставляться с любого завода на любой склад, однако, очевидно, что стоимость

16 доставки на большее расстояние будет большей.

17 Затраты производства единицы продукции одинаковы на всех предприятиях.

18 Планируемый выпуск продукции равен или больше прогнозируемого спроса.

19

20 **Параметры задачи**

22

Результат	B25	Цель - уменьшение всех транспортных расходов
Изменяемые даннь	C5:G9	Объемы перевозок от каждого из заводов к каждому складу
Ограничения	B5:B19 <= B18:B22	Количества перевезенных грузов не могут превышать производственных возможностей заводов.
	C11:G11 >= C13:G13	Количество доставляемых грузов не должно быть меньше потребностей складов.
	C5:G19 >= 0	Число перевозок не может быть отрицательным.

24

25

27

28

30

31

33

35

37

38

39

Рисунок 3.13 – Постановка класичної транспортної задачі

За результатами проведених розрахунків можна зробити певні висновки: використання функції “Пошук рішення” програми Excel дає змогу визначити оптимальний план перевезення вантажів методом перебору тільки для такої задачі перевезень вантажів, що не враховує шляхів перевезень та інших обмежень постачання вантажів, зокрема незбалансованості. І якщо задачу потрібно ускладнити, то доцільно, або доопрацювати програмний продукт, або використати для оптимізації інші алгоритми.

Microsoft Excel - Transzad

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

100% Arial Cyr 11 Ж К

Р24

Заводы:		Всего	Число перевозок от завода x к складу у:				
			№1	№2	№3	№4	№5
Конотоп	280						280
Сумы	230				230		
Нежин	120					120	
Чернигов	110				50	30	30
Киев	280		120	150		10	
Итого:			120	150	280	160	310
Потребности складов ---			120	150	280	160	310
Суммарные потребности всех складов ---							1020

Заводы:	Поставки	Затраты на перевозку по складам:				
Конотоп	280	10	8	6	5	4
Сумы	230	6	5	4	6	6
Нежин	120	11	6	7	8	9
Чернигов	110	4	6	5	6	4
Киев	280	3	4	5	5	9
Сумма поставок	1020					

Перевозка:	\$4 560	\$360	\$600	\$1 170	\$1 190	\$1 240
------------	---------	-------	-------	---------	---------	---------

Цветовые обозначения

- Результат
- Изменяемые данные
- Ограничения

Рисунок 3.14 – Рішення класичної транспортної задачі в Excel

Розглянемо методи розв’язання мережевих ТЗ у середовищі Excel [95-88].

Як відомо з теорії, граф $G(V, S)$ задається множиною V вузлів (позначених, наприклад, $x_1, x_2, \dots, x_n$, де величина x_i є числом чи назвою) і множиною S дуг у вигляді впорядкованих пар (x_i, x_j) . Граф може бути орієнтованим, якщо дуги мають напрямки, неорієнтованим чи змішаним. Наявність дуги на графі свідчить лише про

зв'язок між вузлами.

Орієнтований граф називають мережею (*network*), де визначається:

- вузол-джерело, що має тільки вихідні дуги (позначається буквою *s*, від *source* – джерело);
- вузол-стік, що має тільки входні дуги (позначається буквою *t*, від *terminal* – кінцевий пункт);
- всі інші вузли – проміжні (транзитні), з'єднані між собою дугами, серед яких є і входні, і вихідні дуги.

Орієнтовані дуги у мережі позначаються стрілками, неорієнтована дуга замінюється двома спрямованими назустріч стрілками. Дуга зі стрілкою і певним значенням відповідного параметру (це може бути: пропускна здатність каналу, відстань між парою вузлів, вартість або час перевезення тощо) визначає універсальне поняття – потік (*flow*), який рухається з початкового вузла дуги до кінцевого. Об'єктами потоків у практичних задачах є вантажі, газ, пасажери, транспортні засоби, сигнали зв'язку, рідини тощо.

Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (*network flow problems*). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є *принцип збереження потоку* в будь-якому вузлу, а саме – сума потоків $F_{вих}(x)$ на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході: $F_{вх}(x) + \text{потенціал } p(x)$ вузла (+ пропозиція/– попит), наприклад (рис. 3.15):

- вузол-джерело *s*: $F_{вих}(s) = 0 + p(s) = P$, де: P – величина загального потоку в мережі; потенціал $p(s) = +P$;
- вузол-стік *t*: $F_{вих}(t) = P + p(t) = 0$, тому що потенціал $p(t) = -P$;
- проміжний вузол *x*: $F_{вих}(x) = F_{вх}(x) \pm p(x)$.

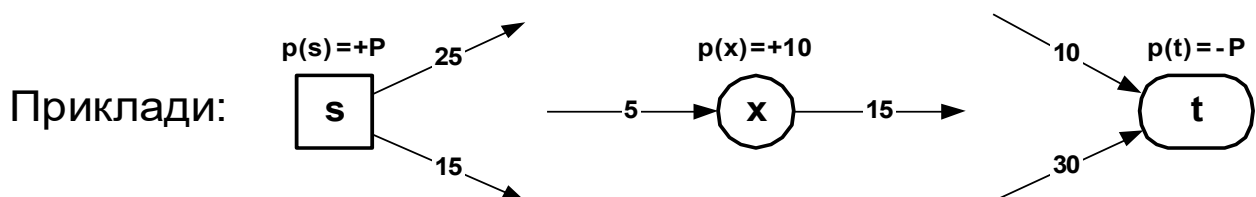


Рисунок 3.15 – Приклади позначення вузлів на графі

Потік у кожному вузлі мережі – це функція, яка задовольняє лінійні рівняння і нерівності, де на кожній дузі (x_i, x_j) мережі поставлено одне чи кілька позитивних чисел. Наприклад, величина $c(x_i, x_j)$ в задачі про максимальний потік є пропускною здатністю дуги (максимальна кількість продукту, яку можна доставити з вузла x_i до вузла x_j цією дугою за одиницю часу), у ТЗ – це відстань чи вартість перевезення. Отже величина потоку по дузі (x_i, x_j) не перевищує пропускної здатності цієї дуги $c(x_i, x_j)$, якщо вона зазначена.

3.2.1 Задача про найкоротший шлях на транспортній мережі

Класичними задачами на графах є задачі побудови найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами – s (джерелом) і t (стоком). Розглянемо розв’язання цієї задачі на конкретному прикладі, карту для якого взято з електронного атласу України (рис. 3.16).

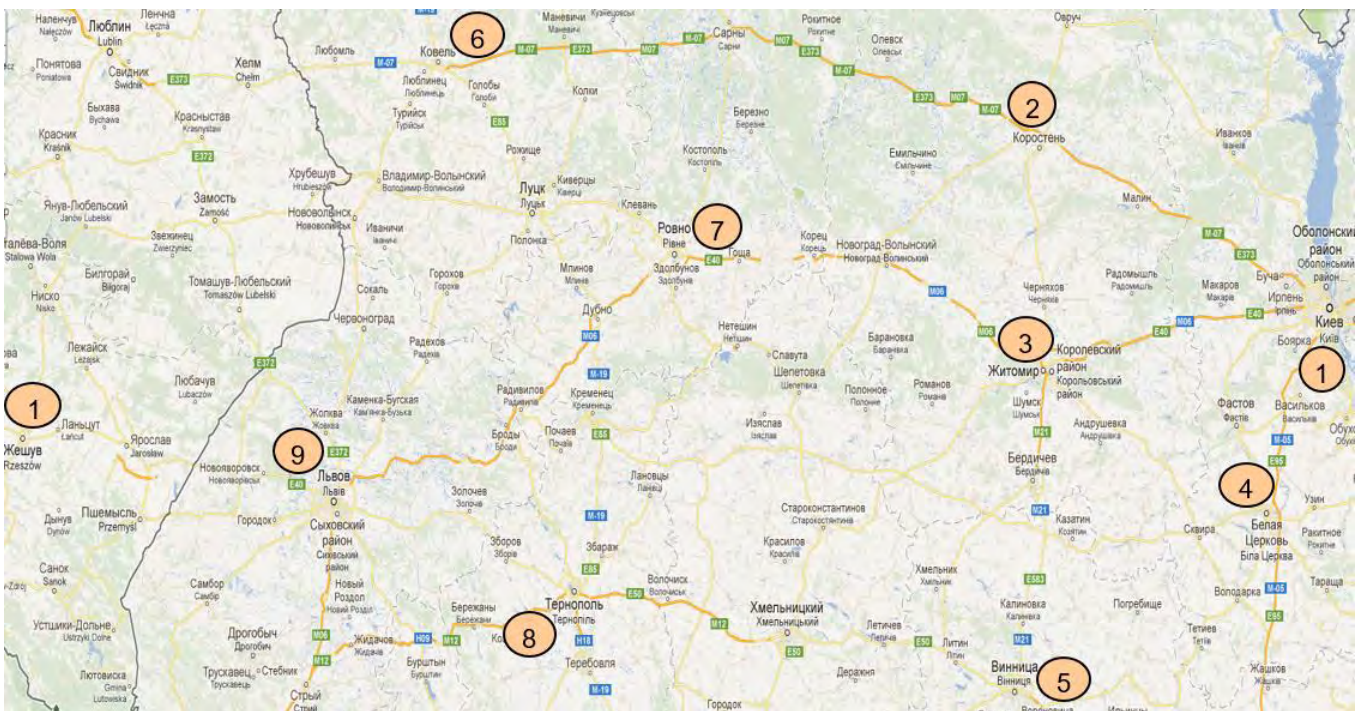


Рис. 3.16 – Карта автомобільних доріг України (фрагмент)

Задана мережа у вигляді змішаного зваженого графа з 10 транспортними вузлами і 18 дугами, початкові дані у *Excel*-таблиці (див. рис. 3.12).

Треба визначити найкоротший шлях від вузла-джерела міста *Києва (Україна)* до вузла-стоку міста *Жешув (Польща)* в такій математичній постановці:

– знайти вектор $X=(x_1, x_2 \dots x_{18})$, де елемент $x_i=1$, якщо відповідна дуга належить найкоротшому шляхові, або 0 у протилежному випадку; i – порядковий номер дуги ($i=1, 2 \dots 18$);

– щоб загальна довжина шляху $D=\sum_{i=1}^{18} d_i x_i \rightarrow \min$, де d_i – довжина i -ої дуги;

– за умови збереження балансу потоків для кожного j -го вузла ($j=1, 2 \dots 10$): $F_{вих}(x_i) - F_{вх}(x_i)=0$, де $F_{вих}(x_i)$, $F_{вх}(x_i)$ – сума потоків на вході та виході кожного j -го вузла; для вузла-джерела $F_{вих}(x_i) - F_{вх}(x_i)=1$; для вузла-стоку $F_{вих}(x_i) - F_{вх}(x_i)=-1$;

– якщо всі $x_i \geq 0$.

Для цього в *Excel*-таблиці (далі просто таблиці) для всіх дуг визначити діапазон для невідомих X (Дуга) і обчислити значення цільової функції за формулою = СУММПРОИЗВ (Дуга; Довжина), а для всіх вузлів обчислити суми вхідних (Вхід) і вихідних (Вихід) потоків, їхню алгебраїчну суму (Вихід-Вхід), задати графу правих частин обмежень (Обмеження) (рис. 3.17).

Щоб обчислити потік у вузлах, використовуємо функцію обчислення суми величин, координати яких задовольняють зазначену умову (тобто, якщо певні величини належать відповідній множині). В *Excel* таку процедуру виконує функція СУММЕСЛИ (аргументи). Наприклад, сума вхідних потоків вузла визначається за формулою = СУММЕСЛИ (всі кінці дуг; вузол; потоки), тобто, підсумовуються потоки по тих дугах, кінці яких співпадають з поточним вузлом. За формулою = СУММЕСЛИ (всі початки дуг; вузол; потоки) підсумовуються вихідні потоки.

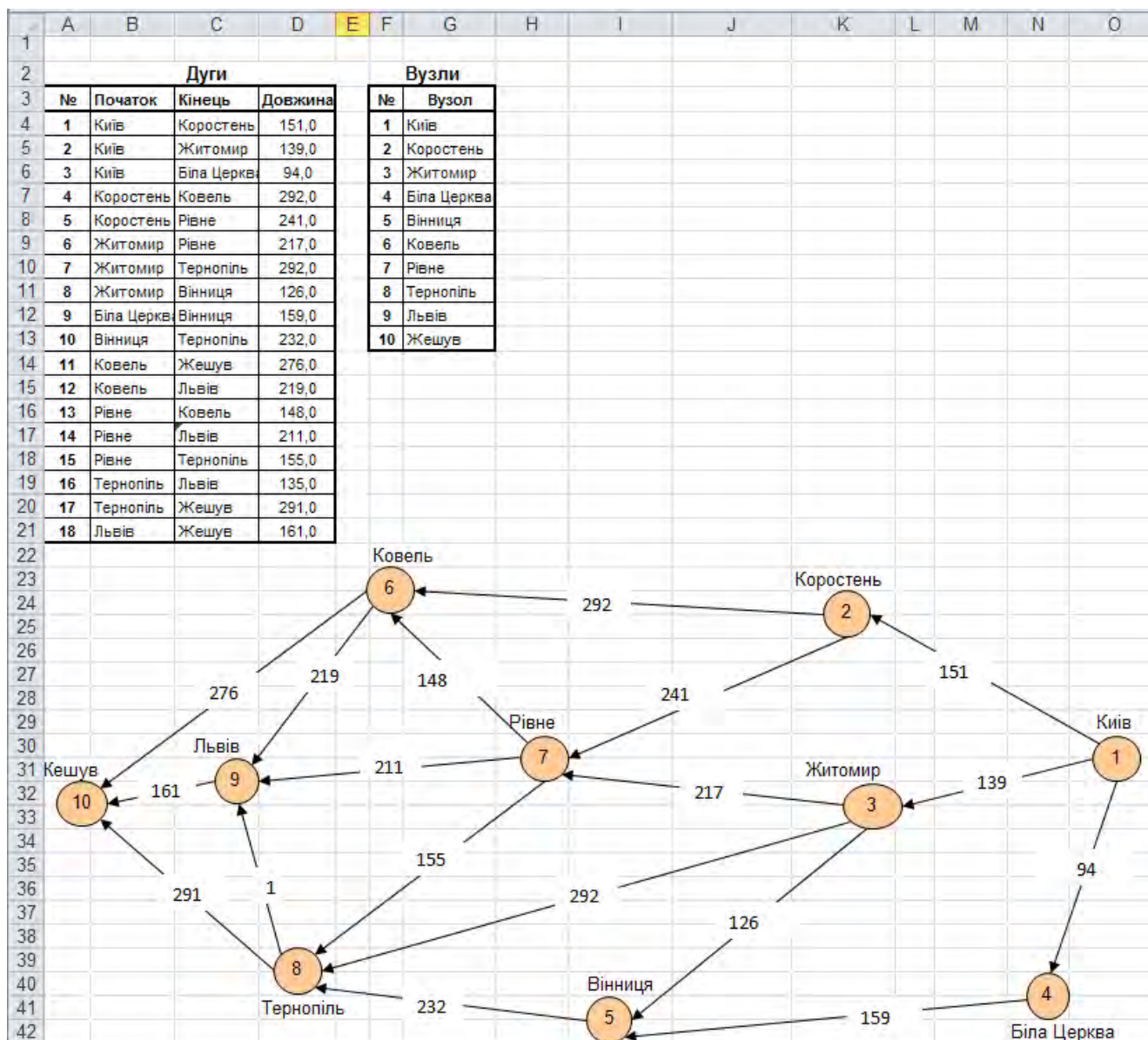


Рисунок 3.17 – Топологія мережевої ТЗ

На рис. 3.18 показано розв’язання поставленої задачі за допомогою команди *Пошук рішення* в середовищі *Excel-програми*, з якого видно, що вектор $X = (1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$, а це, у свою чергу означає, що найкоротший шлях з міста *Києва* (Україна) до міста *Жешува* (Польща) пройде послідовно через міста *Коростень* і *Ковель* і становитиме 719 км.

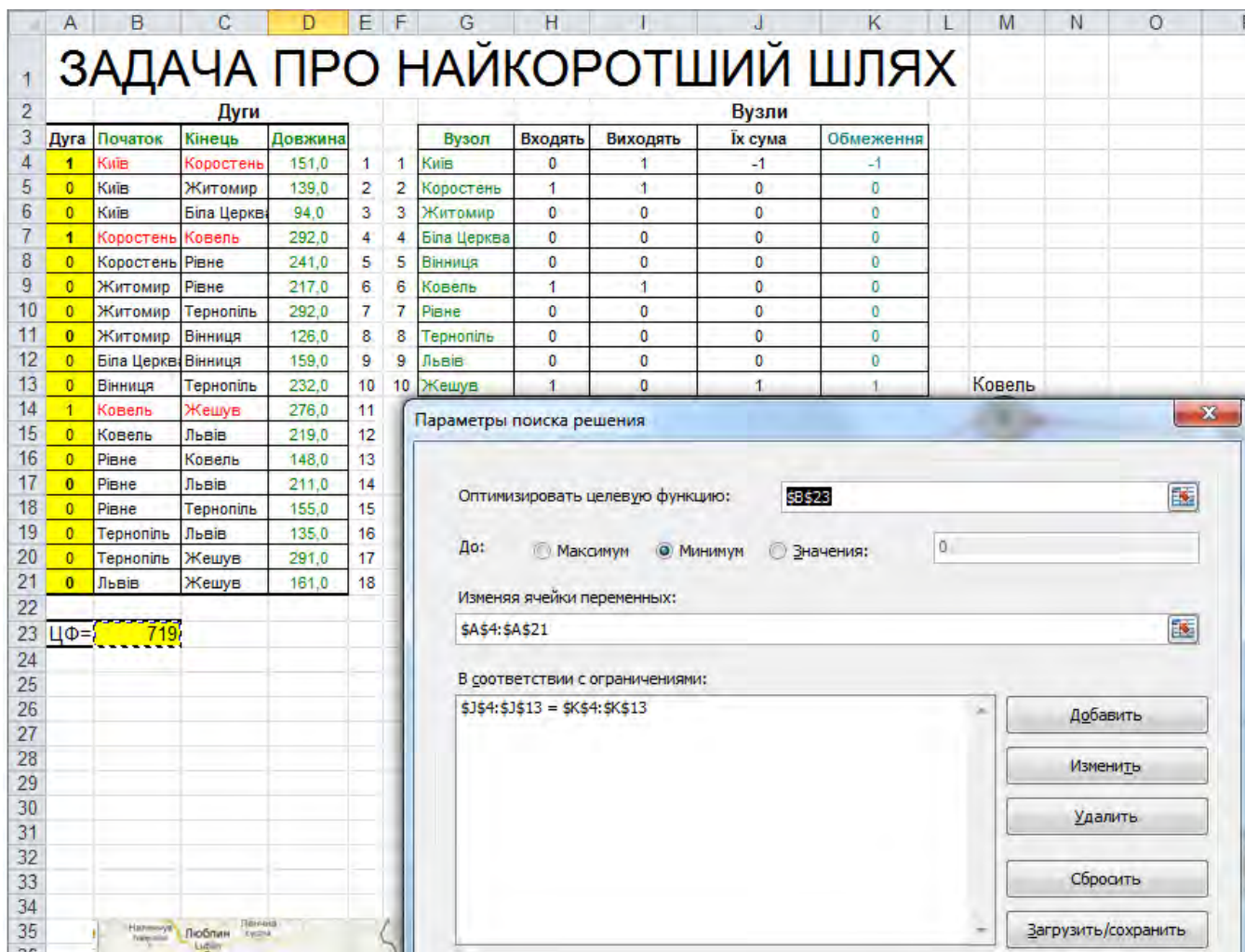


Рисунок 3.18 – Розв’язання задачі про найкоротший шлях у мережі

На рисунку 3.19 показано графічне зображення отриманого результату, а саме – найкоротший шлях, який зображений на транспортній мережі у вигляді стрілок.

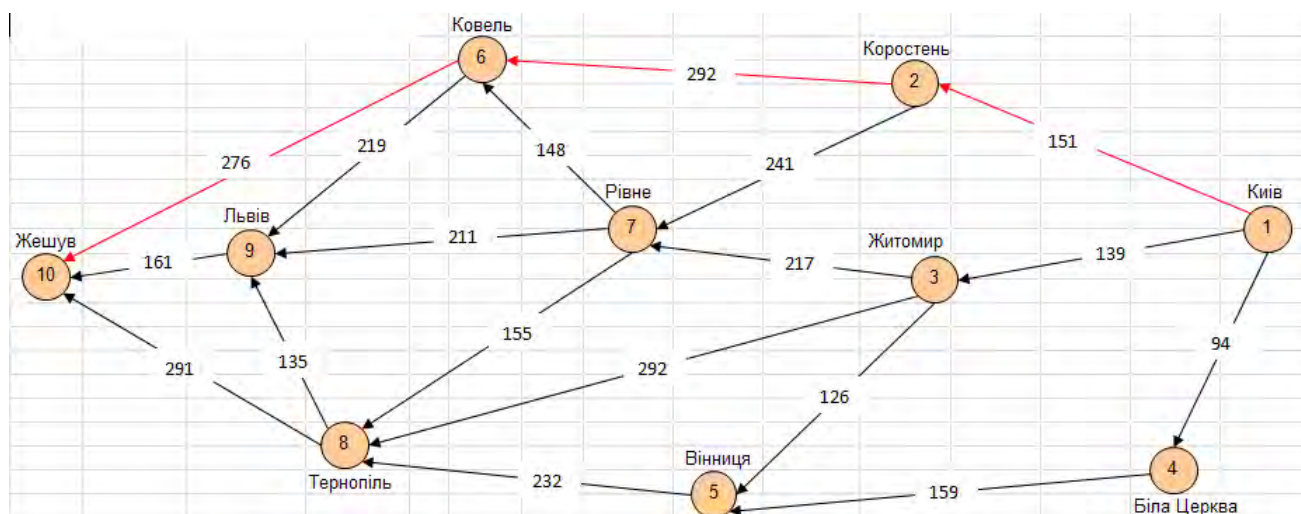


Рисунок 3.19 – Графічне зображення розв’язання задачі про найкоротший шлях на ТМ

3.2.2 Задача про максимальний потік у транспортній мережі

Задача про максимальний потік у мережі – класична потокова задача, де параметром кожної дуги змішано-орієнтованої мережі є її максимальна пропускна здатність. Ця задача та її варіанти застосовуються у дослідженнях потоків (величин і напрямків) транспортних мереж різного типу (шляхи, трубопроводи, канали зв'язку), для руху пасажирів, транспортних засобів, газу, інформації тощо.

Результатом розв'язку цієї задачі є величина максимального загального потоку, який може пропустити вся мережа, потоки та їхні напрямки по окремим дугам. Розглянемо розв'язання задачі про максимальний потік у мережі на конкретному прикладі у вигляді зваженого графа з 10 вузлами і 18 дугами, який збігається з топологією графа на рис. 3.13, а вихідні дані розташовані у *Excel*-таблиці на рис. 3.20.

Задана мережа зі змішаною орієнтацією дуг і з відповідними пропускними здатностями дуг. Потік виходить із вузла-джерела міста *Києва (Україна)*, потім розходить по всім дугам і входить до вузла-стоку міста *Жешув (Польща)*. Необхідно знайти такі потоки по дугам, щоб величина потоку з джерела до стоку була максимальною. Змішану в сенсі орієнтації мережу перетворюємо в повністю орієнтовану, замінивши кожну неорієнтовану дугу парою спрямованих назустріч одна одній дуг, і впорядкуємо вихідні дані до двох таблиць (для дуг та вузлів).

Загальний потік у сітці визначається сумою двох потоків:

- з джерела: (*Київ, Коростень*) + (*Київ, Житомир*) + (*Київ, Біла Церква*), тобто $F_{вих}(1) = x_{12} + x_{13} + x_{14}$;
- у стік: (*Ковель, Жешув*) + (*Львів, Жешув*) + (*Тернопіль, Жешув*), тобто $F_{вх}(10) = x_{6,10} + x_{9,10} + x_{8,10}$, які і визначають значення максимального потоку на мережі (значення цільової функції).

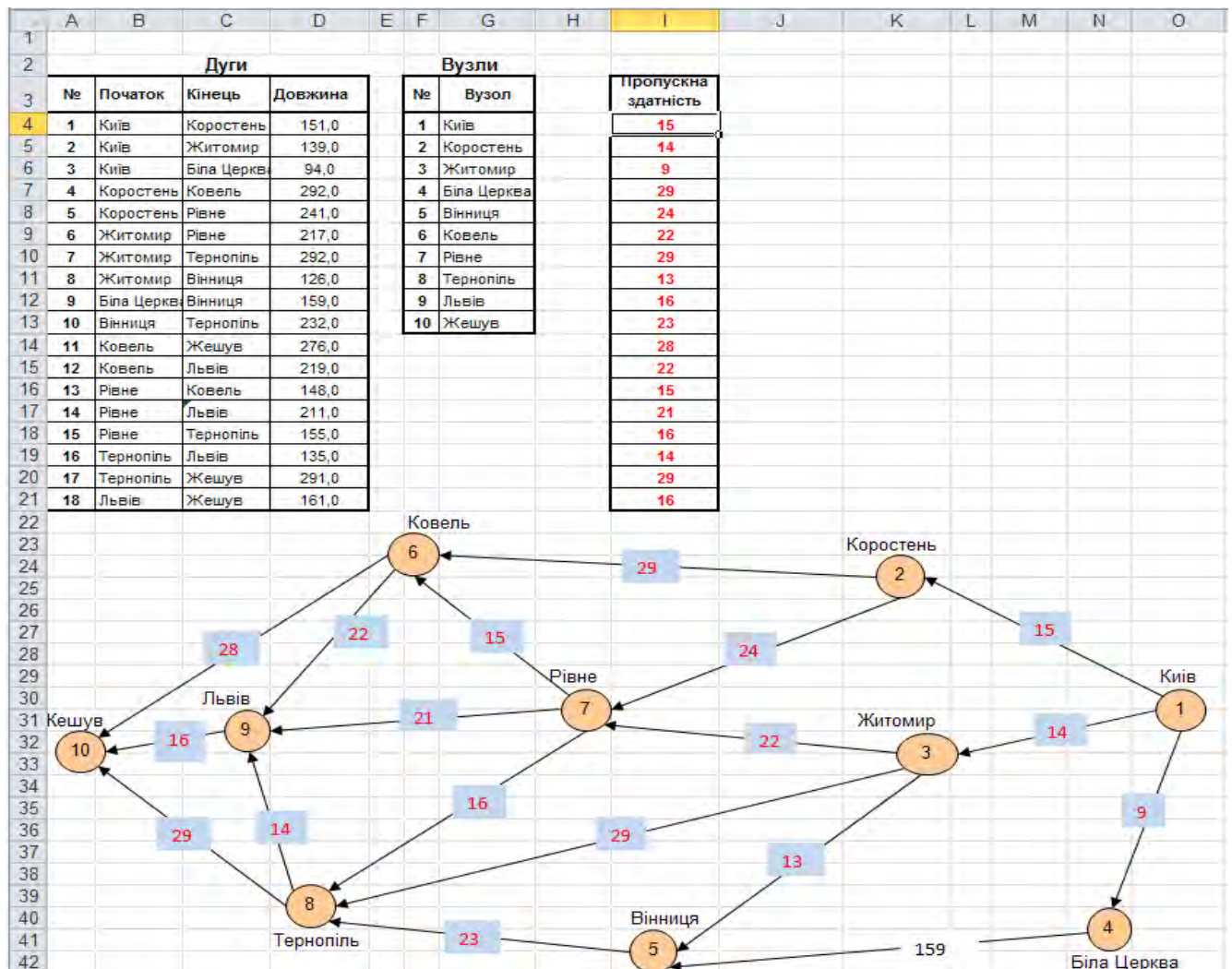


Рисунок 3.20 – Вихідні дані для задачі про максимальний потік у ТМ

Обмеження на потоки по дугах мають наступний вигляд:

- величина потоку $\leq$ пропускна здатність ($x_{ij} \leq c_{ij}$);
- потік з джерела = потік у стік, тобто $F_{вих}(1) = -F_{вх}(10)$;
- потенціали проміжних вузлів (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) рівні 0, тобто $F_{вих}(x) = F_{вх}(x)$.

На рисунку 3.21 представлено розв'язання задачі про максимальний потік на транспортній мережі.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ЗАДАЧА ПРО МАКСИМАЛЬНИЙ ПОТІК															
2	Дуги					Вузли										
3	№	Початок	Кінець	Пропускна здатність	Потік	Вузол	Входять	Виходять	Вихід - Вхід							
4	1	Київ	Коростень	15	15	1	Київ	0	38	38						
5	2	Київ	Житомир	14	14	2	Коростень	15	15	0						
6	3	Київ	Біла Церква	9	9	3	Житомир	14	14	0						
7	4	Коростень	Ковель	29	15	4	Біла Церква	9	9	0						
8	5	Коростень	Рівне	24	0	5	Вінниця	9	9	0						
9	6	Житомир	Рівне	22	14	6	Ковель	15	15	0						
10	7	Житомир	Тернопіль	29	0	7	Рівне	14	14	0						
11	8	Житомир	Вінниця	13	0	8	Тернопіль	23	23	0						
12	9	Біла Церква	Вінниця	16	9	9	Львів	0	0	0						
13	10	Вінниця	Тернопіль	23	9	10	Жешув	38	0	-38	Ковель					
14	11	Ковель	Жешув	28	15	Параметри розв'язувача Оптимізувати цільову функцію: \$E\$23 До: ☒ Максимум ☐ Мінімум ☐ Значення: 0 Змінюючи клітинки змінних: \$E\$4:\$E\$21 Підлягає обмеженням: \$E\$4:\$E\$21 <= \$D\$4:\$D\$21 \$E\$4:\$E\$21 >= 0 \$J\$4 = "-ЗАДАЧА (розв'язання)"!\$J\$13 \$J\$5:\$J\$12 = 0 Додати Змінити Видалити Скинути										
15	12	Ковель	Львів	22	0											
16	13	Рівне	Ковель	15	0											
17	14	Рівне	Львів	21	0											
18	15	Рівне	Тернопіль	16	14											
19	16	Тернопіль	Львів	14	0											
20	17	Тернопіль	Жешув	29	23											
21	18	Львів	Жешув	16	0											
22																
23	ЦФ=		38													
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																

3.2.3 Мережева транспортна задача

Транспортна мережа на рис. 3.23 також взята з електронного атласу України у вигляді зваженого графа з 10 вузлами і 36 дугами (топологія розглянутого графа збігається з топологією графів двох попередніх задач на транспортних мережах, а саме – задачі про найкоротший шлях і максимальний потік на мережі). Вона задана неорієнтованою мережею, де усі дуги неорієнтовані, наприклад *Київ* $\leftrightarrow$ *Коростень*. Останні вдвічі збільшують розмір задачі, бо представляються вже не одною, а парою направлених назустріч друг другу дуг (*Київ* $\rightarrow$ *Коростень*, *Коростень* $\rightarrow$ *Київ*).

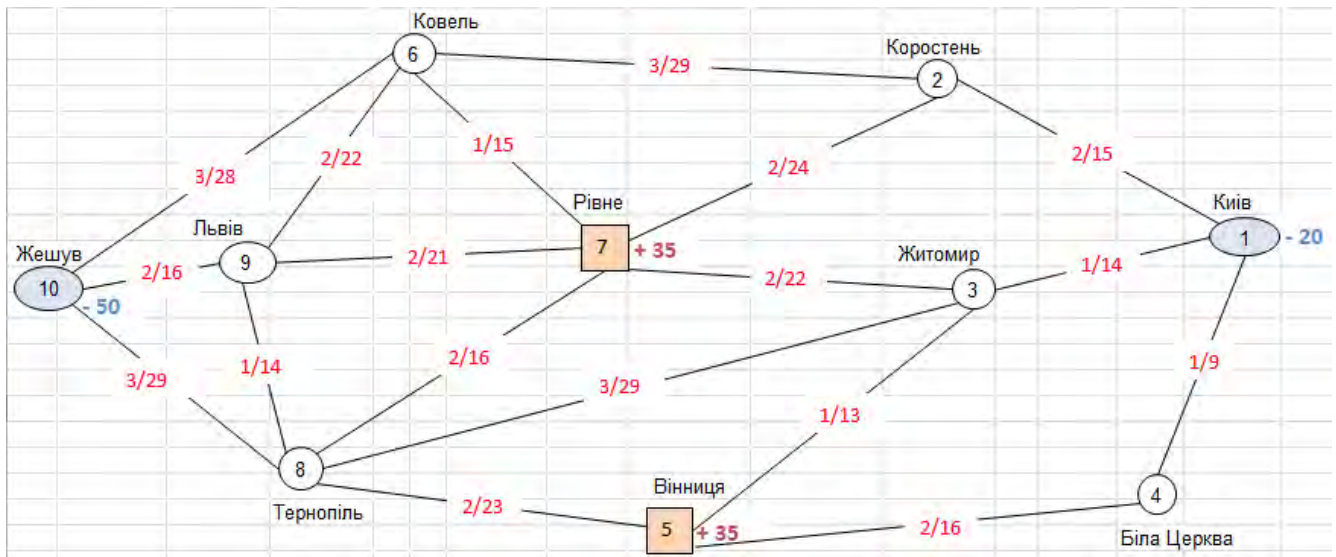


Рисунок 3.23 – Графічне представлення мережевої транспортної задачі

На транспортній мережі присутні три різновиди вузлів:

- пункти-постачальники вантажу (вони зображені у вигляді квадратів);
- пункти-споживачі цього вантажу (вони зображені у вигляді овалів);
- транзитні пункти (вони зображені у вигляді кіл).

Обсяги поставок (зі знаком +) і заявок вантажу (зі знаком -) проставлені поруч із відповідним пунктом, а проставлена на кожній дузі дріб являє собою вартість перевезення одиниці вантажу (чисельник дробі знаходиться діленням довжини цієї дуги на 100 з подальшим округленням отриманого значення до

найближчого цілого) і пропускну здатність цієї дуги (знаменник дробі знаходиться діленням довжини цієї дуги на 10 з подальшим округленням отриманого значення до найближчого цілого). Загальний обсяг пропозиції (поставок) у 70 одиниць деякого однорідного вантажу повністю дорівнює сумарному обсягу попиту (споживання), тобто ми маємо закриту транспортну задачу.

Необхідно знайти вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_{36})$, де x_i – об'єм перевезень i -ою дугою, такий, щоб загальні витрати (цільова функція) $C = \sum_{i=1}^{36} c_i x_i \rightarrow \min$, де c_i – питомі витрати для i -ої дуги за умови балансу потоків для кожного j -го вузла ($j = 1, 2, \dots, 10$): $F_{\text{вих}}(x_i) - F_{\text{вх}}(x_i) = p(x_i)$, де $F_{\text{вих}}(x_i)$, $F_{\text{вх}}(x_i)$ – сума потоків вантажу на виході та вході кожного j -го вузла з урахуванням пропускних здатностей дуг.

На рис. 3.24 представлено рішення поставленої транспортної задачі в середовищі додатка *Excel*, з якого видно, що оптимальний план перевезень складає вектор $X = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 13, 0, 7, 15, 13, 7, 15, 0, 0, 0, 15, 16, 4, 0, 0, 0, 19, 0, 0, 0, 16, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$, цільова функція дорівнює **266**.

Оптимальні перевезення вантажу на транспортній мережі показані на рис. 3.25.

3.3 Розв'язання багатоетапної транспортної задачі у середовищі табличного процесора

В процесі вантажних перевезень часто виникає ситуація, коли обсяги поставок вантажу, що перевозиться, перевищують можливості складських приміщень його замовника. В цьому випадку ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу і, як слідство, багатоетапною транспортною задачею. Опишемо підхід, який вирішує задачу поетапного транспортування вантажів в її мережевому уявленні у середовищі *Excel*. При цьому розглянемо випадки, коли сумарні складські приміщення замовника і проміжних пунктів рівні, більше або менше обсягів вантажу, що перевозиться.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	МЕРЕЖЕВА ТРАНСПОРТНА ЗАДАЧА														
2	Дуги							Вузли							
3	№	Початок	Кінець	Витрати	Пропускна здатність	Потік	Всього	№	Назва	Попит/Пропозиція	Вхід	Вихід	Вихід-Вхід		
4	1	Київ	Коростень	2	15	0	0	1	Київ	-20	20	0	-20		
5	2	Київ	Житомир	1	14	0	0	2	Коростень	0	0	0	0		
6	3	Київ	Біла Церква	1	9	0	0	3	Житомир	0	13	13	0		
7	4	Коростень	Ковель	3	29	0	0	4	Біла Церква	0	7	7	0		
8	5	Коростень	Рівне	2	24	0	0	5	Вінниця	35	0	35	35		
9	6	Коростень	Київ	2	15	0	0	6	Ковель	0	15	15	0		
10	7	Житомир	Рівне	2	22	0	0	7	Рівне	35	0	35	35		
11	8	Житомир	Тернопіль	3	29	0	0	8	Тернопіль	0	19	19	0		
12	9	Житомир	Вінниця	1	13	0	0	9	Львів	0	16	16	0		
13	10	Житомир	Київ	1	14	13	13	10	Жешув	-50	50	0	-50		
14	11	Біла Церква	Вінниця	2	16	0	0	Всього Попит = -70							
15	12	Біла Церква	Київ	1	9	7	7	Всього Пропозиція = 70							
16	13	Вінниця	Тернопіль	2	23	15	30	Цільова функція= 266							
17	14	Вінниця	Житомир	1	13	13	13								
18	15	Вінниця	Біла Церква	2	16	7	14								
19	16	Ковель	Жешув	3	28	15	45								
20	17	Ковель	Львів	2	22	0	0								
21	18	Ковель	Коростень	3	29	0	0								
22	19	Ковель	Рівне	1	15	0	0								
23	20	Рівне	Ковель	1	15	15	15								
24	21	Рівне	Львів	2	21	16	32								
25	22	Рівне	Тернопіль	2	16	4	8								
26	23	Рівне	Коростень	2	24	0	0								
27	24	Рівне	Житомир	2	22	0	0								
28	25	Тернопіль	Львів	1	14	0	0								
29	26	Тернопіль	Жешув	3	29	19	57								
30	27	Тернопіль	Рівне	2	16	0	0								
31	28	Тернопіль	Житомир	3	29	0	0								
32	29	Тернопіль	Вінниця	2	23	0	0								
33	30	Львів	Жешув	2	16	16	32								
34	31	Львів	Ковель	2	22	0	0								
35	32	Львів	Рівне	2	21	0	0								
36	33	Львів	Тернопіль	1	14	0	0								
37	34	Жешув	Ковель	3	28	0	0								
38	35	Жешув	Львів	2	16	0	0								
39	36	Жешув	Тернопіль	3	29	0	0								

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

SL\$16

До:

☐ Максимум

☒ Минимум

☐ Значения:

0

Изменяя ячейки переменных:

\$F\$4:\$F\$39

В соответствии с ограничениями:

\$F\$4:\$F\$39 <= \$E\$4:\$E\$39

\$F\$4:\$F\$39 = целое

\$F\$4:\$F\$39 >= 0

\$N\$4:\$N\$13 = \$K\$4:\$K\$13

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

\$L\$16

До:

☐ Максимум ☒ Минимум ☐ Значения:

0

Изменяя ячейки переменных:

\$F\$4:\$F\$39

В соответствии с ограничениями:

\$F\$4:\$F\$39 <= \$E\$4:\$E\$39

\$F\$4:\$F\$39 = целое

\$F\$4:\$F\$39 >= 0

\$N\$4:\$N\$13 = \$K\$4:\$K\$13

Рисунок 3.24 – Розв'язання мережевої транспортної задачі

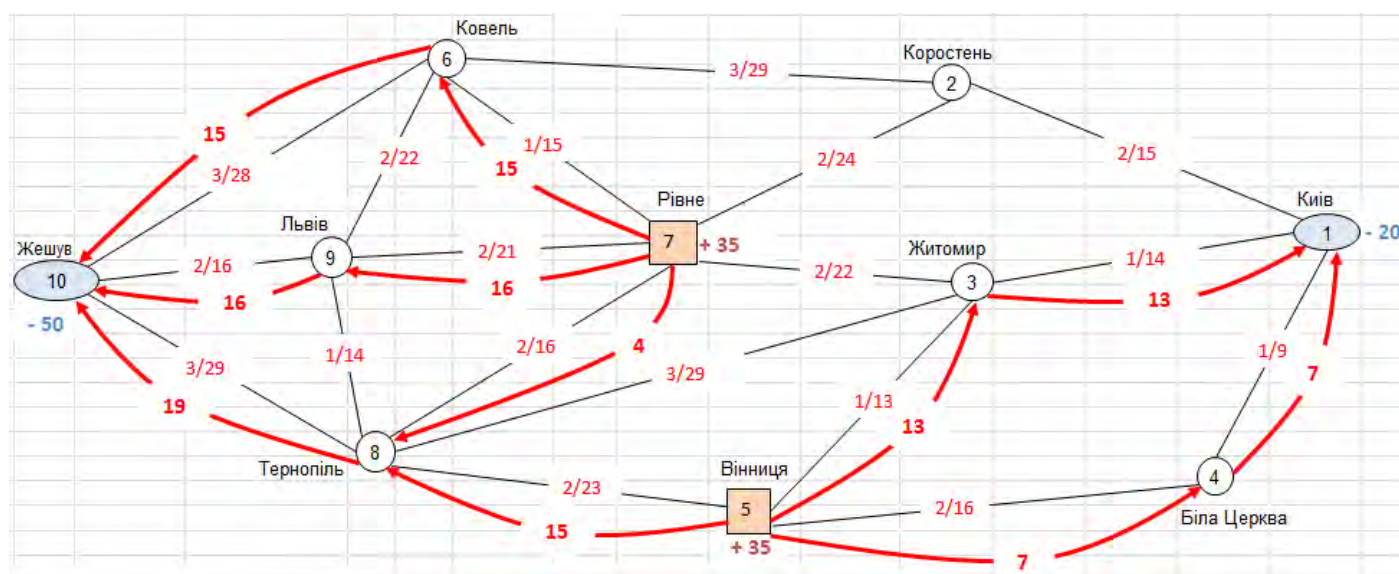


Рисунок 3.25 – Оптимальні потоки у мережевій транспортній задачі

Припустимо ми маємо m постачальників однорідного вантажу $A_1, A_2, \dots, A_m$, які мають його, відповідно, в об'ємах $a_1, a_2, \dots, a_m$ і n його одержувачів $B_1, B_2, \dots, B_n$, які мають заявки на нього в об'ємах (рис. 3.26), відповідно, $b_1, b_2, \dots, b_n$. [99-101].

Причому загальні об'єми поставок цього вантажу перевищують загальні об'єми заявок на нього, а саме:

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j. \quad (3.1)$$

Припустимо також, що є l проміжних пунктів $C_1, C_2, \dots, C_l$ для тимчасового зберігання надлишків вантажу $\Delta = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j$, які можуть вміщати його в об'ємах, відповідно, $c_1, c_2, \dots, c_l$, при цьому можуть виникнути три різних варіанта співвідношень $\sum_{i=1}^m a_i, \sum_{j=1}^n b_j$ і $\sum_{k=1}^l c_k$ при обов'язковому виконанні умови (3.1):

$$\text{1-й варіант} - \sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{k=1}^l c_k, \quad (3.2)$$

$$\text{2-й варіант} - \sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{k=1}^l c_k, \quad (3.3)$$

$$\text{3-й варіант} - \sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{k=1}^l c_k. \quad (3.4)$$

Розглянемо ці три варіанта на конкретному прикладі перевезення вантажу (рис. 3.22), у якого:

- кількість постачальників вантажу $m = 2$; $a_1 = 35$ одиниць вантажу (о.в.), $a_2 = 35$ о.в.;
- кількість одержувачів вантажу $n = 4$; $b_1 = 10$ о.в., $b_2 = 10$ о.в.; $b_3 = 10$ о.в., $b_4 = 20$ о.в.;
- кількість проміжних пунктів зберігання вантажу $l = 3$; $c_1 = 5$ о.в., $c_2 = 5$ о.в., $c_3 = 10$ о.в.;

– вартість перевезення одиниці вантажу між відповідними транспортними вузлами вказана на дугах, які їх з'єднують.

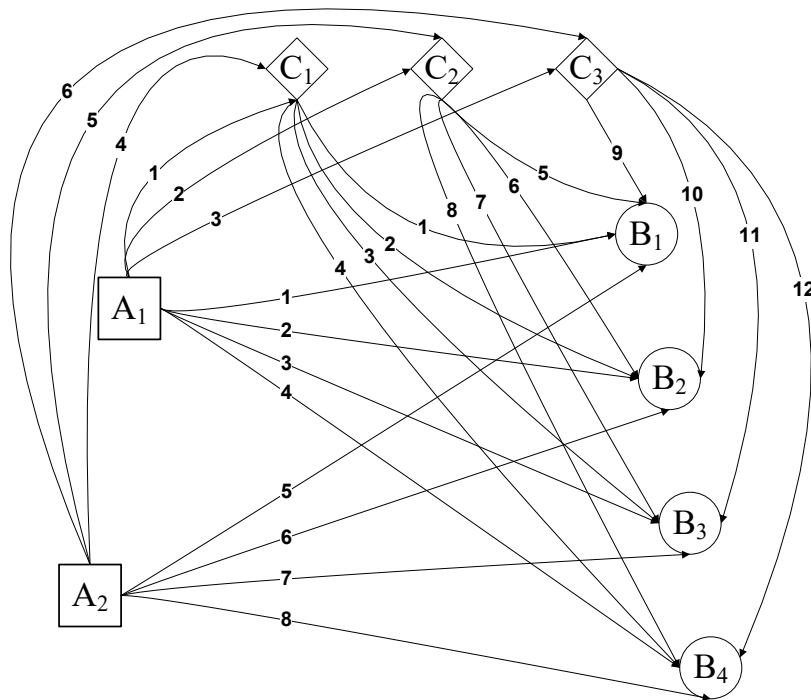


Рисунок 3.26 – Вихідна схема перевезення вантажу

На рис. 3.27 представлена *Excel*-таблиця розв'язання першого варіанту перевезення вантажу (3.2), а на рис. 3.28 – оптимальна схема його перевезення (об'єми перевезень вантажу між відповідними вузлами вказані на дугах, які їх з'єднують). Як видно з *Excel*-таблиці (див. рис. 3.27) перший варіант перевезення вантажу може бути виконаний за два етапи (перевезення вантажу 1-ого етапу зображені на рис. 3.28 у вигляді одинарних ліній, 2-го етапу – пунктирними).

На 1-ому етапі першого варіанту перевезення вантажу повністю задовольняються усі його одержувачі ($A_1 \rightarrow B_1 = 10$ о.в., $A_1 \rightarrow B_2 = 10$ о.в., $A_1 \rightarrow B_3 = 5$ о.в., $A_1 \rightarrow B_4 = 10$ о.в., $A_2 \rightarrow B_3 = 5$ о.в., $A_2 \rightarrow B_4 = 10$ о.в.) і надлишки вантажу Δ перевозяться на проміжні пункти для тимчасового їх зберігання ($A_2 \rightarrow C_1 = 5$ о.в., $A_2 \rightarrow C_2 = 5$ о.в., $A_2 \rightarrow C_3 = 10$ о.в.). Потім, через певний час, на 2-ому етапі ці надлишки транспортуються до відповідних їх одержувачів ($C_1 \rightarrow B_2 = 5$ о.в., $C_2 \rightarrow B_1 = 3$ о.в., $C_2 \rightarrow B_2 = 2$ о.в., $C_3 \rightarrow B_1 = 7$ о.в., $C_3 \rightarrow B_2 = 3$ о.в.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		B1	B2	B3	B4	Запаси			B1	B2	B3	B4	Запаси
2	A1	1	2	3	4	35		C1	1	2	3	4	5
3	A2	5	6	7	8	35		C2	5	6	7	8	5
4	Заявки	10	10	10	20			C3	9	10	11	12	10
5								Заявки	10	10	10	20	
6													
7		B1	B2	B3	B4	Запаси			B1	B2	B3	B4	Запаси
8	A1	10	10	5	10	35		C1	0	5	0	0	5
9	A2	0	0	5	10	15		C2	3	2	0	0	5
10	Заявки	10	10	10	20			C3	7	3	0	0	10
11	200	10	20	50	120			Заявки	10	10	0	0	
12								130	78	52	0	0	
13													
14		C1	C2	C3	Запаси		435						
15	A1	1	2	3	0								
16	A2	4	5	6	20								
17	Заявки	5	5	10									
18													
19		C1	C2	C3	Запаси								
20	A1	0	0	0	0								
21	A2	5	5	10	20								
22	Заявки	5	5	10									
23	105	20	25	60									
24													

Рисунок 3.27 – Ехсел-таблиця розв’язання 1-го варіанту перевезення вантажу

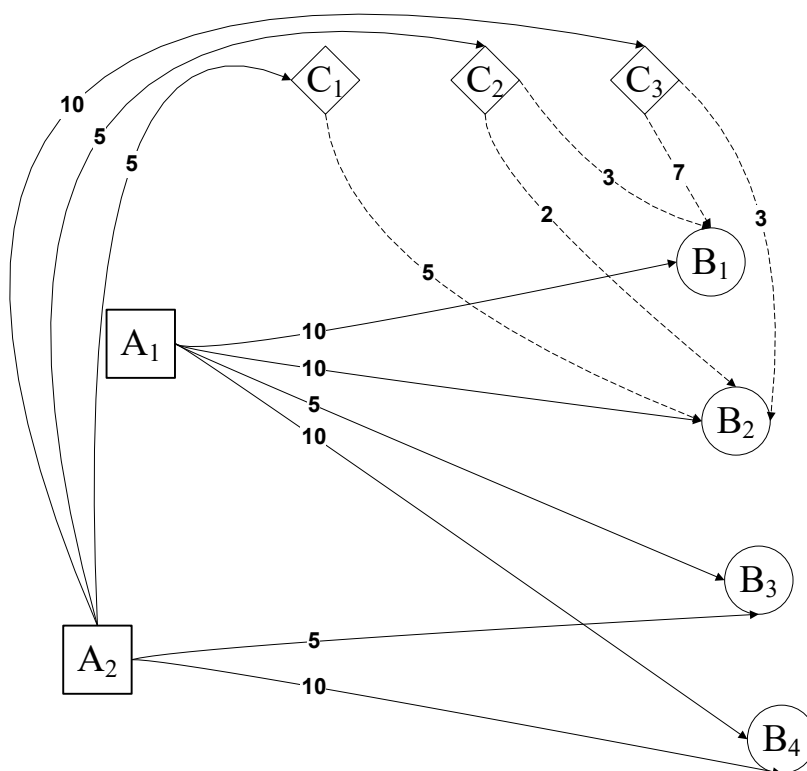


Рисунок 3.28 – Оптимальна схема розв’язання 1-го варіанту перевезення вантажу

На рис. 3.29 представлена *Excel*-таблиця розв'язання другого варіанту перевезення вантажу (3), а на рис. 3.30 – оптимальна схема його перевезення (об'єми перевезень вантажу між відповідними вузлами вказана на дугах, які їх з'єднують). Як видно з *Excel*-таблиці (див. рис. 3.29) перший варіант перевезення вантажу може бути виконаний за два етапи (перевезення вантажу 1-ого етапу зображені на рис. 3.30 у вигляді одинарних ліній, 2-го етапу – пунктирними).

На 1-ому етапі другого варіанту перевезення вантажу повністю задовольняються усі його одержувачі ($A_1 \rightarrow B_1 = 10$ о.в., $A_1 \rightarrow B_2 = 7$ о.в., $A_1 \rightarrow B_3 = 4$ о.в., $A_1 \rightarrow B_4 = 14$ о.в., $A_2 \rightarrow B_2 = 3$ о.в., $A_2 \rightarrow B_3 = 6$ о.в., $A_2 \rightarrow B_4 = 6$ о.в.) і надлишки вантажу перевозяться на проміжні пункти для тимчасового їх зберігання ($A_2 \rightarrow C_1 = 10$ о.в., $A_2 \rightarrow C_2 = 10$ о.в.). Потім, через певний час, на 2-ому етапі ці надлишки транспортуються до відповідних їх одержувачів ($C_1 \rightarrow B_1 = 2$ о.в., $C_1 \rightarrow B_2 = 8$ о.в., $C_2 \rightarrow B_1 = 8$ о.в., $C_2 \rightarrow B_2 = 2$ о.в.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		B1	B2	B3	B4	Запаси			B1	B2	B3	B4	Запаси
2	A1	1	2	3	4	35		C1	1	2	3	4	10
3	A2	5	6	7	8	35		C2	5	6	7	8	10
4	Заявки	10	10	10	20			C3	9	10	11	12	0
5								Заявки	10	10	10	20	
6													
7		B1	B2	B3	B4	Запаси			B1	B2	B3	B4	Запаси
8	A1	10	7	4	14	35		C1	2	8	0	0	10
9	A2	0	3	6	6	15		C2	8	2	0	0	10
10	Заявки	10	10	10	20			C3	0	0	0	0	0
11	200	10	32	54	104			Заявки	10	10	0	0	20
12								70	42	28	0	0	
13										2-й етап			
14		C1	C2	C3	Запаси		360						
15	A1	1	2	3	0								
16	A2	4	5	6	20								
17	Заявки	10	10	10	20								
18													
19		C1	C2	C3	Запаси								
20	A1	0	0	0	0								
21	A2	10	10	0	20								
22	Заявки	10	10	0	20								
23	90	40	50	0									
24		1-й етап											

Рисунок 3.29 – *Excel*-таблиця розв'язання 2-го варіанту перевезення вантажу

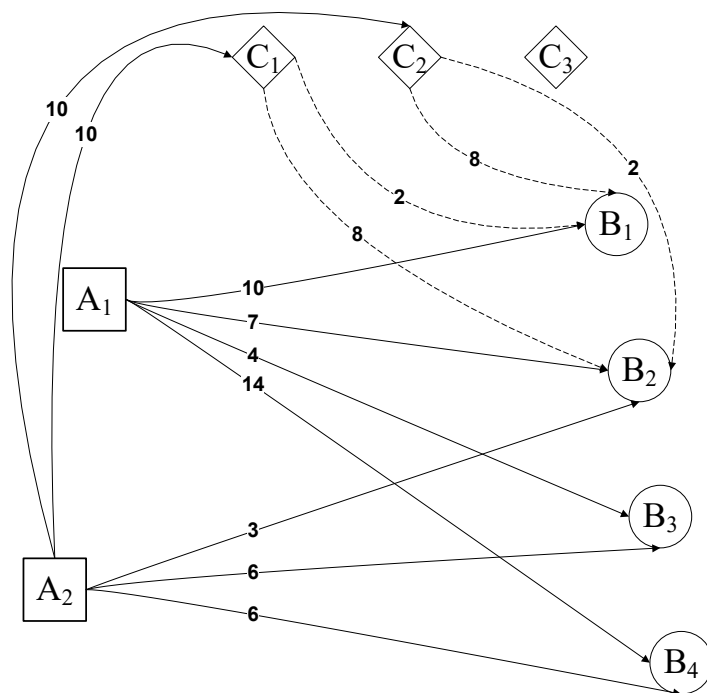


Рисунок 3.30 – Оптимальна схема розв’язання 2-го варіанту перевезення вантажу

На рис. 3.31 представлена *Excel*-таблиця розв’язання третього варіанту перевезення вантажу (4), а на рис. 3.32 – оптимальна схема його перевезення (об’єми перевезень вантажу між відповідними вузлами вказана на дугах, які їх з’єднують). Як видно з *Excel*-таблиці (див. рис. 3.31) третій варіант перевезення вантажу може бути виконаний за три етапи (перевезення вантажу 1-ого етапу зображені на рис. 3.32 у вигляді одинарних ліній, 2-го етапу – пунктирними, 3-ого етапу – штрих-пунктирними).

На 1-ому етапі третього варіанту перевезення вантажу повністю задовольняються усі його одержувачі ($A_1 \rightarrow B_1 = 7$ о.в., $A_1 \rightarrow B_3 = 8$ о.в., $A_1 \rightarrow B_4 = 15$ о.в., $A_2 \rightarrow B_1 = 3$ о.в., $A_2 \rightarrow B_2 = 10$ о.в., $A_2 \rightarrow B_3 = 2$ о.в., $A_2 \rightarrow B_4 = 5$ о.в.) і надлишки вантажу $\sum_{k=1}^l c_k$ перевозяться на проміжні пункти для тимчасового їх зберігання ($A_2 \rightarrow C_1 = 5$ о.в., $A_2 \rightarrow C_2 = 5$ о.в., $A_2 \rightarrow C_3 = 5$ о.в.,).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1		B1	B2	B3	B4	Запаси			B1	B2	B3	B4	Запаси			B1	B2	B3	B4	Запаси
2	A1	1	2	3	4	35		C1	1	2	3	4	5		A1	1	2	3	4	5
3	A2	5	6	7	8	35		C2	5	6	7	8	5		A2	5	6	7	8	0
4	Заявки	10	10	10	20			C3	9	10	11	12	5		Заявки	10	10	10	20	
5								Заявки	10	10	10	20								
6																				
7		B1	B2	B3	B4	Запаси			B1	B2	B3	B4	Запаси			B1	B2	B3	B4	Запаси
8	A1	7	0	8	15	30		C1	0	5	0	0	5		A1	5	0	0	0	5
9	A2	3	10	2	5	20		C2	5	0	0	0	5		A2	0	0	0	0	0
10	Заявки	10	10	10	20			C3	5	0	0	0	5		Заявки	5	0	0	0	0
11	220	22	60	38	100			Заявки	10	5	0	0			5	5	0	0	0	
12								80	70	10	0	0								
13																				
14		C1	C2	C3	Запаси		380													
15	A1	1	2	3	5															
16	A2	4	5	6	15															
17	Заявки	5	5	5																
18																				
19		C1	C2	C3	Запаси															
20	A1	0	0	0	0															
21	A2	5	5	5	15															
22	Заявки	5	5	5																
23	75	20	25	30																
24																				

Рисунок 3.31 – Excel-таблиця розв'язання 3-го варіанту перевезення вантажу

Потім, через певний час, на 2-ому етапі ці надлишки транспортуються до відповідних їх одержувачів ($C_1 \rightarrow B_2 = 5$ о.в., $C_2 \rightarrow B_1 = 5$ о.в., $C_3 \rightarrow B_1 = 5$ о.в.). І, наприкінці, на третьому етапі остатки вантажу $\sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{k=1}^l c_k$ також транспортуються до відповідних їх одержувачів ($A_1 \rightarrow B_1 = 5$ о.в.).

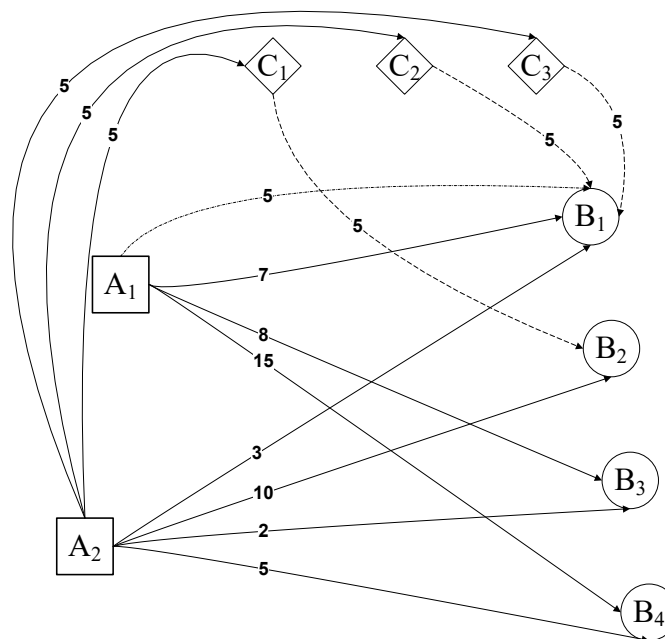


Рисунок 3.32 – Оптимальна схема розв'язання 3-го варіанту перевезення вантажу

3.4 Система підтримки прийняття рішень управління незбалансованими вантажними перевезеннями на транспортній мережі України та Західної Європи

Розглянемо покроково роботу системи підтримки прийняття рішень (СПРУВП) управління незбалансованими вантажними перевезеннями на транспортній мережі України [102-104]:

1-й крок: вибір пунктів постачання і пунктів споживання вантажу та завдання обсягів їх пропозиції і попиту (в цьому прикладі загальний попит на вантаж перевищує його загальну пропозицію на 10 умовних вантажних одиниць):

Міста-постачальники		Міста України та Західної Європи	Міста-споживачі	
Місто	Пропозиція		Місто	Попит
Краков	50	Дніпропетровськ	Одеса	80
Черновці	100	Донецьк	Харків	40
		Житомир	Чернігів	40
		Запоріжжя		
		Івано-Франківськ	Всього	160
		Київ		
Всього	150	Кіровоград		
		Луганськ		
		Львів		
		Миколаїв		
		Полтава		
		Рівно		
		Сімферополь		
		Суми		

2-й крок: пошук найкоротших маршрутів перевезення вантажу:

- 1129
Краков -> Одеса
- 1334
Краков -> Житомир -> Київ -> Полтава -> Харків
- 1005
Краков -> Житомир -> Київ -> Чернігів
- 995
Черновці -> Хмельницький -> Житомир -> Київ -> Одеса
- 984
Черновці -> Хмельницький -> Житомир -> Київ -> Полтава -> Харків
- 655
Черновці -> Хмельницький -> Житомир -> Київ -> Чернігів

3-й крок: вибір оптимального плану перевезення вантажу (блок-схема алгоритму представлена на рис. 3.33):

Попит споживачів перевищує пропозицію постачальників !!!Різниця складає 10 одиниць(ь).
Необхідно збалансувати попит та пропозицію

Приведення незбалансованої ТЗ до збалансованого вигляду Симплекс методом, дало нам найліпший оптимальний план перевезень !!!

Razn: 130845
Koef: 142740
Fikt: 136792
Simp: 118950

4-й крок: побудова оптимального плану перевезення вантажу:

	Одеса	Харків	Чернігів
Краков	0	20	30
Черновці	80	20	0

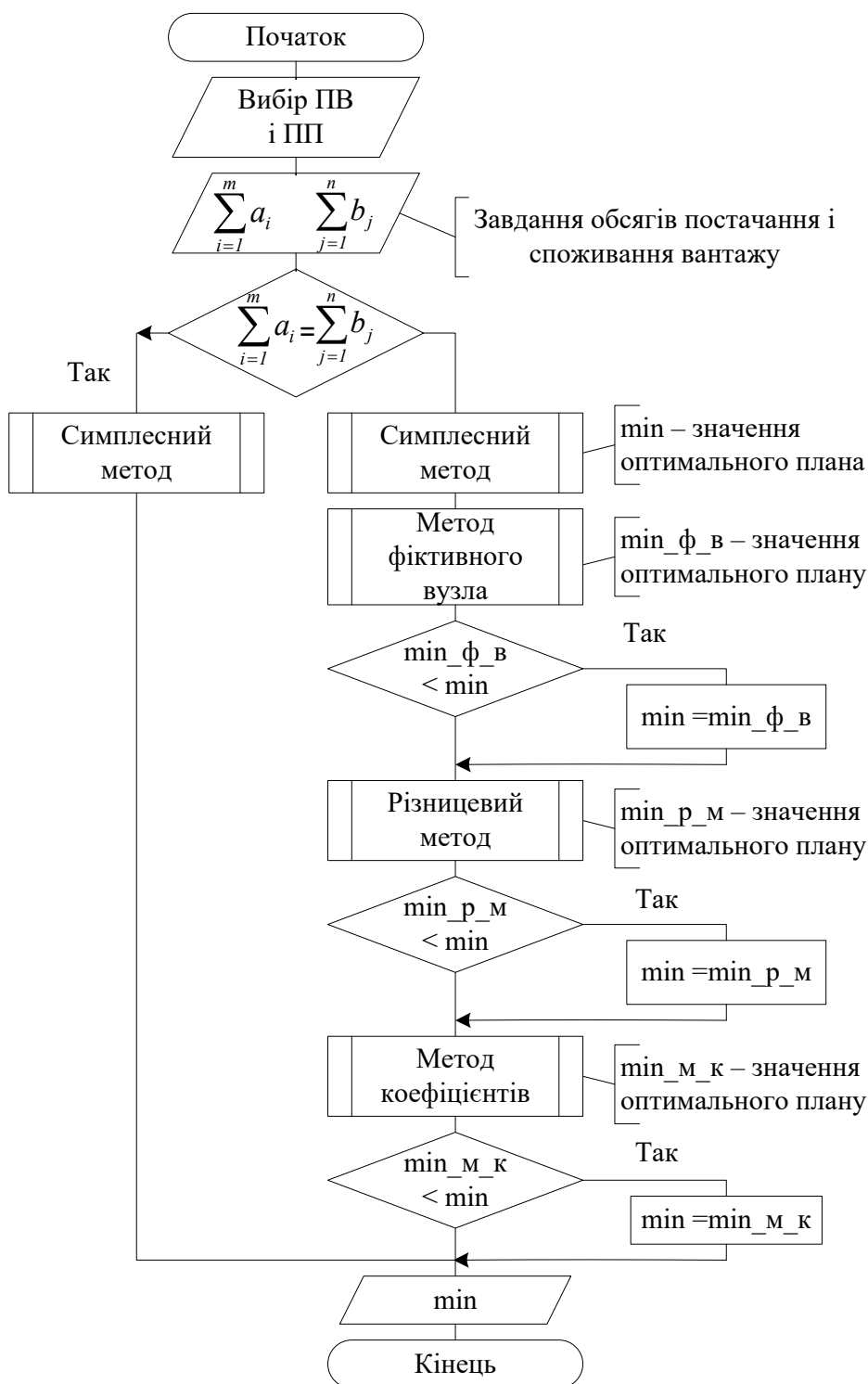


Рисунок 3.33 – Блок-схема алгоритму вибору оптимального плану перевезення вантажу

Використовуючи у якості пунктів постачання вантажу міста Вінниця і Дніпро, а міста Київ, Львів та Одеса у якості пунктів його споживання, при цьому змінюючи обсяги постачання і споживання вантажу, наведемо приклади

застосування усіх перерахованих вище методів зведення відкритих ТЗ до збалансованого виду, а саме різницевого методу; методу коефіцієнтів та методу фіктивного постачальника/споживача:

1) у випадку застосування різницевого методу отримуємо (рис. 3.34):

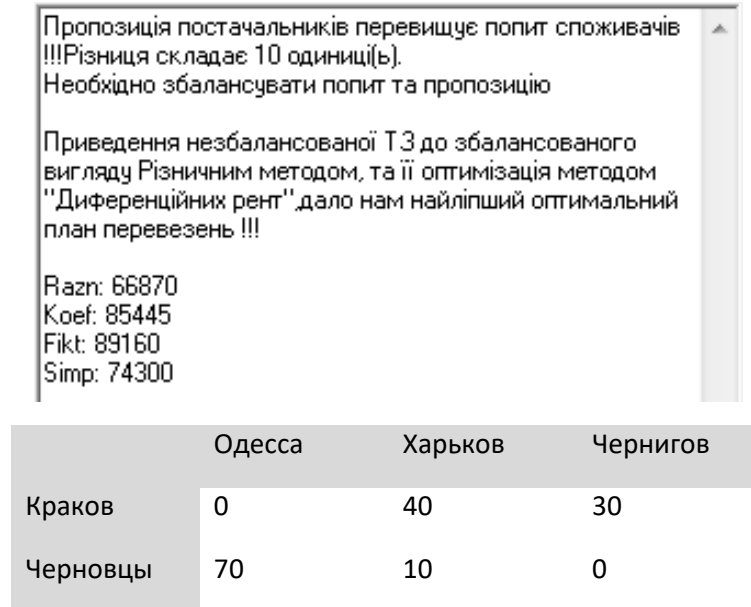


Рисунок 3.34 – Результати роботи СППР при застосування різницевого методу

2) у випадку застосування методу коефіцієнтів отримуємо (рис. 3.35):

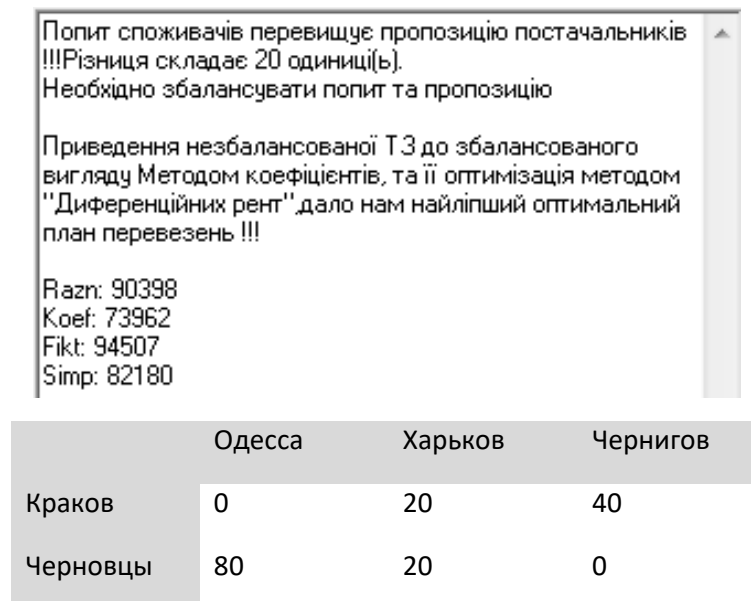


Рисунок 3.35 – Результати роботи СППР при застосування методу коефіцієнтів

3) у випадку застосування методу фіктивного постачальника/споживача отримуємо (рис. 3.36):

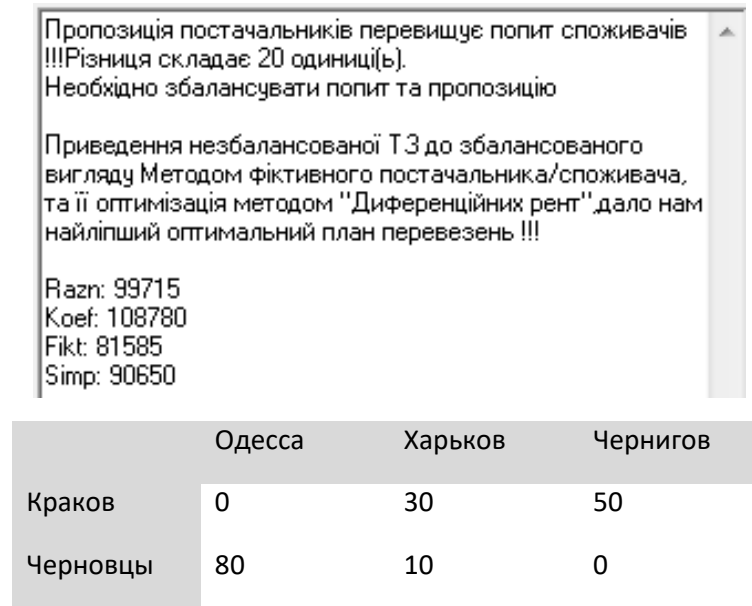


Рисунок 3.36 – Результати роботи СППР при застосуванні методу фіктивного постачальника/споживача

У якості експерименту з метою виявлення пріоритетності розглянутих вище методів за допомогою СППР управління вантажними перевезеннями було розв'язано 100 не збалансованих за обсягами перевезень вантажу практичних транспортних завдань по знаходженню оптимальних планів перевезень вантажів. В результаті у якості методу зведення цих відкритих ТЗ до збалансованого виду і подальшому знаходженню оптимального плану вантажних перевезень було використано: симплексний метод у 48 випадках; метод коефіцієнтів у 27 випадках; метод фіктивного постачальника/споживача у 16 випадках та різницевий метод у 9 випадках.

Наведені вище теоретичні відомості про існуючі методи зведення відкритих ТЗ до збалансованого виду й засновані на них експериментальні дослідження з оптимізації вантажних перевезень, які отримані за допомогою розробленого програмного комплексу, дозволяють зробити наступні висновки:

по-перше, симплексний метод показав свою дієздатність і високу затребуваність при знаходженні оптимальних планів вантажних перевезень як збалансованих так і незбалансованих ТЗ;

по-друге, різницевий метод пропорційного зменшення обсягів попиту (пропозиції) вантажу у учасників перевізного процесу, тобто метод коефіцієнтів, носить більш “справедливий” характер, який проявляється при перерозподілі обсягів перевезень;

по-третьє, різницевий метод зменшення обсягу пропозиції (попиту) на величину невідповідності в одному із ПВ (ПП) не може бути застосований у тому випадку, коли найбільше значення пропозиції (попиту) менше значення цієї величини невідповідності;

по-четверте, аналіз результатів використання всіх методів на безлічі практичних прикладів дозволяє зробити висновок про те, що жоден з них не має абсолютну перевагу перед іншими. Цей факт пояснюється тим, що кожний з методів в окремих випадках його застосування показував кращий результат у порівнянні з результатами інших;

в-п'ятих, використання описаного вище програмного комплексу підтримки прийняття рішень по здійсненню перевезень вантажів у відкритих мережевих ТЗ дозволить на практиці завжди вибирати найбільш вигідні, з економічної точки зору, рішення;

і нарешті *в шосте*, всі перераховані вище методи приведення відкритих ТЗ до збалансованого виду також можливо використовувати й до мережевих ТЗ. Це є обов'язковим підготовчим (попереднім) етапом перед наступним застосуванням процедур оптимізації транспортних вантажних перевезень на мережевих моделях транспортних систем.

Спільне використання описаних у роботі методів розв'язання відкритих мережевих транспортних задач, а саме методу знаходження найкоротших маршрутів на транспортній мережі й методів зведення відкритих ТЗ до збалансованого виду, дозволяє одержати високий економічний і організаційно-технічний ефект, що було доведено при знаходженні оптимальних планів вантажних перевезень на

автотранспортних підприємствах асоціації міжнародних автомобільних перевізників України.

Висновки до розділу 3

Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки у мережах (*network flow problems*). Для мережевих задач оптимізації фундаментальним є *принцип збереження потоку* в будь-якому вузлу, а саме – сума потоків $F_{вих}(x)$ на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході: $F_{вх}(x)$ + потенціал $p(x)$ вузла (+ пропозиція/– попит).

Потік у кожному вузлу мережі – це функція, яка задовольняє лінійні рівняння і нерівності, де на кожній дузі (x_i, x_j) мережі поставлено одне чи кілька позитивних чисел. Наприклад, величина $c(x_i, x_j)$ в задачі про максимальний потік є пропускною здатністю дуги (максимальна кількість продукту, яку можна доставити з вузла x_i до вузла x_j цією дугою за одиницю часу), у ТЗ – це відстань чи вартість перевезення. Отже величина потоку по дузі (x_i, x_j) не перевищує пропускної здатності цієї дуги $c(x_i, x_j)$, якщо вона зазначена.

Класичними задачами на графах є задачі побудови найкоротших шляхів та їх сукупностей у вигляді відповідних дерев чи контурів. Однією з таких задач є пошук найкоротшого шляху між двома заданими вузлами – s (джерелом) і t (стоком).

Також в розділі наводяться теоретичні відомості і практичні методи розв'язання мережевої транспортної задачі.

Представлений в роботі підхід до рішення поставленої багатоетапної транспортної задачі показує один з напрямів цього рішення, але разом з тим не претендує на загальність і єдиність, що пов'язане з наявністю в цьому підході наступних припущень:

4) на 2-ом і 3-ім етапах всіх трьох варіантів перевезення вантажу зроблено припущення про готовність всіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в об'ємах, відповідних їх первинним заявкам;

5) не розглянутий четвертий варіант перевезення вантажу, у якого

$$\sum_{i=1}^m a_i \gg \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{r=1}^l c_k \text{ (знак } \gg \text{ означає “значно більше”), що повинне спричинити за}$$

собою багатократне повторення всіх трьох вищеописаних етапів перевезення вантажу;

6) представлена модель організації перевезень вантажу не є мережевою.

Всі перераховані вище допущення були використані в описаному підході виходячи з обмеженості середовища його реалізації – табличного процесора *Excel*. У подальших наукових і експериментальних дослідженнях передбачається ці допущення зняти за рахунок використання прогресивніших програмних засобів сучасних інформаційних технологій.

РОЗДІЛ 4

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Логістичний підхід до організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах

В процесі вантажних перевезень часто виникає ситуація, коли обсяги поставок вантажу від його постачальників перевищують можливості складських приміщень його споживачів. В цьому випадку ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу і як слідство багатоетапною транспортною задачею. Також часто матриця транспортних кореспонденцій між постачальниками, споживачами і проміжними пунктами не задається в явному вигляді, а просто вводиться картосхема їх розміщення, тобто транспортне завдання задається за допомогою транспортної мережі. Наведемо опис логістичного підходу, який за допомогою використання транспортних технологій вирішує задачу оптимальної організації незбалансованих перевезень вантажу на транспортних мережах.

Внаслідок соціально-економічних змін, які відбуваються в Україні, та під впливом явищ глобалізації зазнають змін логістичні ланцюги постачання товарів та сировини на підприємствах. Вони стають довшими і складнішими за структурою. Під впливом інформаційних технологій, які супроводжують матеріальні та фінансові потоки, посилюється інтеграція окремих ланок ланцюгів постачання, які є самостійними господарськими одиницями. Також розширюється географія руху матеріальних потоків, що проявляється, зокрема, у збільшенні вантажообігу, як у міжміському [105] так і у міжнародному [106] сполученні на автомобільному транспорті

Ефективне функціонування вантажних митних комплексів (ВМК) та терміналів забезпечує оптимізацію роботи рухомого складу транспортних підприємств, що займаються вантажними перевезеннями. Технологія доставки вантажу із застосуванням ВМК у якості проміжних тимчасових пунктів його

збереження при регулярних перевезеннях дозволить збільшити кількість автопоїздів автотранспортних підприємств (АТП) на маршрутах та підвищити ефективність їх використання.

В міжнародних перевезеннях вантажів за маршрутом Україна-ЄС та ЄС-Україна пунктом перевантаження може виступати ВМК, який знаходиться на українській стороні кордону. Західні області України, які межують з країнами-членами ЄС, за умови ефективного транскордонного співробітництва, дозволяють використовувати вигідний геополітичний потенціал держави. Довгострокові проекти щодо використання ВМК вздовж західного кордону – один із варіантів раціоналізації вантажних перевезень, тому раціональна організація роботи і співпраці АТП із термінальними і складськими комплексами є дуже важливою і актуальною.

Наведемо опис логістичного підходу, який вирішує задачу поетапного транспортування вантажів (багатоетапна транспортна задача – БТЗ) в її мережевому уявленні. При цьому розглядаються два варіанти, коли сумарні складські приміщення споживачів вантажу і проміжних пунктів більше або рівні (перший), або менше (другий) обсягів вантажу, який пропонується для перевезення постачальниками вантажу.

Припустимо ми маємо m пунктів постачання (ПП) однорідного вантажу $A_1, A_2, \dots, A_m$, які мають його, відповідно, в обсягах $a_1, a_2, \dots, a_m$ і n пунктів його споживання (ПС) $B_1, B_2, \dots, B_n$, які мають заявки на нього в обсягах, відповідно, $b_1, b_2, \dots, b_n$ (рис. 4.1). Причому загальні обсяги поставок цього вантажу перевищують загальні обсяги заявок на нього, а саме:

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j. \quad (4.1)$$

Припустимо також, що є l проміжних складських пунктів (СП) $C_1, C_2, \dots, C_l$ для тимчасового зберігання надлишків вантажу, які можуть вміщати його в обсягах, відповідно, $c_1, c_2, \dots, c_l$, при цьому можуть виникнути два різних варіанта

співвідношень $\sum_{i=1}^m a_i, \sum_{j=1}^n b_j$ і $\sum_{k=1}^l c_k$ при обов'язковому виконанні умови (4.1):

1-й варіант:
$$\sum_{j=1}^n b_j + \sum_{k=1}^l c_k \geq \sum_{i=1}^m a_i, \quad (4.2)$$

2-й варіант:
$$\sum_{j=1}^n b_j + \sum_{k=1}^l c_k < \sum_{i=1}^m a_i. \quad (4.3)$$

Розглянемо найбільш цікавий з практичної точки зору 2-й варіант доставки вантажу (4.3) на конкретному прикладі, у якому схема розташування пунктів поставки та отримання вантажу представлена у вигляді дорожньо-транспортної мережі (ДТМ). На ДТМ вказуються: основні вантажоутворюючі і вантажопоглинаючі пункти; середній час руху між ними (рис. 4.1), а саме: ПП вантажу відмічені чорними кружками (Гайсин – А1, Одеса – А2), ПС вантажу – чорними квадратами (Черкаси – В1, Харків – В2, Запоріжжя – В3, Миколаїв – В4) та СП – чорними трикутниками (Кропивницький – С1, Дніпро – С2, Кривий Ріг – С3).

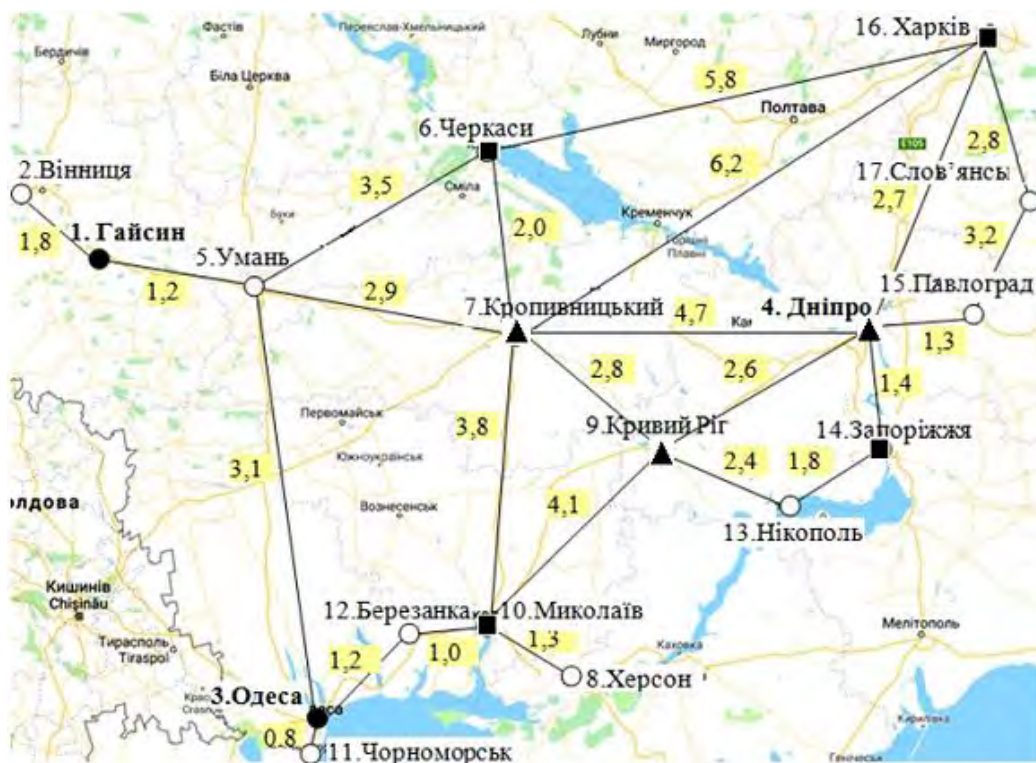


Рисунок 4.1 – Дорожньо-транспортна мережа

На ДТМ кількість ПП вантажу $m = 2$ (A_1, A_2), в яких $a_1 = 10$ одиниць вантажу (о.в.), $a_2 = 10$ о.в.; кількість ПС вантажу $n = 4$ (B_1, B_2, B_3, B_4), в яких $b_1 = 2$ о.в., $b_2 = 2$

$\text{Гайсин} \rightarrow \text{Умань} \rightarrow \text{Черкаси} = 4.7;$

$\text{Гайсин} \rightarrow \text{Умань} \rightarrow \text{Кропивницький} \rightarrow \text{Харків} = 10.3;$

$\text{Гайсин} \rightarrow \text{Умань} \rightarrow \text{Кропивницький} \rightarrow \text{Дніпро} \rightarrow \text{Запоріжжя} = 10.2;$

$\text{Гайсин} \rightarrow \text{Умань} \rightarrow \text{Одеса} \rightarrow \text{Березанка} \rightarrow \text{Миколаїв} = 6.5.$

Таблиця 4.1 – Відстані від ПП до ПС і СП

Пункти ПП\ПС	Черкаси	Харків	Запоріжжя	Миколаїв	Пункти ПП\СП	Кропивницький	Дніпро	Кривий Ріг
Гайсин	4.7	10.3	10.2	6.5	Гайсин	4.1	8.8	6.9
Одеса	6.6	11.6	10.3	2.2	Одеса	6	8.9	6.3

Таблиця 4.2 – Відстані від СП до ПС

Пункти ПП\СП	Черкаси	Харків	Запоріжжя	Миколаїв
Кропивницький	2	6.2	6.1	3.8
Дніпро	6.7	2.7	1.4	6.7
Кривий Ріг	4.8	5.3	4	4.1

З метою розв’язання проблеми планування і подальшого здійснення масових вантажних перевезень на ДТМ був спроектований програмний комплекс (ПК) за допомогою алгоритмічної мови програмування *Delphi* та макросів *Visual Basic for Application* для сумісної роботи з табличним процесором *Excel*.

Процес функціонування ПК включає 4 кроки, які представлені на рис. 4.3-4.6.

На рис. 4.3 представлено діалогове вікно завдання структури перевезень, тобто кількості ПП, ПС та СП.

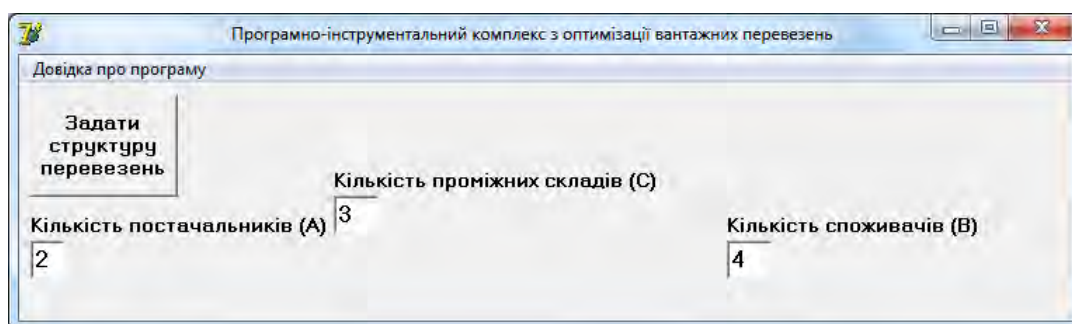


Рисунок 4.3 – Діалогове вікно 1-го кроку роботи ПК

На рис. 4.4 представлено діалогове вікно введення обсягів перевезення вантажу.

Програмно-інструментальний комплекс з оптимізації вантажних перевезень

Довідка про програму

Задати обсяги перевезень

	C1	C2	C3
	1	1	1

Кількість проміжних складів (C)

Кількість постачальників (A)

2

Кількість споживачів (B)

4

A1

10

A2

10

B1

2

B2

2

B3

2

B4

2

Рисунок 4.4 – Діалогове вікно 2-го кроку роботи ПК

На рис. 4.5 представлено діалогове вікно введення матриці транспортних комунікацій ТМ, тобто найкоротших відстаней між ПП і ПС, ПП і СП, СП і ПС (див. табл. 4.1-4.2).

Програмно-інструментальний комплекс з оптимізації вантажних перевезень

Довідка про програму

Задати матриці транспортних комунікацій

	C1	C2	C3
	1	1	1

Кількість проміжних складів (C)

3

Кількість постачальників (A)

2

Кількість споживачів (B)

4

Відстані між A і C

	C1	C2	C3
A1	1	3	3
A2	4	6	6

Відстані між C і B

	B1	B2	B3	B4
C1	2	3	4	3
C2	4	5	3	2
C3	3	1	2	1

Відстані між A і B

	B1	B2	B3	B4
A1	3	4	6	4
A2	3	5	7	7

A1

10

A2

10

B1

2

B2

2

B3

2

B4

2

Рисунок 4.5 – Діалогове вікно 3-го кроку роботи ПК

Рис. 4.6 містить діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК, на якому схематично представлені результати його виконання, а саме: обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 54.9 у.з.о.); обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і СП C_1, C_2, C_3 також на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 19.3 у.з.о.); обсяги перевезення вантажу між СП C_1, C_2, C_3 і ПС B_1, B_4 на *другому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 7.4 у.з.о.); обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 на *третьому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 55 у.з.о.); сумарна вартість (поточна) здійснення усіх трьох етапів доставки вантажу складає 136.6 у.з.о.

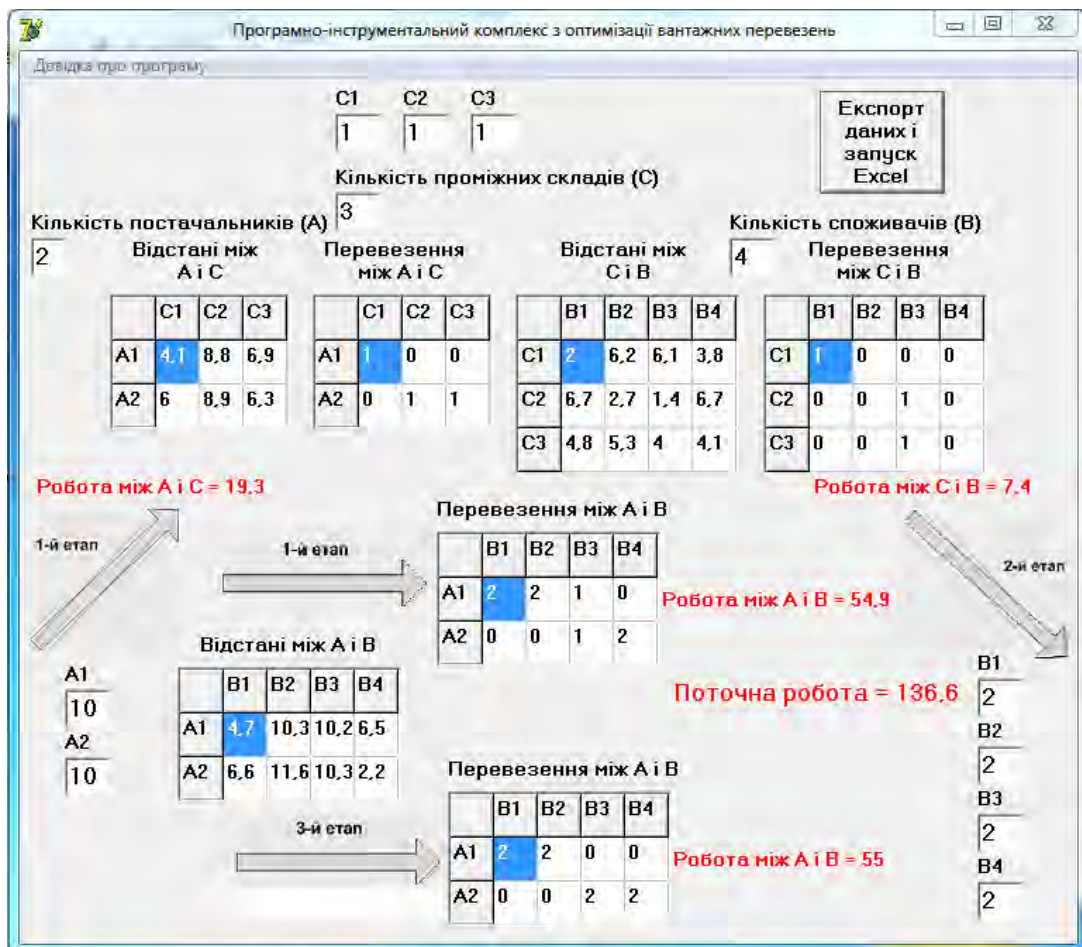
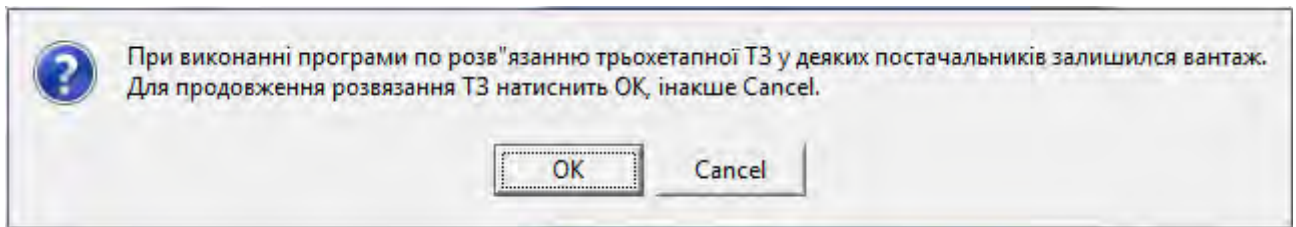


Рисунок 4.6 – Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК

У той же час на екран виводиться інформаційне повідомлення, яке інформує користувача про продовження розрахунків:



Після натискання клавіші ОК розв'язання БТЗ продовжується і у результаті на рис. 4.7 представлено діалогове вікно по доставці вантажу по суті на *четвертому етапі*. На цьому рисунку (див. рис. 4.7) схематично представлені результати виконання цього останнього кроку роботи ПК, а саме: обсяги перевезення вантажу між ПП A_2 і PS B_1 вартістю у 2.2 *у.г.о.* і сумарна вартість (остаточна) здійснення усіх чотирьох етапів доставки вантажу, яка складає 138.8 *у.г.о.*

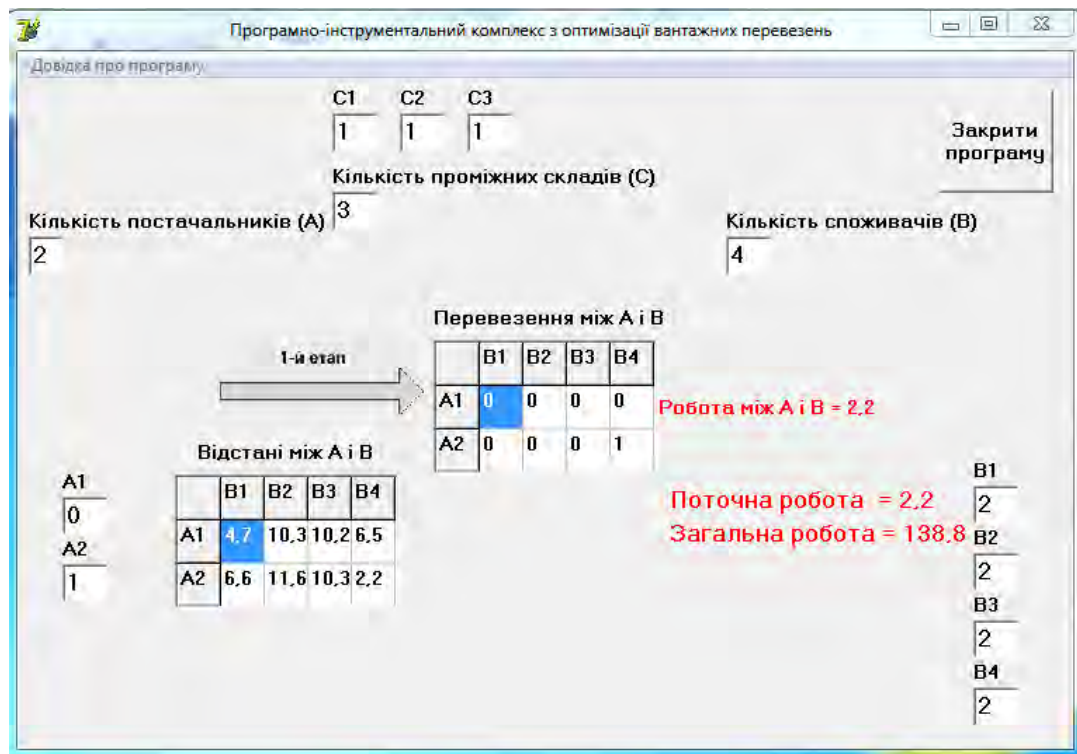


Рисунок 4.7 – Діалогове вікно 4-го етапу розв'язання БТЗ

4.2 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: $\{(i_1, i_2); (i_2, i_3); \dots, (i_{n-1}, i_n); (i_n, i_1)\}$.

Задача про цикли Гамільтона в теорії графів отримала різні узагальнення [99]. 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 [107].

Постановка задачі про комівояжера. Є n міст. Задано матрицю відстаней між ними $C = |C_{ij}|$. У загальному випадку $C_{ij} \neq C_{ji}$. Виїхавши 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.

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

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij}, \quad (4.4)$$

при наступних умовах:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (4.6)$$

$$u_i - u_j + n \cdot x_{ij} \leq n - 1 \quad i, j = 1, 2, \dots, n; i \neq j. \quad (4.7)$$

де u_i, u_j – довільні цілі невід’ємні числа.

Умова (4.5) означає, що комівояжер в’їжджає один раз у кожне місто. Умова (4.6) означає, що він виїжджає з кожного міста один раз. Умова (4.7) забезпечує замкненість маршруту, що містить n пунктів, і відсутність петель [108].

Інформатизація суспільства – 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.

Не можливо оцінити важливість застосування інформаційних технологій у галузі транспорту. Оптимізація схем доставки вантажів є однією з ключових у транспортній галузі та логістики. 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. 4.8).

ПП в Польщі обрані відповідно до ПП в Україні (див. рис. 4.8), 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.

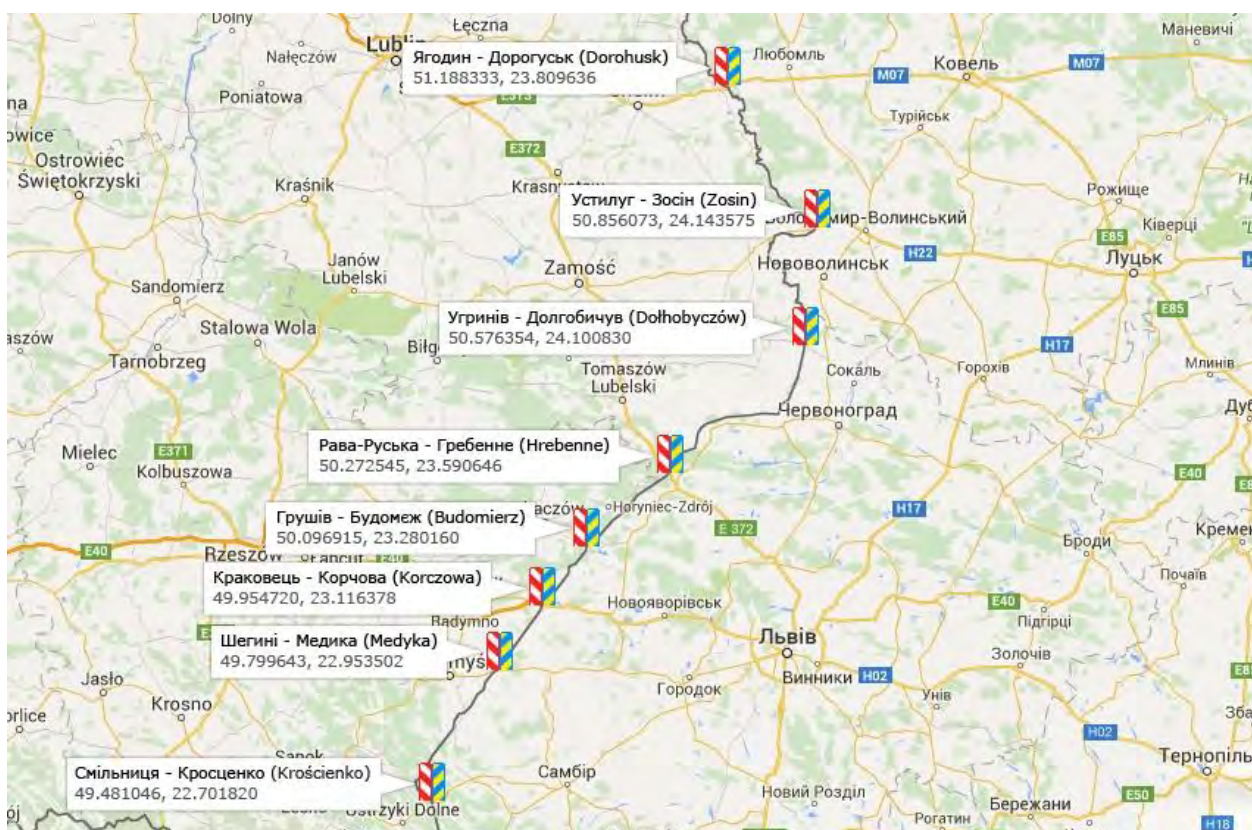


Рисунок 4.8 – Автомобільні пункти пропуску на українсько-польському кордоні

У середовищі СУБД Microsoft Access була створена база даних з відповідними відстанями між ПП, пунктами відправлення та пунктами відправлення (рис 4.9).

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	

Рисунок 4.9 – База даних відстаней між ПП, пунктами відправлення та пунктами призначення

Для зручності подальших розрахунків дані по цих відстанях автоматично переформовуються у файл табличного процесора Microsoft Excel, як показано на рис. 4.10. Програмне забезпечення з розв'язання задачі комівояжера спроектовано за допомогою алгоритмічної мови програмування Delphi.

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 ($V_t = 65$ 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	Устилуг (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

Рисунок 4.10 – Відстані між ПП, пунктами відправлення та пунктами призначення у форматі файлу Microsoft Excel

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 завантажуюмо 20 т деревних пелет. Навантаження здійснюється механізованим способом. У 4 містах Польщі розвантажуюмо по 5 т вантажу, а в останньому завантажуює 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 ($\gamma_{cm}=1$). Слід зауважити, що стосовно додавання до 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.

Програма формує відповідно таблицю, яка чітко показує відстані між вказаними містами та ПП. Завдяки чому ми зможемо побудувати можливі замкнуті маршрути і мати змогу обрати із всіх варіантів найкоротший (рис. 4.11).

Встановлено, що використовуючи комбінаторний метод [103] програма автоматично обчислює сумарну відстань маршруту і обирає той, де відстань між містами – найкоротша. Картосхема визначеного маршруту представлена на рис. 4.12.

Дубрівка	0	314	0	0	338	0	0
Устилуг (ПП)	314	0	5	0	83	0	0
Зосін (ПП/PL)	0	5	0	48	0	307	515

Дубрівка → Устилуг (ПП) → Зосін (ПП/PL) → Слупськ → Верушув → Ельблонг → Варшава → Дорогуськ (ПП/PL) → Ягодин (ПП) → Дубрівка → = 2938
Дубрівка → Устилуг (ПП) → Зосін (ПП/PL) → Слупськ → Ельблонг → Варшава → Верушув → Дорогуськ (ПП/PL) → Ягодин (ПП) → Дубрівка → = 2655
Дубрівка → Устилуг (ПП) → Зосін (ПП/PL) → Слупськ → Ельблонг → Верушув → Варшава → Дорогуськ (ПП/PL) → Ягодин (ПП) → Дубрівка → = 2623

= Самий найкоротший замкнутий маршрут з 24 можливих =

Дубрівка → Устилуг (ПП) → Зосін (ПП/PL) → Варшава → Ельблонг → Слупськ → Верушув → Дорогуськ (ПП/PL) → Ягодин (ПП) → Дубрівка → = 2390 км
36,76 год на транспортування
45 хв на проходження 1-го пункту пропуску - Устилуг (ПП)
40 хв на проходження 2-го пункту пропуску - Зосін (ПП/PL)
35 хв на проходження 3-го пункту пропуску - Дорогуськ (ПП/PL)
40 хв на проходження 4-го пункту пропуску - Ягодин (ПП)
760 хв на розвантаження/навантаження

52,10 год на виконання всього маршруту !!!

Рисунок 4.11 – Результат роботи програми

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.

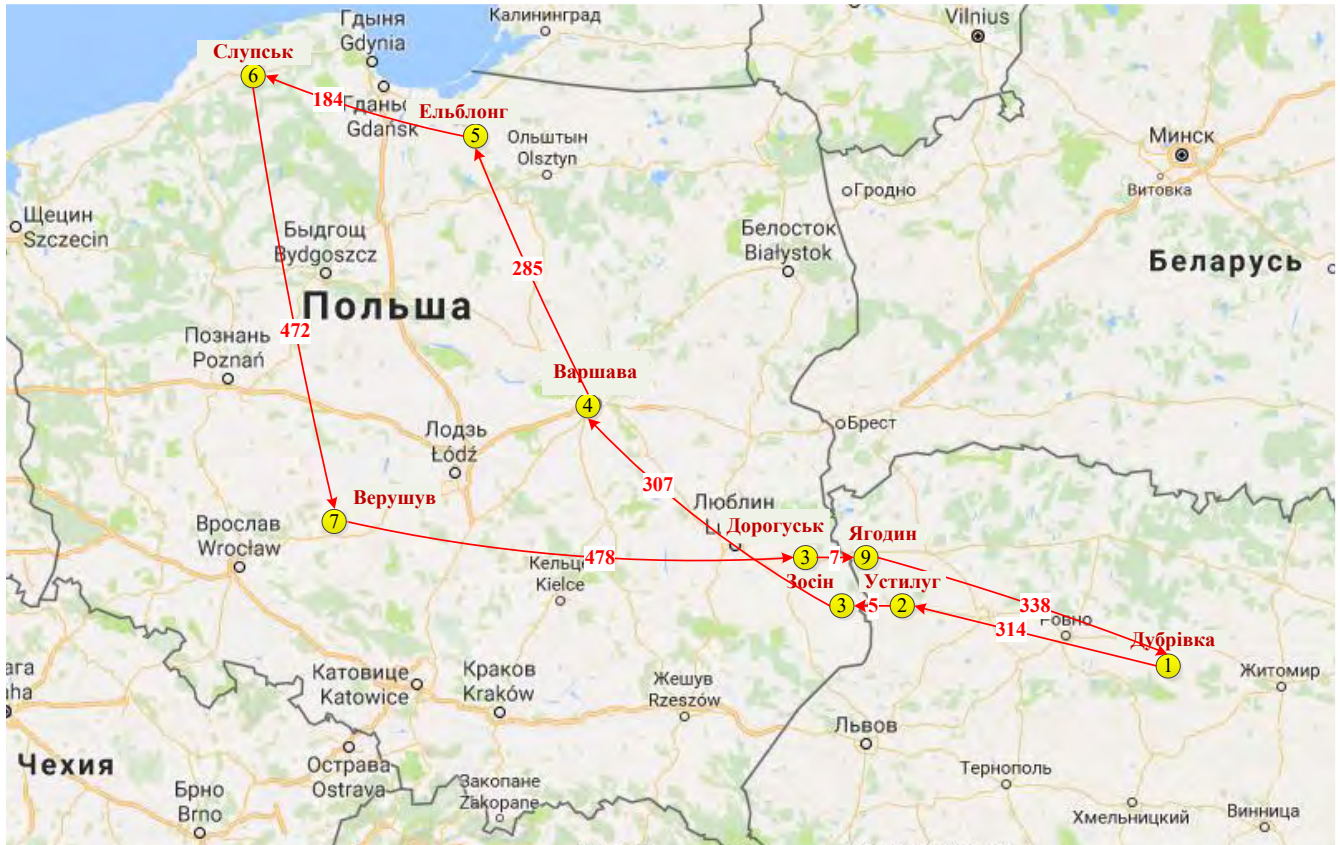


Рисунок 4.12 – Картосхема визначеного замкнутого маршруту

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.

Нижче представлений приклад розв'язання задачі комівояжера для $n = 9$ (одне місто-постачальник в Україні, два ПП в Україні, два ПП в Польщі, чотири міста-споживачі у Польщі) в табличному процесорі Microsoft Office Excel за допомогою функції «Пошук рішення». Обираємо такі ж ПП і міста, як і у попередньому прикладі.

На рис. 4.13 представлено зображення Excel-таблиці з вихідними даними (відстанями) між містами. Проте, щоб мати можливість розв'язати задачу комівояжера не тільки для повних (повністю орієнтованих) графів, а і для будь-яких, необхідно у матриці транспортних кореспонденцій відсутність дуги між вузлами позначати нескінченністю $V_{ij} = \infty$. Це означає, що в діагональ таблиці потрібно ввести числа значно більші за максимальну відстань, а саме, припустимо 99999. Також це значення вводимо в клітинки (i, j) початкової таблиці даних, де не існує дуги з вузла i у вузол j . Організацію процесу обчислень задачі комівояжера в Excel в загальному можна розділити на 5 кроків:

1-й крок: Введення початкових даних (див. рис 4.13).

2-й крок: Формування матриці X , підрахунок сум елементів по рядках і стовпцях (рис. 4.14).

3-й крок: Формування матриці обмежень зв'язності та цільової функції (рис. 4.15).

4-й крок: Формування моделі задачі оптимізації (рис. 4.16).

4-й крок: Отримання кінцевого результату (рис. 4.17).

	Дубрівка	Ягодин	Устилуг	Дорогуськ	Зосін	Варшава	Верушув	Ельблонг	Слупськ
Дубрівка	99999	338	314	99999	99999	99999	99999	99999	99999
Ягодин	338	99999	83	7	99999	99999	99999	99999	99999
Устилуг	314	83	99999	99999	5	99999	99999	99999	99999
Дорогуськ	99999	7	99999	99999	48	270	478	539	734
Зосін	99999	99999	5	48	99999	307	515	583	786
Варшава	99999	99999	99999	270	307	99999	258	285	471
Верушув	99999	99999	99999	478	515	258	99999	461	472
Ельблонг	99999	99999	99999	539	583	285	461	99999	184
Слупськ	99999	99999	99999	734	786	471	472	184	99999

Рисунок 4.13 – Вихідна матриця відстаней між містами

	Дубрівка	Ягодин	Устилуг	Дорогуськ	Зосін	Варшава	Верушув	Ельблонг	Слупськ	Виходять
Дубрівка										0
Ягодин										0
Устилуг										0
Дорогуськ										0
Зосін										0
Варшава										0
Верушув										0
Ельблонг										0
Слупськ										0
Входить	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Рисунок 4.14 – Формування матриці X , підрахунок сум елементів по рядках і стовпцях

	Дубрівка	Ягодин	Устилуг	Дорогуськ	Зосін	Варшава	Верушув	Ельблонг	Слупськ	Zi
Дубрівка	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ягодин	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Устилуг	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Дорогуськ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Зосін	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Варшава	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Верушув	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ельблонг	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Слупськ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zj										

Рисунок 4.15 – Формування матриці обмежень зв'язності цільової функції

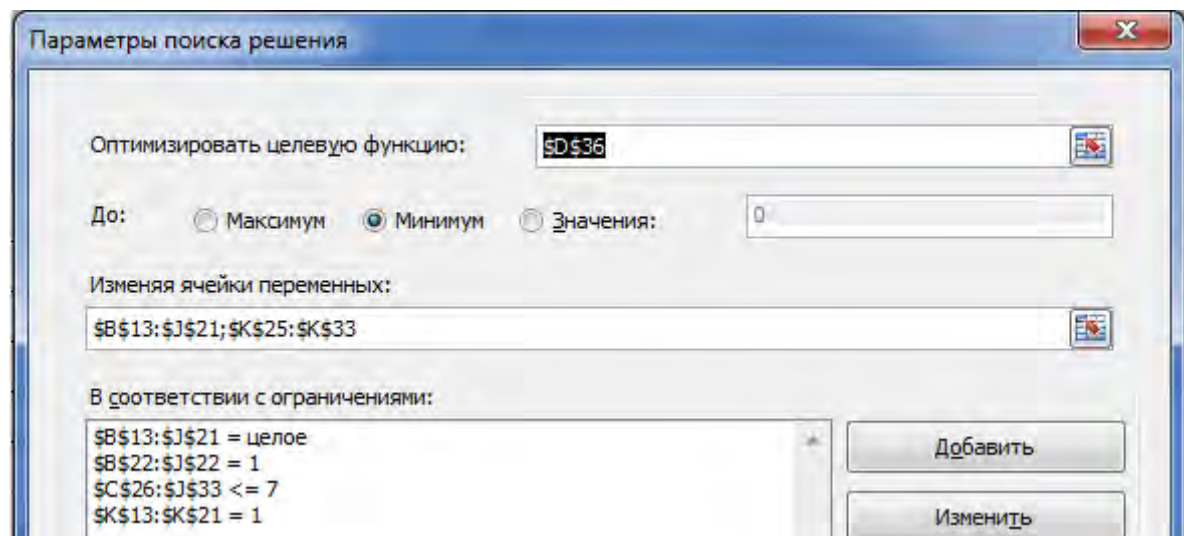


Рисунок 4.16 – Формування моделі задачі оптимізації

Отже, на основі розрахунків в табличному процесорі Excel отримано оптимальний замкнутий маршрут транспортування вантажу (рис. 4.18).

Довжина отриманого маршруту (Дубрівка → Ягодин → Дорогуськ → Варшава → Ельблонг → Слупськ → Верушув → Зосін → Устилуг → Дубрівка) складає 2390 км. Слід зазначити, що у двох варіантах розв'язання цієї задачі (за допомогою програмного середовища Delphi і табличного процесора Excel), було отримано однаковий маршрут довжиною 2390 км, хоча послідовність проходження міст відрізняється.

	Дубрівка	Ягодин	Устилуг	Дорогуськ	Зосін	Варшава	Верушув	Ельблонг	Слупськ	Виходять
Дубрівка	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Ягодин	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Устилуг	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Дорогуськ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Зосін	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Варшава	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Верушув	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Ельблонг	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Слупськ	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Входить	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Дубрівка	Ягодин	Устилуг	Дорогуськ	Зосін	Варшава	Верушув	Ельблонг	Слупськ	Zi
Дубрівка	0	8	-7	-1	-6	-2	-5	-3	-4	0
Ягодин	0	0	-7	7	-6	-2	-5	-3	-4	0
Устилуг	15	7	0	6	1	5	2	4	3	7
Дорогуськ	1	1	-6	0	-5	7	-4	-2	-3	1
Зосін	6	6	7	5	0	4	1	3	2	6
Варшава	2	2	-5	1	-4	0	-3	7	-2	2
Верушув	5	5	-2	4	7	3	0	2	1	5
Ельблонг	3	3	-4	2	-3	1	-2	0	7	3
Слупськ	4	4	-3	3	-2	2	7	1	0	4
Zj										
Цільова функція		2390,0								

Рисунок 4.17 – Отримання кінцевого результату

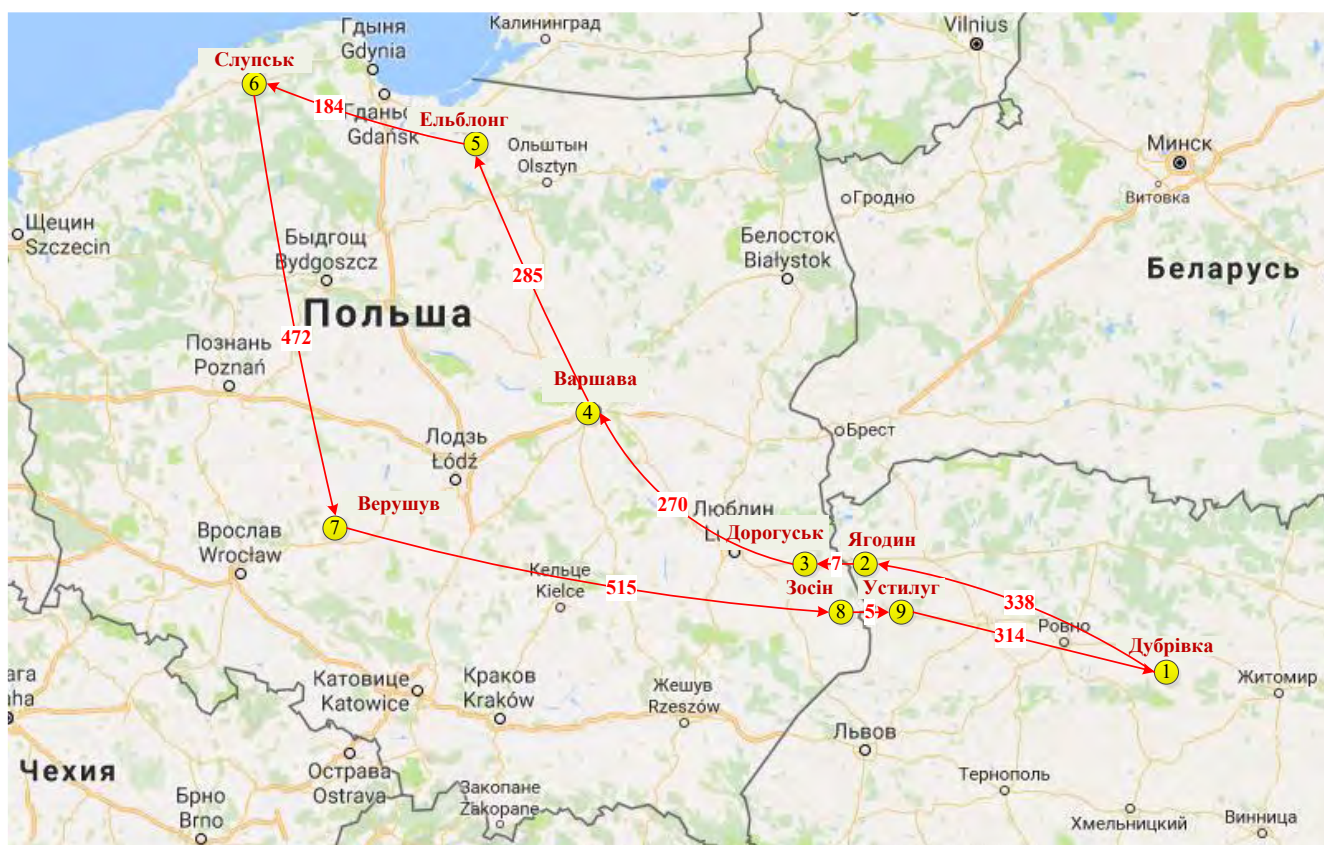


Рисунок 4.18 – Представлення оптимального маршруту перевезення на карті

4.3 Прийняття рішень в умовах невизначеності при організації міжнародних вантажних перевезень

Процес виконання міжнародних вантажних перевезень є досить складним та громіздким з позиції організації самої технології підготовчо-заклучних операцій, навантажувально-розвантажувальних робіт, оформлення товаро-супровідних документів та безпосереднього транспортування вантажів. Все це пов'язано із можливими ризиками, які можуть виникати на будь-якому із етапів організації та виконання перевезень і, в кінцевому результаті, негативно впливати на показники ефективності процесу міжнародних перевезень вантажів, таких як: тривалість доставки, загальні витрати, якість виконання перевезення в цілому тощо.

Забезпечити максимальний рівень якості та мінімізувати витрати на виконання міжнародних вантажних перевезень можливо шляхом оптимального вибору заходів по зменшенню негативних впливів об'єктів перевезення на кожному етапі процесу доставки вантажів від вантажовідправника до його вантажоодержувача.

Розглянемо використання математичного апарату теорії ігор з природою під час виконання процесу перевезення вантажів у міжнародному сполученні при використанні власного та запозиченого рухомого складу, метою якого є зменшення впливу ризиків, які можуть виникати під час перевезення і, певним чином, підвищувати транспортний тариф, а відповідно і загальну прибуток автопідприємства від доставки вантажів.

В широкому розумінні, теорія ігор займається теорією математичних моделей прийняття оптимальних рішень в умовах конфлікту. Тобто основна мета застосування теорії ігор для будь-якого соціально-економічного явища полягає у дослідженні питань поведінки та розробці оптимальних правил (стратегій) поведінки для кожного з учасників гри. Розв'язання суперечностей за допомогою теорії ігор можливе лише після проведення математичного моделювання ситуації у вигляді гри.

Одна з характерних рис будь-якого процесу полягає у множинності, різнобічності інтересів, в наявності сторін, що мають не завжди однакові інтереси та

цілі, або хоча б у наявності кількох різних активних точок зору стосовно явища та його результату. Тому можна сказати, що будь-якому соціально-економічному явищу властиві риси конфлікту.

Отже, адекватна математична модель соціально-економічного явища повинна відображати властиві йому риси конфлікту: відмінність інтересів сторін – учасників конфлікту, а також різноманітність відповідних дій, які ці сторони можуть здійснювати для досягнення своїх цілей [109, 110].

Задачі прийняття рішень в умовах невизначеності близькі за ідеями та методами до теорії ігор. Основна відмінність полягає в тому, що для таких задач відсутні конфліктна ситуація та протидія супротивників, і притаманний елемент невизначеності, пов'язаний із недостатньою поінформованістю про умови, в яких необхідно буде приймати рішення відповідальній особі (особа, яка приймає рішення – ОПР). Такі умови для будь-якого соціально-економічного явища залежать від дійсності, яку прийнято називати природою (іноді – середовищем), поведінка якої невідома і не містить свідомої протидії [107, 111].

Під терміном «природа» розуміють всю сукупність зовнішніх обставин, в яких ОПР необхідно буде приймати рішення. В іграх з природою ступінь невизначеності зростає при прийнятті рішення ОПР, так як у стратегічних іграх кожний із її учасників очікує гіршого для себе результату від дій супротивника, то природа навпаки може приймати такі відповідні дії, які їй зовсім не вигідні, але будуть вигідні для ОПР.

Зазвичай людина (ОПР), здійснюючи будь-яку соціально-економічну дію, стикається з проблемою прийняття рішення в умовах множини факторів, які впливають на саме рішення. В подібних випадках ефективно використовувати матричні ігри, які допомагають спростити ситуацію, яка склалася і повністю оцінити важливість кожного з факторів. Прийняття рішення в умовах невизначеності – це одна із задач теорії оптимальних рішень. Для вирішення подібних ситуацій розроблені спеціальні математичні методи, які розглядаються у теорії ігор.

Метою цього підходу є вирішення задачі по визначенню рекомендацій та пріоритетного порядку реалізації дій щодо зниження ризиків при виконанні

міжнародних вантажних перевезень за допомогою використання теорії статистичних рішень, а саме математичної моделі «Гра з природою». Оптимальність буде визначатися за допомогою критеріїв відносно ризиків такого соціально-економічного явища як процес транспортування вантажів у міжнародному сполученні за фактором його вартості.

Формально вивчення ігор з природою, так само, як і стратегічних ігор, повинно починатися із побудови платіжної матриці, що являється, по суті, найбільш трудомістким етапом підготовки прийняття рішення. Помилки у платіжній матриці не можуть бути компенсовані ніякими розрахунковими методами і можуть привести до неправильного кінцевого результату.

Відмінна риса гри з природою відображається у тому, що в ній свідомо діє тільки один із учасників (ОПР), якого називають гравцем. Другому учаснику (природі) не важливий результат, вона лише визначає зовнішні фактори, при яких буде відбуватися ситуація, для якої і необхідно запропонувати кінцеві рішення.

Пам'ятаємо, що існує два класичних різновиди задач ігор з природою:

–задачі прийняття рішень в умовах ризику, коли відомі ймовірності з якими природа може приймати кожне з можливих станів;

–задачі прийняття рішення в умовах невизначеності, коли немає можливості отримати інформацію щодо ймовірностей появи станів природи.

Отже, змодельуємо у термінах гри з природою ситуацію такого соціально-економічного явища як процес транспортування вантажів у міжнародному сполученні і побудуємо для неї платіжну матрицю.

Визначаємо учасників гри:

Гравець – це автопідприємство, яке виконує перевезення вантажів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні і повністю відповідає за організацію усього процесу доставки вантажів, включаючи всі підготовче-заклучні операції, навантажувально-розвантажувальні роботи, оформлення товаро-супровідних документів та безпосереднього підбір рухомого складу та транспортування вантажів.

Природа – це обсяги вантажів, які необхідно транспортувати, відповідно до отриманих заявок від замовників послуги (попит на перевезення).

Стратегії гравця – середній обсяг вантажів в умовних одиницях вантажу (у.о.в.), який може бути доставлений замовникам власним або комбінованим (власним + запозиченим) рухомим складом (РС): $X_i = (100, 110, 120, 130, 140, 150)$ ($i = 1, 6$).

Стратегії природи – необхідний обсяг вантажу, який залежить від поточних потреб замовників перевезень $S_j = (50, 100, 150, 200)$ ($j = 1, 4$).

Елементи платіжної матриці a_{ij} – це різниця між тарифом замовників, який вони повинні будуть оплатити для виконання їх замовлення на перевезення певного обсягу вантажів та безпосередніми затратами підприємства на організацію процесу транспортування вантажів у міжнародному сполученні, тобто це очікуваний прибуток підприємства.

Приймаємо, що обсяг вантажу 100 у.о.в. можна транспортувати власним РС підприємства, все що більше — потребує залучення запозичених автомобілів, а відповідно, додаткових витрат на пошук та оренду цих автомобілів, що відобразиться на вартості перевезення.

Технічне обслуговування власного РС складає 1 умовну грошову одиницю (у.г.о.) на кожну замовлену у.о.в., при залученні запозичених автомобілів, приймаємо додатково плюс 0,5 у.г.о.

Безпосередньо на виконання перевезення встановлюємо тариф 5 у.г.о. на кожну замовлену у.о.в. Якщо попит перевищуватиме пропозицію, то підвищуємо тариф на 10% . Побудуємо платіжну матрицю (табл. 4.3).

Для знаходження оптимальної стратегії застосуємо різні критерії вибору оптимального рішення. Використовуємо вирішальні правила, що відображають поінформованість ОПР про можливі наслідки рішень та їх переваги.

В детермінованій ситуації розуміється, що ОПР точно знає стан природи, тому можливо і точно розрахувати результати для всіх стратегій, і зробити остаточний вибір відносно нескладно. Достатньо порівняти результати, які забезпечують різні

стратегії і обрати той, який дає найбільший виграш при цьому єдиному стані. Для цього застосовується операція числового порівняння [112].

Таблиця 4.3 – Платіжна матриця (a_{ij})

	Вартість доставки для замовника	$5 \cdot 50=250$	$5 \cdot 100=500$	$5 \cdot 150=750$	$5 \cdot 200=1000$
Собівартість доставки	S_j X_i	50	100	150	200
$100 \cdot 1=100$	100	$250-100=150$	$500-100=400$	$(5 \cdot 1,1 \cdot 100)-100=450$	450
$100 \cdot 1+10 \cdot 1,5=115$	110	$250-115=135$	$500-115=385$	$(5 \cdot 1,1 \cdot 110)-115=490$	490
$100 \cdot 1+20 \cdot 1,5=130$	120	$250-130=120$	$500-130=370$	$(5 \cdot 1,1 \cdot 120)-130=530$	530
$100 \cdot 1+30 \cdot 1,5=145$	130	$250-145=105$	$500-145=355$	$(5 \cdot 1,1 \cdot 130)-145=570$	570
$100 \cdot 1+40 \cdot 1,5=160$	140	$250-160=90$	$500-160=340$	$(5 \cdot 1,1 \cdot 140)-160=610$	610
$100 \cdot 1+50 \cdot 1,5=175$	150	$250-175=75$	$500-175=325$	$750-175=575$	$(5 \cdot 1,1 \cdot 150)-175=650$
	β_j	150	400	610	650

У ситуації невизначеності є декілька можливих станів і різні стратегії забезпечують в кожному стані різний виграш. Тобто, у нас є декілька стратегій, кожна з яких представляє собою сукупність значень виграшів при відповідних станах природи. Ці виграші неможливо просто математично порівняти, використовуючи поняття «більше-менше». І якщо серед стратегій немає домінуючих, це значить, що при різних станах природи найкращий результат можна отримати при різних стратегіях. Порівняти їх між собою та вибрати оптимальний можливо за допомогою так званих критеріїв вибору.

Основна ідея будь-якого критерію: замінити цілу множину значень виграшів одним числовим показником, який характеризує дані виграші з певної точки зору, а потім, просто порівняти між собою числові значення цих показників.

У якій стратегії цей числовий показник виявиться «кращим» (більше чи менше – залежить від виду критерію та ситуації), та стратегія і буде вважатися оптимальною за даним критерієм. Ідея проста, але ефективна. Однак істотним

недоліком будь-якого критерію є «втрата інформації» через «стиснення» цілої множини значень виграшів у єдине число.

У загальному випадку порядок застосування критерію виглядає наступним чином:

- 1) на першому етапі вибирається критерій, за яким буде відбуватися вибір;
- 2) для кожної стратегії розраховується значення обраного критерію;
- 3) стратегії порівнюються шляхом звичайного порівняння числових значень відповідних їм значень критеріїв;
- 4) за результатами порівняння оптимальною вважається стратегія, яка має краще значення критерію.

Розглянемо чотири найвідоміші критерії прийняття рішень, які можна використовувати при порівнянні стратегій у ситуації невизначеності, саме: 1. Критерій Вальда; 2. Критерій Лапласа; 3. Критерій Севіджа; 4. Критерій Гурвіца.

Якщо дуже бояться програти, використовують *максимінний критерій Вальда*. Він виражає позицію «крайнього песимізму» і орієнтується на гірші умови. Оптимальна стратегія, вибрана за критерієм Вальда, гарантує виграш у будь-якому випадку не менший ніж «нижня ціна» гри з природою.

Минимаксний критерій Севіджа теж край песимістичний, але орієнтується на ризик. Його використовують, якщо ризик прийнятний, і замовник вкладає кошти, щоб потім не пожалкувати, що мало вклав. Оптимальна стратегія та, при якій величина ризику в найгірших умовах мінімальна.

Коли немає інформації про обставини, в яких приймається рішення, застосовують *нейтральний критерій Лапласа*. Всі стани природи вважають рівноймовірнісними. Оптимальна стратегія та, що дає максимальний середній виграш.

Критерій Гурвіца передбачає більш урівноважений вибір між позицією крайнього песимізму та позицією крайнього оптимізму. Вибирають стратегію, у рядку якої стоїть найбільший елемент матриці Гурвіца. Коефіцієнт довіри α вибирають з суб'єктивних міркувань: чим небезпечніша ситуація і чим більше ми хочемо підстрахуватися, чим менша наша схильність до ризику, тим ближче α до

нуля. При впевненості в удачі α приймають близьким до одиниці. У таблиці 4.4 наведено формули вирішальних правил кожного із критеріїв вибору рішення.

Таблиця 4.4 – Вирішальні правила для критеріїв Вальда, Севіджа, Лапласа, Гурвіца

Назва критерію	Формула	Примітка
Вальда	$W = \max_i \min_j a_{ij}$	Нижня ціна гри
Севіджа	$S = \min_i \max_j r_{ij}$	$r_{ij} = \beta_j - a_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij} \geq 0$
Лапласа	$L = \max_i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij}$	де n – кількість станів природи
Гурвіца	$H = \max_i \left[\alpha \times \max_i a_{ij} + (1-\alpha) \times \min_j a_{ij} \right]$	де α – коефіцієнт довіри, $0 \leq \alpha \leq 1$

Для знаходження оптимальної стратегії за критерієм Вальда визначаємо найменший виграш (величина прибутку) для кожної стратегії, а потім серед цих найменших вибираємо найбільше значення і вказуємо відповідну стратегію:

$$\min a_{1j} = 150; \min a_{2j} = 135; \min a_{3j} = 120; \min a_{4j} = 105; \min a_{5j} = 90; \min a_{6j} = 75$$

$$W = \max (\min a_{ij}) = \max (150, 135, 120, 105, 90, 75) = 150, \text{ тобто } x_{opt} = X_1.$$

Для знаходження оптимальної стратегії за критерієм Севіджа (мінімізація ризиків) потрібно побудувати матрицю ризиків (r_{ij}). Елементами матриці ризиків є величини ризиків r_{ij} , що представляють собою різницю між найбільшим виграшом β_j при даному стані природи S_j та виграшом a_{ij} , який гарантує вибрана стратегія гравця X_i . Розрахуємо значення r_{ij} та побудуємо матрицю ризиків (табл. 4.5).

У крайньому правому стовпчику матриці ризиків покажемо максимальний ризик при застосуванні кожної стратегії. Оптимальною буде та, за якої ризик мінімальний. Це стратегія $x_{opt} = X_5$.

Таблиця 4.5 – Матриця ризиків (r_{ij})

$S_j \backslash X_i$	50	100	150	200	$\max r_{ij}$
100	150-150=0	400-400=0	610-450=160	650-450= 200	200
110	150-135=15	400-385=15	610-490=120	650-490= 160	160
120	150-120=30	400-370=30	610-530=80	650-530= 120	120
130	150-105=45	400-355=45	610-570=40	650-570= 80	80
140	150-90= 60	400-340= 60	610-610=0	650-610=40	60
150	150-75= 75	400-325= 75	610-575=35	650-650=0	75
β_j	150	400	610	650	

Також виконаємо розрахунки за виразами для вирішального правила за критерієм Лапласа. Для знаходження оптимальної стратегії потрібно визначити середній виграш при застосуванні кожної стратегії:

$$\begin{aligned}
 (a_{1j})_{cp} &= (150 + 400 + 450 + 450)/4 = 362,5 \\
 (a_{2j})_{cp} &= (135 + 385 + 490 + 490)/4 = 375 \\
 (a_{3j})_{cp} &= (120 + 370 + 530 + 530)/4 = 387,5 \\
 (a_{4j})_{cp} &= (105 + 355 + 570 + 570)/4 = 400 \\
 (a_{5j})_{cp} &= (90 + 340 + 610 + 610)/4 = \mathbf{412,5} \\
 (a_{6j})_{cp} &= (75 + 325 + 575 + 650)/4 = 396,25
 \end{aligned}$$

а потім вибираємо ту стратегію, для якої ця величина максимальна. Це стратегія $x_{opt} = X_5$.

Для знаходження оптимальної стратегії за критерієм Гурвіца потрібно розрахувати значення елементів матриці Гурвіца h_{ia} для різних величин коефіцієнта довіри (табл. 4.6), потім для кожного коефіцієнта довіри визначити серед цих значень елементів максимальне значення. Найбільше з отриманих максимальних значень і буде відповідати оптимальної стратегії – у нашому випадку це стратегія $x_{opt} = X_6$.

Результати розрахунків за всіма чотирьома критеріями зводимо до порівняльної таблиці (табл. 4.7).

В умовах невизначеності ми приймаємо рішення на основі міркувань і здорового глузду, тобто не строго оптимальні, а «прийнятні», при обговоренні яких різні підходи і критерії виступають у ролі спірних сторін. Для заданої ситуації можна рекомендувати такий підхід.

Таблиця 4.6 – Матриця Гурвіца (h_{ia})

h_{ia} X_i	$\alpha = 0,3$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,9$
100	240	300	420
110	241,5	312,5	454,5
120	243	325	489
130	244,5	337,5	523,5
140	246	350	558
150	247,5	362,5	592,5
<i>max</i>	247,5	362,5	592,5

Дуже обережний підхід до справи (за критерієм **Вальда**) вказує на стратегію X_1 , тобто підприємству варто виконувати доставку вантажів лише власними транспортними засобами, обсяг транспортованого вантажу складе 100 у.в.о. Прибуток буде мінімальний (150 у.г.о.).

При зваженому ризику (за критерієм **Севіджа**) можна використати стратегію X_5 , тобто залучити до перевезення 40 запозичених транспортних засобів. Максимальний ризик складе 60 у.г.о.

У разі недостатньої інформації про попит на перевезення (за критерієм **Лапласа**) можна також використати стратегію X_5 , розраховуючи на середній прибуток **412,5** у.г.о.

Таблиця 4.7 – Порівняльна таблиця

Стратегії гравця	$\min a_{ij}$	$\max r_{ij}$	$\max_i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij}$	h_{ia} $\alpha=0,3$	h_{ia} $\alpha=0,5$	h_{ia} $\alpha=0,9$
$X_1 = 100$	150	200	362,5	240	300	420
$X_2 = 110$	140	160	377,5	241,5	312,5	454,5
$X_3 = 120$	120	120	387,5	243	325	489
$X_4 = 130$	105	80	400	244,5	337,5	523,5
$X_5 = 140$	90	60	412,5	246	350	558
$X_6 = 150$	75	75	396,25	247,5	362,5	592,5
Критерій	$W = 150$	$S = 60$	$L = 412,5$	$H = 247,5$	$H = 362,5$	$H = 592,5$
Оптимальна стратегія	X_1	X_5	X_5	X_6	X_6	X_6

Критерій **Гурвіца** показав однозначну рекомендацію при будь-якому з трьох запропонованих коефіцієнтів довіри – стратегію X_6 , тобто виконувати замовлення із використанням максимальної кількості автомобілів, а відповідно виконувати перевезення максимально можливого обсягу вантажів.

А загальний висновок з таким – що чим більше транспортуємо, тим більшим буде прибуток підприємства.

4.4 Організація незбалансованих вантажних перевезень із використанням вантажних митних комплексів

Внаслідок соціально-економічних змін, які відбуваються в Україні, та під впливом явищ глобалізації зазнають змін логістичні ланцюги постачання товарів та сировини на підприємствах. Вони стають довшими і складнішими за структурою. Під впливом інформаційних технологій, які супроводжують матеріальні та фінансові потоки, посилюється інтеграція окремих ланок ланцюгів постачання, які є самостійними господарськими одиницями. Також розширюється географія руху матеріальних потоків, що проявляється, зокрема, у збільшенні вантажообігу, як у міжміському так і у міжнародному сполученні на автомобільному транспорті.

Сучасний підхід до організації вантажних перевезень вимагає використання сучасних засобів інформаційних технологій при оптимізації схем доставки вантажів. Зважаючи на склад автопарку України, згідно євростандартам, доцільним є введення руху за системою тягових плечей. В цьому випадку, ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу. Розглянемо застосування багатоетапної транспортної задачі для розподілення вантажних потоків, що поступають на вантажні митні комплекси та використання інформаційних технологій для розв'язання цих задач.

Ефективність використання багатоетапної транспортної задачі при роботі вантажних митних комплексів (ВМК) полягає у можливості прийняття всіма складськими приміщеннями, які доступні для організації такого виду перевезень, включаючи як ВМК, так і проміжні складські термінали (ПСТ). Розглядаючи дві

умови для розв'язання поставленої задачі, а саме: коли загальна кількість вантажу від постачальників є рівною сумарним можливостям прийняття вантажу ВМК та ПСТ та за умови, якщо загальна кількість вантажу від постачальників є більшою, ніж сумарні можливості прийняття вантажу ВМК та ПСТ було проілюстровано розв'язання транспортної задачі, відповідно, в два та три етапи в середовищі Excel і за допомогою спроектованого програмного комплексу.

Продемонструємо, що багатоетапна транспортна задача вирішує проблему управління вантажопотоками для оптимальної організації роботи логістичного ланцюга, що працює із застосуванням системи тягових плечей і пропонує раціональні схеми доставки вантажу у міжнародному сполученні.

Багатоетапна транспортна задача вирішує проблему розташування і направлення вантажів для оптимальної організації роботи ланцюга, що працює із застосуванням системи тягових плечей і пропонує найраціональніші схеми для відправлення вантажу на ВМК.

В міжнародних перевезеннях вантажів за системою тягових плечей за маршрутом Україна-ЄС та ЄС-Україна пунктом перевантаження може виступати вантажний термінал, що знаходиться на українській стороні кордону [94, 95]. Західні області України, що межують з державами-членами ЄС, за умови ефективного транскордонного співробітництва, дозволяють використовувати вигідний геополітичний потенціал держави [113]. Довгострокові проекти щодо використання ВМК вздовж західного кордону – один із варіантів раціоналізації вантажних перевезень, тому оптимізація організації роботи і співпраці транспортних компаній із термінальними і складськими є важливою.

Організація міжнародних вантажних перевезень на сьогодні вимагає сучасних підходів до вирішення питань, тому використання сучасних засобів інформаційних технологій при оптимізації схем доставки вантажів є необхідною складовою дослідження. Оскільки обсяги імпорту товарів з ЄС в Україну і експорту в зворотному напрямку є різними, проблема з надлишками вантажу, що поступає до ВМК є досить актуальною, тому, ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу і, як наслідок, з

багатоетапною транспортною задачею що дозволить сформувати оптимізовані графіки надходження вантажів до складських приміщень вантажних митних комплексів.

Наведемо опис підходу, який вирішує задачу поетапного транспортування вантажів в її мережевому поданні у середовищі Excel та інтеграцію задачі в програмування Delphi за допомогою макросів VBA. При цьому розглянемо два варіанти багатоетапної задачі:

1. Коли сумарні об'єми складських приміщень замовника і проміжних пунктів рівні обсягам вантажу, що надсилається постачальниками.

2. Коли загальні об'єми поставок вантажу постачальниками перевищують загальні об'єми можливості прийому складськими приміщеннями замовника та проміжних пунктів.

Для першого варіанту розглянемо 2 ($m = 2$) постійних оптових постачальників однорідного вантажу (продукти харчування) – пунктів постачання (ПП) в містах Черкаси (A_1) та Київ (A_2), які мають його, відповідно, в обсягах: $a_1 = 210_{\text{т/міс}}$ та $a_2 = 318_{\text{т/міс}}$ і 4 ($n = 4$) ВМК – пункти споживання (ПС) в населених пунктах: м. Дрогобич (B_1), м. Городок (B_2), с. Шегині (B_3) та м. Судова Вишня (B_4), які розташовані вздовж кордону України у Львівській області, на яких здійснюватиметься перевантаження експортних товарів. ВМК мають заявки на цій вантаж в обсягах, відповідно: $b_1 = 66_{\text{т/міс}}$, $b_2 = 44_{\text{т/міс}}$, $b_3 = 132_{\text{т/міс}}$ та $b_4 = 88_{\text{т/міс}}$. При чому, загальні об'єми поставок цього вантажу ($528_{\text{т/міс}}$) перевищують загальні об'єми можливості прийому вантажу ВМК ($330_{\text{т/міс}}$) на величину Δ , а саме:

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j, \quad (4.8)$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j. \quad (4.9)$$

Також, ми маємо 3 ($l = 3$) проміжні складські термінали (ПСТ), які розташовані у наступних населених пунктах Львівської області: с. Малехів (C_1), с. Солонка (C_2) та м. Львів (C_3) для тимчасового зберігання надлишків вантажу (4.9), які можуть вміщати його в обсягах, відповідно, $c_1 = 66_{\text{т/міс}}$, $c_2 = 44_{\text{т/міс}}$ та $c_3 = 88_{\text{т/міс}}$.

Враховуючи вихідні дані, між $\sum_{i=1}^m a_i$, $\sum_{j=1}^n b_j$ і $\sum_{k=1}^l c_k$ виникає співвідношення (4.10) при обов'язковому виконанні умови (4.8):

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{k=1}^l c_k. \quad (4.10)$$

Вибір даної умови обумовлений необхідністю завчасно спрогнозувати точні обсяги вантажу, що будуть направлені до складських приміщень на кожному із етапів доставки для укладення довгострокових договорів на обслуговування постачальників.

На першому етапі розв'язання задачі здійснюється розподіл вантажу від постачальників (A_m) між ВМК (B_n) та ПСТ (C_l). Витрати за кожним із напрямів це умовні одиниці, що враховують віддаленість постачальників вантажу від ВМК та ПСТ, ПСТ від ВМК. Другий етап розв'язання задачі розподіляє вантажі, що опинилися в ПСТ між ВМК для подальшої їх відправки в Європу. Результати багатоетапної задачі доставки вантажу за допомогою середовища Excel представлені на рисунку 4.19.

За результатами розрахунків отримуємо прогноз для розміщення на 1-му і 2-му етапах перевезення вантажу а також зроблено припущення про готовність всіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в об'ємах, відповідних їх первинним заявкам. Обсяги поставок за кожним етапом розв'язання задачі представлені на оптимальні схемі перевезення вантажу, рисунок 4.20.

Таким чином, вантаж 2-х постачальників, згідно умов задачі, розподілився між ВМК та проміжними терміналами(ПТ).

	B1	B2	B3	B4	Запаси		C1	C2	C3	Запаси
A1	76	75	81	75	210	A1	72	74	73	12
A2	63	57	62	57	318	A2	53	56	54	186
Заявки	66	44	132	88		Заявки	66	44	88	
							C1	C2	C3	Запаси
A1	66	44	0	88	198	A1	0	12	0	12
A2	0	0	132	0	132	A2	66	32	88	186
Заявки	66	44	132	88		Заявки	66	44	88	
23100	5016	3300	8184	6600		10930	3498	2680	4752	
						1-й етап				

	B1	B2	B3	B4	Запаси
C1	9	5	10	8	66
C2	7	3	8	3	44
C3	8	3	8	3	88
Заявки	66	44	132	88	
	B1	B2	B3	B4	Запаси
C1	66	0	0	0	66
C2	0	0	0	44	44
C3	0	44	0	44	88
Заявки	66	44	0	88	
990	594	132	0	264	
					2-й етап

Рисунок 4.19 – Excel-таблиця розв’язання багатоетапної задачі перевезення вантажу

Для другого варіанту розглянемо аналогічно до попереднього 2 ($m = 2$) постійних оптових постачальників однорідного вантажу (продукти харчування) – ПП в містах Черкаси (A_1) та Київ (A_2), але які мають його, відповідно, в обсягах: $a_1 = 300_{\text{т/міс}}$ та $a_2 = 318_{\text{т/міс}}$ і 4 ($n = 4$) ВМК – ПС в населених пунктах: м. Дрогобич (B_1), м. Городок (B_2), с. Шегині (B_3) та м. Судова Вишня (B_4), які розташовані вздовж кордону України у Львівській області, на яких здійснюватиметься перевантаження експортних товарів. ВМК мають заявки на цій вантаж в обсягах, відповідно: $b_1 = 66_{\text{т/міс}}$, $b_2 = 44_{\text{т/міс}}$, $b_3 = 132_{\text{т/міс}}$ та $b_4 = 88_{\text{т/міс}}$. При чому, загальні об’єми поставок цього вантажу перевищують загальні об’єми можливості прийому вантажу ВМК, як і в першому варіанті задачі.

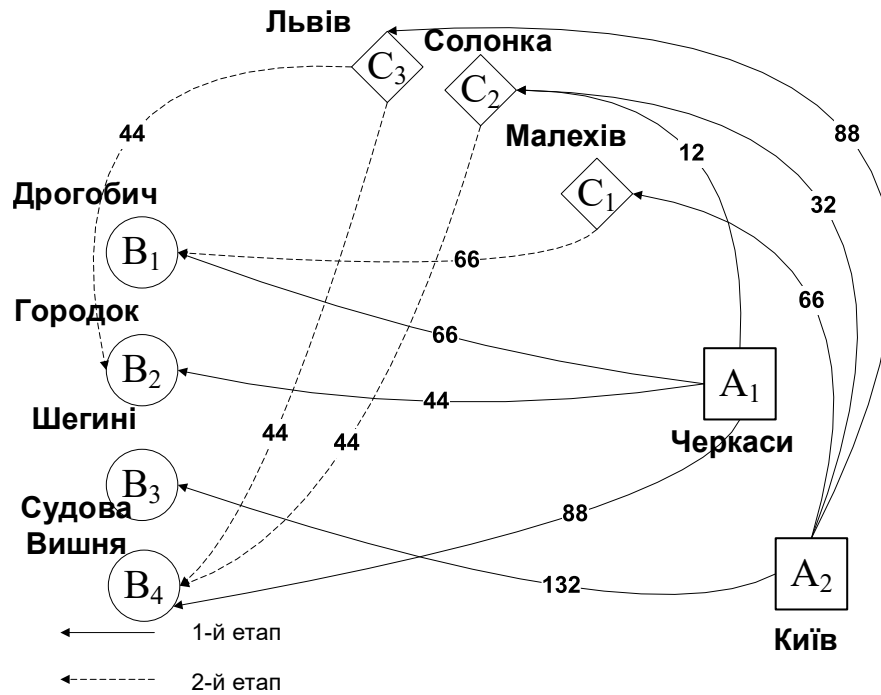


Рисунок 4.20 – Оптимальна схема перевезення вантажу(в тонах/місяць) за результатами першого варіанту багатоетапної транспортної задачі

Також ми маємо 3 ($l = 3$) ПСТ, які розташовані у наступних населених пунктах Львівської області: с. Малехів (C_1), с. Солонка (C_2) та м. Львів (C_3) для тимчасового зберігання надлишків вантажу (2), які можуть вміщати його в обсягах, відповідно, $c_1 = 66_{\text{т/міс}}$, $c_2 = 44_{\text{т/міс}}$ та $c_3 = 88_{\text{т/міс}}$. Враховуючи вихідні дані, між

$\sum_{i=1}^m a_i, \sum_{j=1}^n b_j$ і $\sum_{k=1}^l c_k$ виникає співвідношення (1) та (4):

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{k=1}^l c_k. \quad (4.11)$$

Вибір даної умови обумовлений необхідністю завчасно спрогнозувати розміщення вантажу з урахуванням надлишків, що будуть направлені до складських приміщень на кожному із етапів доставки для укладення довгострокових договорів на обслуговування постачальників.

На першому етапі розв'язання задачі здійснюється розподіл вантажу від постачальників (A_m) між ВМК (B_n) та проміжними пунктами(терміналами) (C_l).

Витрати за кожним із напрямів – умовні одиниці, що враховують віддаленість постачальників вантажу від ВМК. Другий етап розв’язання задачі розподіляє вантажі, що опинилися в проміжних пунктах між ВМК для подальшої їх відправки в Європу. На третьому етапі розв’язання задачі залишки вантажу розподіляються від постачальників між ВМК. Результати багатоетапної задачі доставки вантажу за допомогою середовища Excel представлені на рисунку 4.21.

	B1	B2	B3	B4	Запаси		C1	C2	C3	Запаси
A1	76	75	81	75	300	A1	72	74	73	102
A2	63	57	62	57	318	A2	53	56	54	186
Заявки	66	44	132	88		Заявки	66	44	88	
	B1	B2	B3	B4	Запаси		C1	C2	C3	Запаси
A1	66	44	0	88	198	A1	0	39	0	39
A2	0	0	132	0	132	A2	66	5	88	159
Заявки	66	44	132	88		Заявки	66	44	88	
23100	5016	3300	8184	6600		11416	3498	3166	4752	
							1-й етап			

	B1	B2	B3	B4	Запаси
C1	9	5	10	8	66
C2	7	3	8	3	44
C3	8	3	8	3	88
Заявки	66	44	132	88	
	B1	B2	B3	B4	Запаси
C1	66	0	0	0	66
C2	0	7	0	37	44
C3	0	37	0	51	88
Заявки	66	44	0	88	
990	594	132	0	264	
		2-й етап			

	B1	B2	B3	B4	Запаси
A1	76	75	81	75	63
A2	63	57	62	57	27
Заявки	66	44	132	88	
	B1	B2	B3	B4	Запаси
A1	0	30	0	33	63
A2	0	14	0	13	27
Заявки	0	44	0	46	
6264	0	3048	0	3216	
		3-й етап			

Рисунок 4.21 – Excel-таблиця розв’язання другого варіанту багатоетапної задачі перевезення вантажу

За результатами розрахунків отримуємо прогноз для розміщення на 1-му і 2-му етапах перевезення вантажу а також зроблено припущення про готовність всіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в об’ємах, відповідних їх первинним заявкам. Обсяги поставок за першим та другим етапом розв’язання задачі

представлені на оптимальній схемі перевезення вантажу, рисунок 6, обсяги поставок за третім етапом, рисунках 4.22 та 4.23.

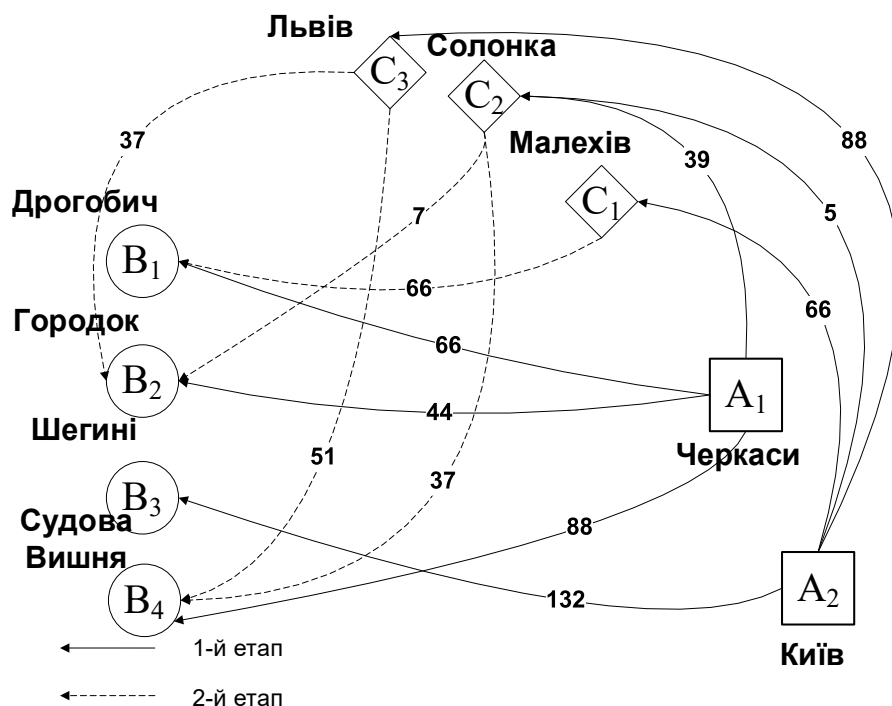


Рисунок 4.22 – Оптимальна схема перевезення вантажу(в тонах/місяць) за результатами другого варіанту БТЗ (етапи 1 та 2)

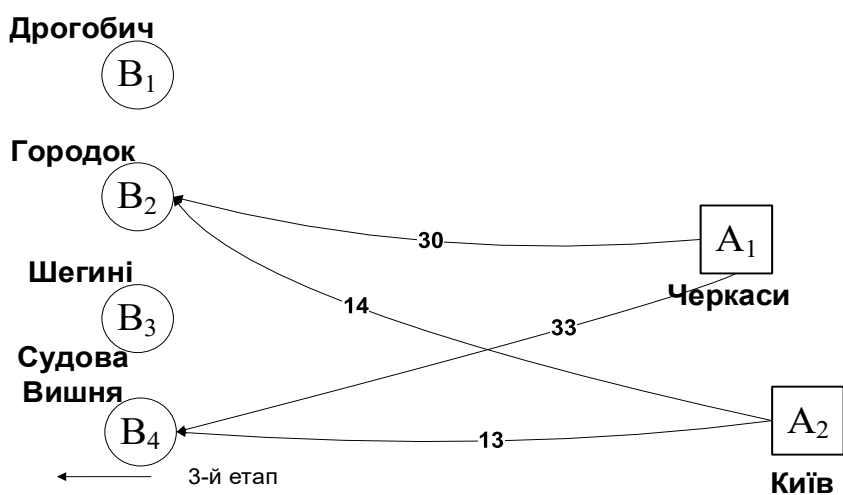


Рисунок 4.23 – Оптимальна схема перевезення вантажу(в тонах/місяць) за результатами другого варіанту БТЗ (етап 3)

Таким чином, вантаж 2-х постачальників, згідно умов задачі, розподілився між ВМК та проміжними терміналами(ПТ).

З метою розв'язання проблеми планування і подальшого здійснення масових вантажних перевезень на ДТМ був спроектований програмний комплекс (ПК) за допомогою алгоритмічної мови програмування *Delphi* та макросів *Visual Basic for Application* для сумісної роботи з табличним процесором *Excel* [103].

Процес функціонування ПК включає 4 кроки:

1. Діалогове вікно задання структури перевезень, тобто кількості ПП, ПС та СП.
2. Діалогове вікно введення обсягів перевезення вантажу.
3. Діалогове вікно введення матриці транспортних комунікацій ТМ, тобто найкоротших відстаней між ПП і ПС, ПП і СП, СП і ПС.
4. Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК, на якому схематично представлені результати його виконання, рисунок 4.24 – перший варіант БТЗ, рисунок 4.25 – другий варіант БТЗ.

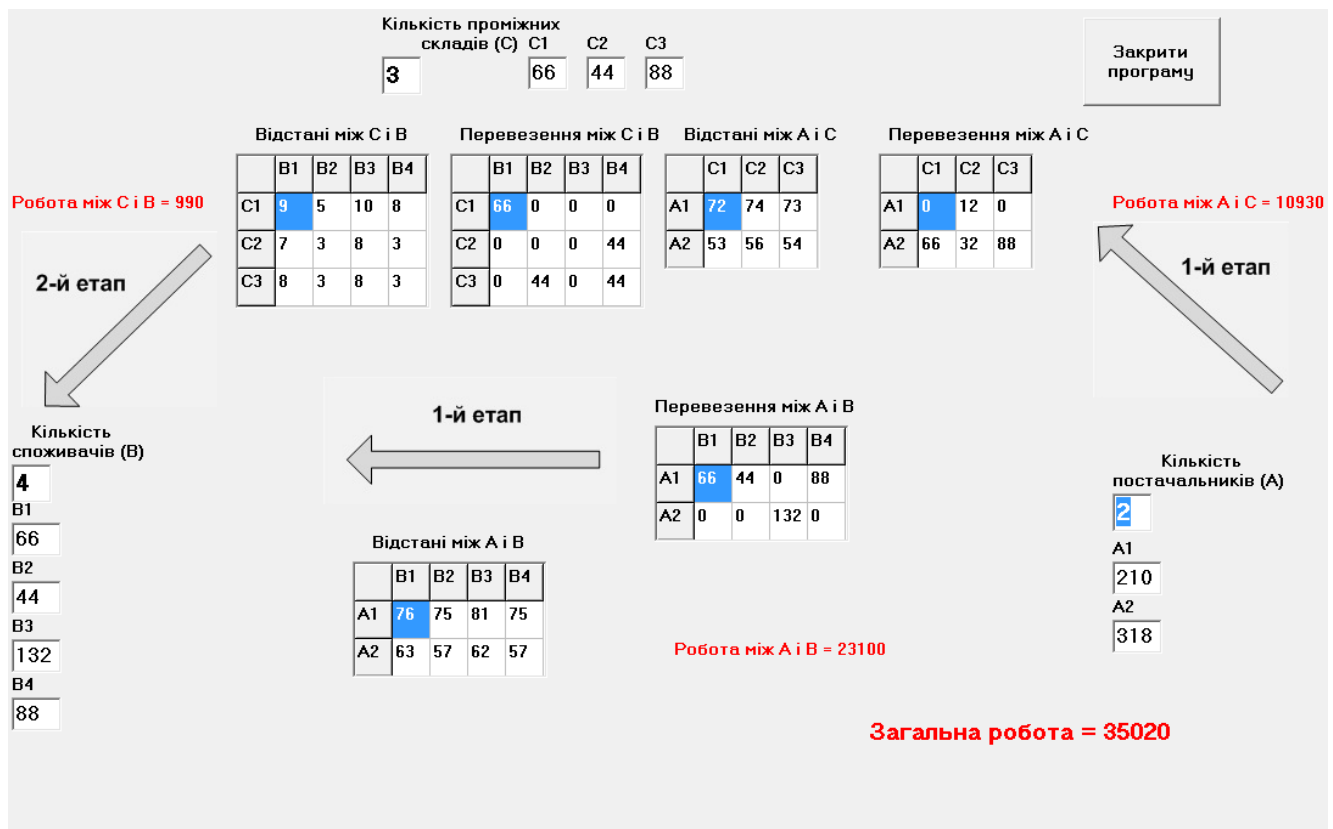


Рисунок 4.24 – Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК для першого варіанту БТЗ

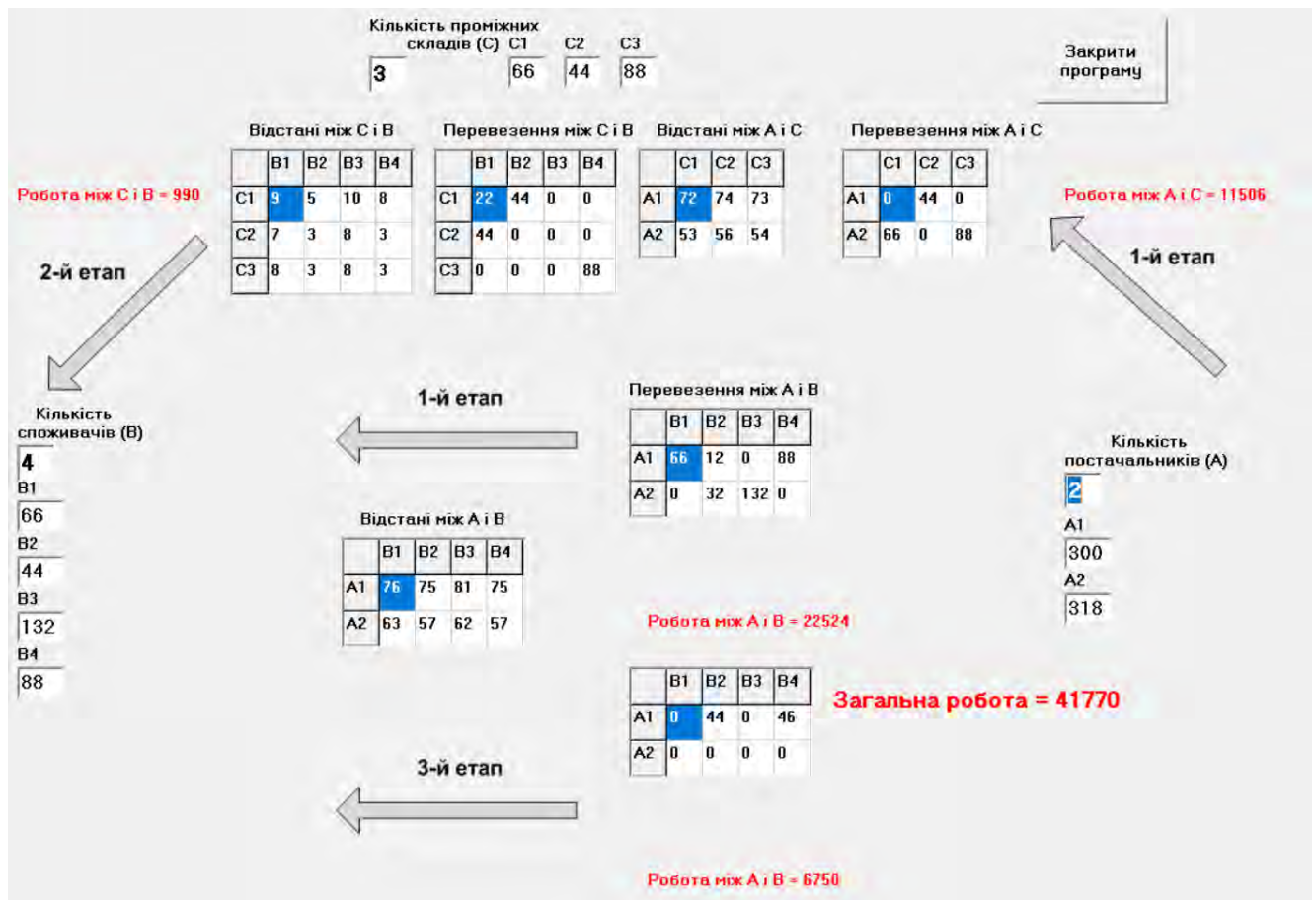


Рисунок 4.25 – Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК для другого варіанту БТЗ

Для першого варіанту БТЗ, як результат роботи ПК ми отримуємо схематично представлені кроки його виконання, а саме: обсяги перевезення вантажу між ПП A_1 , A_2 і ПС B_1 , B_2 , B_3 , B_4 на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 23100 у.г.о.); обсяги перевезення вантажу між ПП A_1 , A_2 і СП C_1 , C_2 , C_3 також на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 10930 у.г.о.); обсяги перевезення вантажу між СП C_1 , C_2 , C_3 і ПС B_1 , B_4 на *другому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 990 у.г.о.); і сумарна вартість (остаточна) здійснення усіх етапів доставки вантажу, яка складає 35020 у.г.о., рисунок 4.24.

Для першого варіанту БТЗ, як результат роботи ПК ми отримуємо схематично представлені кроки його виконання, а саме: обсяги перевезення вантажу між ПП A_1 , A_2 і ПС B_1 , B_2 , B_3 , B_4 на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 22524 у.г.о.); обсяги перевезення вантажу між ПП A_1 , A_2 і СП C_1 , C_2 , C_3

також на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 11506 у.з.о.); обсяги перевезення вантажу між СП C_1, C_2, C_3 і ПС B_1, B_4 на *другому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 990 у.з.о.); обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 на *третьому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 6750 у.з.о.); і сумарна вартість (остаточна) здійснення усіх етапів доставки вантажу, яка складає 41770 у.з.о. , рисунок 4.25.

Запропонований логістичний підхід до організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах був реалізований у вигляді програмно-інструментального комплексу (ПІК), який об'єднує етап зведення мережевого представлення схеми доставки вантажів до табличного вигляду і етап планування і подальшого здійснення масових вантажних перевезень на ДТМ.

Цей підхід до оптимізації масових вантажних перевезень на ДТМ, який базується на використанні сучасних засобів інформаційних технологій, демонструє один з напрямів цього рішення, але має наступні обмеження:

7) На 2-ому етапі (а для інших варіацій БТЗ і подальших) зроблено припущення про готовність всіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в обсягах, відповідних їх первинним замовленням.

8) Для успішного застосування запропонованого підходу необхідно попередньо перетворити мережеву модель представлення перевезень вантажу до табличного вигляду.

9) ПІК може буде застосований для ТМ малої та середньої розмірності у зв'язку з обмеженістю програмного середовища його реалізації – табличного процесора *Excel*.

Ефективність багатоетапної транспортної задачі у оптимізації використання ВМК полягає у врахуванні даних щодо можливості прийняття всіма складськими приміщеннями, які доступні для організації такого виду перевезень, включаючи як ВМК, так і проміжні термінали. Розглядаючи дві умови для розв'язання задачі: коли загальна кількість вантажу від постачальників є рівною сумарним можливостям прийняття вантажу ВМК та ПСТ та за умови, якщо загальна кількість вантажу від постачальників є більшою, ніж сумарні можливості прийняття вантажу ВМК та ПСТ

було проілюстровано розв'язання транспортної задачі в два та три етапи. Багатоетапна транспортна задача вирішує проблему розташування і направлення вантажів для оптимальної організації роботи ланцюга, що працює із застосуванням системи тягових плечей і пропонує найраціональніші схеми для відправлення вантажу на ВМК.

4.5. Адекватність результатів дисертаційних досліджень

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 [114].

Застосування параметричних критеріїв базується на використанні вибірових характеристик $\bar{x}$ (середнє арифметичне значення) і s (середнє квадратичне 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 дисертаційному 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 [115].

Обробка статистичних даних виконувалась за методикою наведеною в [116, 117], при цьому обсяг вибірки складав 25 спостережень, а результати емпіричних

(дослідних) і експериментальних даних представлені у вигляді статистичних рядів у таблиці 4.9 (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_ϕ 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 (табл. 4.8) значенням T_T для прийнятого рівня значимості і числа парних спостережень, яке береться без нульових різностей. Це значення дорівнює 89 (для самого високого рівня значимості, а саме 0,05).

Таблиця 4.8 – Критичне значення критерію Вілкоксона для сполучених пар

Кількість пар	Рівень значимості		Кількість пар	Рівень значимості	
	0,05	0,01		0,05	0,01
6	1	0	16	30	20
7	2	0	17	35	23
8	4	0	18	40	28
9	6	2	19	46	32
10	8	3	20	52	38
11	11	5	21	59	43
12	14	7	22	66	49
13	17	10	23	73	55
14	21	13	24	81	61
15	25	16	25	89	68

У нашому випадку гіпотеза адекватності приймається, тому що $T_\phi \geq T_T$.

Резюмуючи отримані вище результати можна зробити загальний висновок о том, що побудована у дисертаційній роботі математична модель повністю адекватна її фізичній моделі, а саме процесу здійснення вантажних перевезень маршрутами

міжнародних транспортних коридорів на транспортних системах України та Західної Європи з незбалансованістю обсягів транспортування вантажів і обмеженнями на пропускні здатності її транспортних вузлів і комунікацій.

Таблиця 4.9 – Результати статистичної обробки вартостей вантажних перевезень для автотранспортних підприємств АсМАП України

№	Вартість вантажних перевезень (грн)		$C_i^{em} - C_i^{ek}$	Ранжирувана $C_i^{em} - C_i^{ek}$	Ранг $C_i^{em} - C_i^{ek}$
	Емпірична	Експериментальна			
	C_i^{em}	C_i^{ek}			
1	1 555 123,67	1 554 103,44	1020,23	-9,75	1
2	2 301 090,67	2 301 011,13	79,54	-11,8	2
3	7 455 786,32	7 455 544,31	242,01	17,98	3
4	2 111 505,66	2 111 605,6	-99,94	19,96	4
5	1 287 451,78	1 287 350,13	101,65	-40,67	5
6	444 207,89	444 105,83	102,06	55,19	6
7	1 456 235	1 456 275,67	-40,67	65,06	7
8	250 456,18	250 400,99	55,19	79,54	8
9	180 415,5	180 215,54	199,96	-97,85	9
10	1 501 456	1 501 154,99	301,01	-99,94	10
11	134 517,86	134 499,88	17,98	100,02	11
12	256 634,77	256 837,87	-203,1	-100,97	12
13	117 456,91	117 557,88	-100,97	101,65	13
14	5 123 347,17	5 123 544,97	-197,8	102,06	14
15	918 389,76	918 187,96	201,8	-102,27	15
16	1 567 890,14	1 567 899,89	-9,75	105,5	16
17	444 135,77	444 035,75	100,02	-197,8	17
18	245 789,18	245 589,14	200,04	199,96	18
19	650 123,45	650 103,49	19,96	201,8	19
20	175 342,99	175 354,79	-11,8	200,04	20
21	414 4567,32	4 143 547,02	1020,3	-203,1	21
22	825 890,65	825 785,15	105,5	242,01	22
23	366 089,17	366 191,44	-102,27	301,01	23
24	715 789,56	715 724,5	65,06	1020,23	24
25	218 389,76	218 487,61	-97,85	1020,3	25
Сума рангів різностей між парами емпіричних і експериментальних значень $C_i^{em} - C_i^{ek}$					92

Висновки до розділу 4

Запропонований логістичний підхід до організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах був реалізований у вигляді програмно-інструментального комплексу (ПІК), який об'єднує етап зведення мережевого представлення схеми доставки вантажів до табличного вигляду і етап планування і подальшого здійснення масових вантажних перевезень на ДТМ. Він показав свою ефективність при оптимізації вантажних перевезень на автопідприємствах АсМАП України.

Цей підхід до оптимізації масових вантажних перевезень на ДТМ, який базується на використанні сучасних засобів інформаційних технологій, демонструє один з напрямів цього рішення, але має наступні обмеження:

- на 2-ому, 3-ому і подальших етапах зроблено припущення про готовність всіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в обсягах, відповідних їх первинним замовленням.

- для успішного застосування запропонованого підходу необхідно попередньо перетворити мережеву модель представлення перевезень вантажу до табличного вигляду.

- ПІК може буде застосований для ТМ малої та середньої розмірності у зв'язку з обмеженістю програмного середовища його реалізації – табличного процесора Excel.

У ході виконання даного наукового дослідження доведена можливість автоматизації процесу розв'язування задачі комівояжера за допомогою сучасних засобів інформаційних технологій, а саме: програмного середовища *Delphi* та функції «Пошук рішення» в табличному процесорі *Microsoft Office Excel*, враховуючи існуючі вимоги та обмеження на специфіку і розмірність задачі.

Кожен критерій пропонує нове рішення, і невизначеність стану перетворюється у відсутність ясності, якого саме критерію дотримуватися. Це пояснюється тим, що різні критерії пов'язані з різними обставинами, в яких приймаються рішення, тому для порівняльної оцінки рекомендовано одержати

додаткову інформацію про обставини, в яких буде прийматися рішення. При залученні додаткових транспортних засобів, не власних, варто орієнтуватися на перевірених перевізників із оптимальними тарифами, що дозволить, у результаті, зменшити собівартість виконання перевезень в міжнародному сполученні. Також потрібно звертати увагу на виставлений замовнику тариф, який повинен бути не тільки обґрунтованим з економічної точки зору й покривати всі затрати собівартості перевезення, але й максимально задовольняти очікуваний прибуток підприємства.

Ефективність багатоетапної транспортної задачі у оптимізації використання ВМК полягає у врахуванні даних щодо можливості прийняття всіма складськими приміщеннями, які доступні для організації такого виду перевезень, включаючи як ВМК, так і проміжні термінали. Розглядаючи дві умови для розв'язання задачі: коли загальна кількість вантажу від постачальників є рівною сумарним можливостям прийняття вантажу ВМК та ПСТ та за умови, якщо загальна кількість вантажу від постачальників є більшою, ніж сумарні можливості прийняття вантажу ВМК та ПСТ було проілюстровано розв'язання транспортної задачі в два та три етапи. Багатоетапна транспортна задача вирішує проблему розташування і направлення вантажів для оптимальної організації роботи ланцюга, що працює із застосуванням системи тягових плечей і пропонує найраціональніші схеми для відправлення вантажу на ВМК.

За допомогою непараметричного T -критерію Вілкоксона був доказаний той факт, що побудована у дисертаційній роботі математична модель перевізного процесу повністю адекватна її фізичній моделі, а саме процесу здійснення вантажних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів з незбалансованістю обсягів транспортування вантажів і обмеженнями на пропускні здатності транспортних вузлів і комунікацій.

ВИСНОВКИ

Аналіз сучасного стану управління вантажними автомобільними перевезеннями показав, що підвищення ефективності та якості їх виконання можливе за рахунок застосування інформаційних технологій, однією із складових яких є удосконалення існуючих методів управління вантажними перевезеннями у міжнародному сполученні на транспортних мережах при незбалансованості обсягів поставок і замовлень вантажів.

На основі проведених досліджень отримані наукові результати, які полягають в наступному:

1. Проведений аналіз відомих методів раціональної організації вантажних автомобільних перевезень в транспортних системах з незбалансованим обсягом поставок і замовлень вантажів. В результаті було виявлено, що деякі стандартні методи балансування обсягів поставок і замовлень вантажів не завжди ефективні, а іноді взагалі не можливі для застосування. За результатами прогнозування на 2020-2022 роки обсяги перевезення на автомобільному транспорті становитимуть: 2020 р. – 1126,0 млн. т., 2021 р. – 1131,93 млн. т., 2022 р. – 1128,28 млн. т. Тобто, за прогнозами обсяги перевезення автомобільним транспортом до 2022 року почнуть стабілізуватися та зростати.

2. Розроблений метод раціонального балансування обсягів поставок і замовлень вантажів в транспортних мережах. Метод відмінний від відомих тим, що зменшення обсягу попиту (пропозиції) на величину невідповідності попиту-пропозиції (пропозиції-попиту) проводиться не тільки у пунктах поставок або пунктах споживання, які мають найбільше значення попиту (пропозиції), а у всіх учасників перевізного процесу по черзі, що дозволяє отримати більш дешевший план перевезень, ніж при застосуванні класичного різницевого методу. Запропонована методика застосування симплексного методу для розв'язання задач раціональної організації автомобільних вантажних перевезень в умовах незбалансованості обсягів поставок і замовлень вантажів, що підвищує

ефективність використання удосконаленого симплексного методу на 10-15 % у разі перевищення пропозиції вантажу над його попитом.

3. Проведено моделювання процесів раціональної організації вантажних перевезень в транспортних системах в умовах незбалансованості обсягів поставок і замовлень вантажів, а саме: розв'язання сітьових транспортних задач при незбалансованості обсягів поставок і замовлень; використання теорії потоків у мережах (*network flow problems*) в електронних таблицях для оптимізації вантажних перевезень; розрахунки оптимальних планів перевезень вантажів з використанням нових підходів в середовищі спроектованого програмного забезпечення. Результатами моделювання на фактичних даних є наступні: метод фіктивного вузла був використаний у 33 %, різницевий метод – 11%, пропорційно-різницевий метод – 30%, симплексний метод – 27%.

4. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень для раціонального управління вантажними перевезеннями (СПРУВП) на транспортних мережах, яке сумісно з спроектованою базою даних міжнародних транспортних коридорів інфраструктури України та Західної Європи пропонує користувачу плани перевезень, які були отримані за допомогою удосконалених у дослідженні методів.

5. Проведена апробація результатів наукових досліджень в НКЦ АсМАП України і на ТзОВ «ЛІВ-Транс», що дозволило приблизно на 15 % зменшити витрати на здійснення вантажних перевезень, скоротити час їх реалізації, а також звільнити керівництво підприємств від виконання рутинних, малоефективних операцій по складанню плану перевезень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Система підтримки прийняття рішень управління вантажними перевезеннями на транспортних мережах. *Open Access Peer-reviewed Journal: European Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2021. 1(3).

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ejits/30032021/7352.

2. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г., Коп'як Н.В. Прийняття рішень в умовах невизначеності при організації міжнародних автомобільних вантажних перевезень *Open Access Peer-reviewed Journal: European Journal of Science Review*. 2021. 1(36), P.10-16.

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30012021/7374.

3. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Логістичний підхід до аналізу діяльності дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. 2010. № 4 (146) Ч. 1. С. 167-171.

4. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Сучасні аспекти вдосконалення дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. 2011. № 5 (159) Ч. 1. С. 157-161.

5. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Поточні зміни функціонування дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *Проблеми транспорту*. 2011. Вип. 8. С. 212-217.

6. Прокудін Г.С., Ремех І.О., Хоботня Т.Г. Організація незбалансованих вантажних перевезень із використанням вантажних митних комплексів. *Розвиток транспорту*. 2020. № 1(6). С. 116-126.

DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.010>.

7. Prokudin G.S., Chupaylenko O.A., Lebid V.V., Khobotnia T.G. Development of methods to increase the efficiency of road transportation by international transport

corridors. *Technology audit and production reserves*. 2020. 4/4 (54). P. 34-36. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.210379>.

8. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г., Ремех І.О. Розв'язання мережевих транспортних задач у середовищі EXCEL. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки»*. 2020. Том 31(70) № 5. С. 214-219.

DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/35>.

9. Настаченко Т.Г., Олійник Ю.М. Аналіз стану та перспективи розвитку перевезення швидкопсувних вантажів. *LXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2010. С. 189.

10. Настаченко Т.Г. Стан дозвільної системи України у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів та аналіз її діяльності. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2011. С. 165.

11. Хоботня Т.Г. Особливості функціонування дозвільної системи в Україні у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2012. С. 209.

12. Хоботня Т.Г. Теоретичний підхід до оцінки якості процесу повернення дозвільних документів на виконання міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2014. С. 216.

13. Хоботня Т.Г. Особливості функціонування дозвільної системи в Україні у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників*

відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей. К.: НТУ. 2015. С. 264.

14. Кунда Н.Т., Хоботня Т.Г. Аналіз процесів формування транспортно-логістичних кластерів. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016)*. VIII Міжнародної науково-практична конференція. (м. Херсон, 24-26 травня 2016 р.). Херсон: ХДМА. 2016. С. 240-243.

15. Хоботня Т.Г. Мотивація менеджерів та учасників проектної команди при управлінні проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Управління проектами: стан та перспективи*. XIV Міжнародна науково-практична конференції (м. Миколаїв, 11-14 вересня 2018 р.). Миколаїв: НУК. 2017. С. 116-117.

16. Кунда Н.Т., Хоботня Т.Г. Планування як основа управління проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018)*. X Міжнародна науково-практична конференція (м. Херсон, 29-31 травня 2018 р.). Херсон: ХДМА. 2018. С. 27-30.

17. Хоботня Т.Г. Основні характеристики управління проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Бізнес-моделі розвитку транспортних, агропромислових і інших підприємницьких структур: сучасні реалії та перспективи: монографія з міжнародною участю*. Дніпро: Журфонд. 2018. С. 47-56.

18. Хоботня Т.Г., Пащенко Д.П. Шляхи підвищення ефективності процесу доставки збірних вантажів у міжнародному сполученні. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2019. С. 265.

19. Хоботня Т.Г. Управління якістю проектів транспортно-експедиторського обслуговування при перевезенні вантажів автомобільним транспортом. *Сучасні процеси трансформації у бізнесі та виробництві: теорія, методологія, практика (зовнішньоекономічна діяльність, промислове виробництво, транспорт): монографія*. Дніпро: Пороги. 2019. С. 471-478.

20. Хоботня Т.Г., Іващенко О.О. Дослідження ринку вантажних перевезень автомобільним транспортом в сучасних умовах. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2020. С. 261-262.

21. Хоботня Т.Г., Закусило М.А. Дослідження поточної проблематики та тенденцій в логістиці доставки вантажів автомобільним транспортом. *Научные исследования: парадигма инновационного развития*. III Международная научная конференция (Братислава–Вена, 26 мая 2020 года). 2020. С. 64-67.

22. Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Оптимізація вантажних перевезень на транспортній мережі за допомогою табличного процесора. *International scientific and practical conference «Science, engineering and technology: global trends, problems and solutions»: Conference proceedings*. (Prague, September 25-26, 2020.). 2020. Р. 164-168.

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-79-2-2.40>.

23. Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г., Кунда Н.Т. Оптимізація вантажних перевезень за допомогою інформаційних технологій. *Інтелектуальні технології управління транспортними процесами*. Міжнародна науково-технічна конференція (17-18 листопада 2020 р.) ХНАДУ. С. 152-154. https://fts.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-TRANSPORT/ЗБІРНИК_МАТЕРІАЛІВ.pdf.

24. Хоботня Т.Г. Оптимізація вантажних перевезень за допомогою інформаційних технологій. *Звіт о НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні” (заключний етап)*. № ДР 0112U008415. К.: НТУ. 2020. С. 79-82.

25. Хоботня Т.Г. Аналіз процесу оцінки проектів перевезення вантажів у міжнародному сполученні маршрутами міжнародних транспортних коридорів. *Звіт о НДР “Розробка методів підвищення ефективності автомобільних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів” (заключний етап)*. № ДР 0119U101796. К.: НТУ. 2020. С. 15-28.

26. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 90021. Літературний письмовий твір наукового характеру “Робоча програма та методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни “Транспортні системи в логістиці та організація перевезень” для студентів спеціальності 073 ”Менеджмент” денної форми навчання”. Шарай С.М., Катрушенко Н.А., Гілевська К.Ю., Денис О.В., Хоботня Т.Г., Рой М.П. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Дата реєстрації 20.06.2019.

27. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 90771. Літературний письмовий твір наукового характеру “Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Транспортні системи в логістиці та організація перевезень” для студентів спеціальності 073 ”Менеджмент” денної форми навчання”. Шарай С.М., Катрушенко Н.А., Гілевська К.Ю., Денис О.В., Хоботня Т.Г., Рой М.П. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Дата реєстрації 15.07.2019.

28. Данциг Дж. Линейное программирование, его применения и обобщения. М.: Прогресс. 1996. 600 с.

29. Таха Х.А. Введение в исследование операций. М: Издательский дом Вильямс. 2014. 912 с.

30. Дейкстра Эдгард. Дисциплина программирования. М.: Мир. 2008. 150 с.

31. Orden A. Survey of research on mathematical solutions of programming problems. Manag. Sci. 1. № 2(1995). С. 170-172.

32. Кофман А., Анри-Лебердер А. Методы и модели исследований операций (Целочисленное программирование). М.: Мир. 1997. 432 с.

33. Нестеров В.П. Транспортные задачи линейного программирования. М.: Транспорт. 2011 216 с.

34. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Сов. Радио. 1992. 552 с.

35. Дегтярёв Ю.И. Исследование операций. М.: Высшая школа. 2006. 320 с.

36. Кремер Н.Ш. Исследование операций в экономике. М.: ЮНИТИ. 1997. 407 с.

37. Канторович Л.В., Гавурин М.К. Применение математических методов в

вопросах анализа грузопотоков. Сб. Проблемы повышения эффективности работы транспорта. М.: АН СССР. 1999. С. 187-199.

38. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. К.: Вища школа. 1986. 447 с.

39. Кожин А.П. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками. М.: Высшая школа. 2009. 304 с.

40. Бідняк М.Н. Математические основы управления. К.: КАДИ. 1977. 127 с.

41. Четверухін Б.М. Дослідження операцій в транспортних системах. Частина I. Методи лінійного програмування та їх застосування. К.: УТУ. 2000. 91 с.

42. Канарчук В.Є., Левковець П.Р., Мельниченко О.І. Методи, моделі і алгоритми управління процесами перевезення вантажів у транспортному комплексі. К.: НТУ. 2001. 145 с.

43. Fulkerson D.R. Increasing the capacity of a network: the parametric budget problem. Management Science. 1999. v. 5. N 4. .P. 94-124.

44. Гаджинський А.М. Логистика. М.: ИТК Дашков и К°. 2004. 432 с.

45. Takahashi Iwaro. The three algorithm for solving network transportation problems. J. of the Operations Research Society of Japan. 1996. v. 8. N 4.

46. Миротин Л.Б. Логистика: управление в грузовых транспортно-логистических системах. М.: Юрист. 2002. 414 с.

47. Курганов В.М. Логистические транспортные потоки. М.: Издательско-торговая корпорация „Дашков и Ко”. 2003. 252 с.

48. Wagner H.M. On a class of capacitated transportation problems. Management Science. 1999. v. 5. N 1. P. 116-124.

49. Форд Л., Фулкерсон Д. Потоки в сетях. М.: Мир. 1956. 416 с.

50. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. Концепція розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 року. URL: <http://www.mtu.gov.ua>

51. Рыжикова Ю.И., Хомоненко А.Д. Вычислительные системы и их программное обеспечение: модели, методы и средства исследования: учебник. МО РФ. 1995. 312 с.

52. Транспорт та зв'язок в Україні: зібрання актів законодавства: Державне управління в галузях транспорту та зв'язку в Україні: Розд. 1-5: У 8 т. За заг. ред. Г.М. Кірпи. К.: Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре». 2004. Т.1. 632 с.

53. Транспорт та зв'язок в Україні: зібрання актів законодавства: Державне управління в галузях транспорту та зв'язку в Україні: Розд. 6: У 8 т. За заг. ред. Г.М. Кірпи. К.: Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре». 2004. Т.2. 672 с.

54. Транспорт та зв'язок в Україні: зібрання актів законодавства: Державне управління в галузях транспорту та зв'язку в Україні: Розд. 7: У 8 т. За заг. ред. Г.М. Кірпи. К.: Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре». 2004. Т.3. 868 с.

55. Транспорт та зв'язок в Україні: зібрання актів законодавства: Правове регулювання господарської діяльності підприємств транспортної системи: Розд. 1-2: У 8 т. За заг. ред. Г.М. Кірпи. К.: Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре». 2004. Т.4. 1176 с.

56. Транспорт та зв'язок в Україні: зібрання актів законодавства: Правове регулювання господарської діяльності підприємств транспортної системи: Розд. 3: У 8 т. За заг. ред. Г.М. Кірпи. К.: Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре». 2004. Т.5. 1196 с.

57. Транспорт та зв'язок в Україні: зібрання актів законодавства: Правове регулювання господарської діяльності підприємств транспортної системи: Розд. 4: У 8 т. За заг. ред. Г.М. Кірпи. К.: Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре». 2004. Т.6. 1216 с.

58. Транспорт та зв'язок в Україні: зібрання актів законодавства: Правове регулювання господарської діяльності підприємств транспортної системи: Розд. 5-6: У 8 т. За заг. ред. Г.М. Кірпи. К.: Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре». 2004. Т.7. 1112 с.

59. Транспорт та зв'язок в Україні: зібрання актів законодавства: Правове регулювання зв'язку та інформатизації в Україні: Розд. 1-5: У 8 т. За заг. ред. Г.М. Кірпи. К.: Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре». 2004. Т.8. 1252 с.

60. Транспорт і зв'язок України: Статистичний збірник. Державний комітет статистики України. К.: 2019. Вих. №05-05-8/102. 219 с.

61. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры. М.: Наука-Физматлит. 1997. 320 с.
62. Офіційний сайт Держкомстату України. URL: www.ukrstat.gov.ua.
63. Офіційний сайт журналу Компаньон. URL: www.companion.ua.
64. Офіційний сайт газети Бізнес. URL: www.business.ua.
65. Кремер Н.Ш. Исследование операций в экономике. М.: ЮНИТИ. 1997. 407 с.
66. Дегтярёв Ю.И. Исследование операций. М.: Высшая школа. 1986. 320 с.
67. Цегелик Г.Г. Лінійне програмування. Навч. посібник для студентів вузів, що вивчають дисципліну “Мат. програмування”. Львів: Світ. 1995. 225 с.
68. Прокудін Г.С., Білоус С.О. Один з підходів до вирішення сітьової транспортної задачі. Безпека дорожнього руху України. К.: ООО “Журнал “Радуга”. 2003. № 1-2(15). С. 52-56.
69. Цегелик Г.Г. Транспортна задача лінійного програмування. Львів: Світ. 1998. С. 64-65.
70. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах. Монографія. К.: НТУ. 2006. 224 с.
71. Бирман И.Я. Транспортная задача линейного программирования. М.: Мир. 1962. С. 74 – 75.
72. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. М.: Высшая школа. 1986. С. 147-154.
73. Прокудін Г.С., Ящук О.В. Оптимізація перевезень на транспортній мережі з обмеженнями на пропускні спроможності комунікацій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. № 69. К.: НТУ. 2003. С. 123-129.
74. Прокудін Г.С., Дзюба О.П. Використання методу транспортних потенціалів при плануванні перевезень за критерієм часу. *Безпека дорожнього руху України*. № 3(18). К.: ТОВ “Журнал “Радуга”. 2004. С. 57-64.
75. Прокудин Г.С. Модель комплексных перевозок в транспортных системах. *Проблеми інформатизації та управління*. Випуск 12. К.: НАУ. 2005. С. 138-142.

76. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. М.: Наука. 1973. 268 с.
77. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. М.: Наука. 1978. 457 с.
78. Флешиман В.С. Основы системологии. М.: Наука. 2002. 524 с.
79. Новосельцев В.И. Теоретические основы системного анализа. М.: Майор. 2006. 351 с.
80. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика. 2003. 368 с.
81. Миротин Л.Б., Ташбаев И.Э. Системный анализ в логистике. М.: Экзамен. 2002. 480 с.
82. Прокудин Г.С., Чіпіга О.Г. Деякі підходи до рішення некласичної транспортної задачі *Інформаційні технології в економіці, менеджменті і бізнесі. Проблеми науки, практики і освіти*. VIII Міжнародна науково-практична конференція. К.: ЄУФІМБ. 2003. С. 277 – 283.
83. Прокудин Г.С., Белоус С.А. Оптимизация перевозок при несбалансированности транспортной системы. *Інформаційні технології в економіці, менеджменті і бізнесі. Проблеми науки, практики і освіти*. VII Міжнародна науково-практична конференція. К.: Вид-во ЄУФІМБ. 2002. С. 13-17.
84. Пападимитриу С., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. Пер. с англ. М.: Мир. 1985. 325 с.
85. Прокудин Г.С. Методы оптимизации перевозок в транспортных сетях. *Проблеми інформатизації та управління*. Випуск 13. К.: НАУ. 2005. С. 88-97.
86. Гудман С., Хидетниеми С. Введение в разработку и анализ алгоритмов. М.: Мир. 1981. С. 309-320.
87. Эддоус Н., Стэнсфилд Р. Методы принятия решений. М.: Аудит ЮниТИ. 1997. С. 485-491.
88. Білоус С.О. Система підтримки прийняття рішень управління перевезеннями на транспортних мережах. *Проблеми транспорту*. 2007. № 4. С. 34-40.

89. Григорак М.Ю. Украинская логистическая ассоциация как мониторатор рынка логистических услуг Украины. Тр. 8 Міжнарод. конф. “Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики”. К.: ТАУ. 2006. С. 3-7.
90. Ким К.В. Об использовании специфики условий задачи в методе улучшения плана. М.: Экономика и математические методы. т. 1. № 1. 1986. С. 347-384.
91. Прокудін Г.С., Білоус С.О. Комбінаторний спосіб рішення транспортних задач про призначення. *Безопасность дорожного движения Украины*. К.: ООО "Журнал "Радуга". 2003. № 3-4(16). С. 105-108.
92. Гончаров А. Н. Microsoft Excel для Windows в примерах. СПб.: Питер-Пресс. 1996 г.
93. Хелворсон М., Янг М. Эффективная работа с Microsoft Office. СПб.: Питер-Пресс. 1997 г. 1004 с.
94. Кузьмичов А.І., Медведєв М.Г. Математичне програмування в Excel: Навчальний посібник. К.: Вид-во Європ. ун-ту. 2005. 320 с.
95. Прокудін Г.С. Аналіз на чутливість моделей транспортних задач. *Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів*. К: НТУ. ТАУ. 2003. №17. С. 129-132.
96. Четверухін Б.М., Білоус С.О., Прокудін Г.С. Оптимізація перевезень на зразку транспортної компанії. *Вісник ТАУ та НТУ*. К.:ТАУ. НТУ. 2003. №8. С. 93-101.
97. Геронимус Б.Л., Царфин Л.В. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте. М.: Транспорт. 1990. С. 72-74.
98. Черняк А.А., Новиков В.А., Мельников О.И., Кузнецов А.В. Математика для экономистов на базе Mathcad. СПб.: БХВ-Петербург. 2003. 496 с.
99. Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г., Ремех І.О. Організація незбалансованих вантажних перевезень із використанням вантажних митних комплексів. *Розвиток транспорту*. Випуск 1(6). О.: Одеський національний морський університет. 2020. С. 116-126.
100. Prokudin G., Chupaylenko O., Lebid I., Luzhanska N. Logistics Approach to the

Organization of Unbalanced Freight Transportation in Transport Networks. Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020. Sustainability: Research and Solutions. PART I. September 30 - October 02 , 2020 Online Conference – Kaunas. Lithuania. P. 22-26.

101. Прокудін Г.С., Ремех І.О., Майданик К.О., Редіч Ю.А. Оптимізація роботи вантажного митного комплексу за допомогою застосування багатоетапної транспортної задачі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. К.:ТНУ. 2018. Т.29 (68) № 4. С. 142-146.

102. Прокудін Г.С., Дмитрієв М.М. Система підтримки прийняття рішень по оптимальному управлінню не збалансованими вантажними перевезеннями: Свідectvo про внесення суб'єкта підприємств. діяльн. до Реєстру виробн. та розповсюдж. прогр. забезп. Серія ВР № 00932. Україна. МОН – ід. код 02070915. заяв. 18.06.08. опуб. 25.06.08. 66 с.

103. Prokudin G., Chupaylenko O., Dudnik O, Dudnik A., Svatko V. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59.

104. Прокудін Г.С., Дмитрієв М.М. Програма пошуку найкоротших відстаней на транспортній мережі за допомогою методу графів: Свідectvo про внесення суб'єкта підприємств. діяльн. до Реєстру виробн. та розповсюдж. прогр. забезп. Серія ВР. № 00935. Україна, МОН – ід. код 02070915. заяв. 18.06.08. опуб. 25.06.08. 13 с.

105. Мосьпан Н.В. Формування стратегій автотранспортних підприємств по обслуговуванню разових замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні : автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.01 – транспортні системи, ХНАДУ. Харків. 2018. 212 с.

106. Прокудін Г.С. Ефективність застосування системи тягових плечей при перевезенні вантажів у міжнародному сполученні. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Monografia nr 10. [monographia] pod redakcja naukowa K. Lejdy Politechnika Rzeszowska. Rzeszow*. 2017. №10. С.79-86.

107. Кунда Н.Т. Дослідження операцій у транспортних системах. Навч.

посібник для студентів напряму «Транспортні технології» ВНЗ. К.: Видавничий Дім «Слово». 2008. 400 с.

108. Лашених О.А., Кузькін О.Ф. Методи і моделі оптимізації транспортних процесів і систем. Навчальний посібник. Запоріжжя. 2006. 435 с.

109. Катренко А.В. Дослідження операцій. Підручник. Львів: “Магнолія Плюс”. 2004. 549 с.

110. Фон Нейман Дж. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука. 1970. 780 с.

111. Гончарь П.С., Гончарь Л.Э., Завалишин Д.С. Теория игр. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС. 2011. 312 с.

112. Данчук В.Д., Прокудін Г.С., Цуканов О.І., Аль-Амморі А. Моделі, методи і алгоритми розв’язання задач теорії ігор. Навчальний посібник. К.: НТУ. 2018. 292 с.

113. Ерфан Є.А., Король М.Ю. Сучасний стан розвитку прикордонної інфраструктури України з країнами ЄС. *Науковий вісник Мукачівського державного університету*. 2017. №1. С. 22-29.

114. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К. Системологія на транспорті. Основи теорії систем і управління. К.: Знання України. 2005. 344 с.

115. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К. Системологія на транспорті. Технологія наукових досліджень і технічної творчості. К.: Знання України. 2005. 352 с.

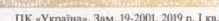
116. Галушко В.Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте. К.: Вища шк.. 1976. 232 с.

117. Завадский Ю.В. Методика статистической обработки экспериментальных данных. М.: МАДИ. 1981. 116 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір наукового характеру ”Робоча програма та методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни “Транспортні системи в логістиці та організація перевезень” для студентів спеціальності 073 “Менеджмент” денної форми навчання”.....	193
Додаток Б. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір наукового характеру ”Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Транспортні системи в логістиці та організація перевезень” для студентів спеціальності 073 “Менеджмент” денної форми навчання”.....	194
Додаток В. Акти впровадження.....	195
Додаток Г. База даних міжнародних транспортних коридорів інфраструктури України та Західної Європи.....	199
Додаток Д. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	218





“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з навчальної роботи
Національного транспортного університету

проф. Гришук О.К.

_____ 2021 р.

А К Т

про впровадження в навчальний процес матеріалів кандидатської дисертаційної роботи **“Підвищення ефективності міжнародних вантажних перевезень”** здобувача кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Хоботні Тетяни Георгіївни

Починаючи з 2019-2020 навчального року по теперішній час в навчальному процесі кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету використовуються науково-методичні матеріали і прикладні результати, що містяться в кандидатській дисертації здобувача кафедри міжнародних перевезень та митного контролю *Хоботні Т.Г.*

Так, при проведенні навчального процесу зі студентами спеціальності 275–“Транспортні технології (на автомобільному транспорті)” з дисциплін “Дослідження операцій в транспортних системах” та “Моделі та методи оптимізації перевезень у міжнародному сполученні”, на кафедрі міжнародних перевезень та митного контролю розглядаються теоретичні і прикладні аспекти підвищення ефективності міжнародних вантажних перевезень за рахунок розробки і впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу раціональної організації незбалансованих за обсягами перевезень вантажів у міжнародному сполученні.

Слід також зазначити, що в дипломному проектуванні на факультеті транспортних та інформаційних технологій та при виконанні курсового проекту студентами спеціальності 073 – “Менеджмент” з дисципліни “Транспортні системи в логістиці та організація перевезень” використовуються розроблені в кандидатській дисертації *Хоботні Т.Г.* моделі, методи та програмне забезпечення процесу організації міжнародних вантажних перевезень.

Включення методичних матеріалів і прикладних результатів кандидатської дисертаційної роботи *Хоботні Т.Г.*, які мають певну наукову новизну і практичну цінність, у навчальний процес кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету сприяють його поліпшенню і подальшому удосконаленню.

Декан факультету
транспортних та інформаційних технологій
д.ф.-м.н., професор

/Данчук В.Д./

Завідувач кафедри
міжнародних перевезень та митного контролю
д.т.н., професор

/Прокудін Г.С./



Training and Consulting Center



Асоціація Міжнародних Автомобільних Перевізників

TRAINING
INSTITUTE

Навчально-консультаційний центр АсМАП України

Затверджую
Директор НКЦ АсМАП України
Кокот С.О.
_____ 2021

АКТ

впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи
«Підвищення ефективності міжнародних вантажних перевезень»
здобувача кафедри міжнародних перевезень та митного контролю
Хоботні Тетяни Георгіївни

Керівництво Навчально-консультаційного центру Асоціації міжнародних автомобільних перевізників України (НКЦ АсМАП України) в особі директора Кокот С.О. склало цей акт про те, що результати кандидатської дисертаційної роботи «Підвищення ефективності міжнародних вантажних перевезень» здобувача кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Хоботні Тетяни Георгіївни використовуються у навчально-виробничому процесі при плануванні міжнародних перевезень вантажів випускниками курсів підвищення кваліфікації НКЦ АсМАП України.

Вид результату, що впроваджено: база даних міжнародних транспортних коридорів інфраструктури України та Західної Європи.

Форма впровадження результатів: система підтримки прийняття управлінських рішень по управлінню вантажними перевезеннями (СПРУВП) на транспортних системах України та Західної Європи.

Ефект від впровадження: використання результатів кандидатської дисертаційної роботи «Підвищення ефективності міжнародних вантажних перевезень» здобувача кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Хоботні Т. Г. у навчальному процесі НКЦ АсМАП України при плануванні міжнародних вантажних перевезень, дозволяє раціонально розробляти маршрути перевезення вантажів міжнародними транспортними коридорами, що в свою чергу зменшує час доставки та підвищує прибуток автотранспортних підприємств транспортної галузі України на 10%.

Заступник директора,
Голова акредитаційного
Комітету Академії МСАТ

Л.Г. Добруха

«Затверджую»

Директор ТзОВ «ЛВ-Транс»

Балух Андрій Андрійович

«6» листопада 2020



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Ми, хто підписався нижче, засвідчуємо передачу і, відповідно, приймання для використання продукту наукової розробки, яка полягає в наступному.

Об'єкт впровадження.

1. База даних міжнародних транспортних коридорів (МТК) інфраструктури України та Західної Європи.
2. Системи підтримки прийняття рішень з управління вантажними перевезеннями (СППРУВП) на транспортних системах (ТС) України та Західної Європи.

Ким запропоновано.

Національний транспортний університет, кафедра міжнародних перевезень та митного контролю, автори: Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г.

Де і коли, з якою метою впроваджено.

СППРУВП на транспортних системах (ТС) України та Західної Європи впроваджено на підприємстві ТОВ «ЛВ-Транс» для знаходження оптимальних планів перевезення вантажів при виконанні вантажних перевезень у міжнародному сполученні з листопада 2020 року при плануванні транспортних процесів.

Предмет, результати та ефективність впровадження.

СППРУВП на ТС України та Західної Європи призначена для використання в галузі диспетчерського керування парком автомобільних транспортних засобів,

які здійснюють вантажні міжнародні перевезення. Вона дає можливість вказати оптимальні маршрути і обсяги перевезення вантажів від кожного з його постачальників до кожного з його замовників з урахуванням проміжних транспортних вузлів, причому можуть розглядатися як збалансовані, так і незбалансовані за обсягами поставок вантажні перевезення.

Висновки, зауваження, пропозиції.

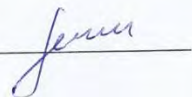
Впровадження і використання СППРУВП на ТС України та Західної Європи дає змогу отримати не тільки оптимальні плани вантажних перевезень у міжнародному сполученні, а й маршрути їх поставки. На відміну від відомих систем вона дає можливість виконувати оптимізацію вантажних перевезень безпосередньо на транспортних мережах за допомогою бази даних МТК інфраструктури України та Західної Європи, причому для випадків не збалансованих за обсягами перевезень вантажів.

СППРУВП на ТС з базою даних МТК інфраструктури України та Західної Європи може бути включена до диспетчерської системи і системи стеження за міжнародними вантажними перевезеннями.

Від підприємства:

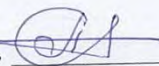
керівник відділу логістики

Симусь І.О.

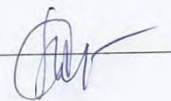


Автори розробки:

Прокудін Г. С.



Хоботня Т. Г.



ДОДАТОК Г

Зміст файлу транспортних вузлів

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
1	Каховка	42600
2	Северодонецк	130300
3	Краматорск	191300
4	Измаил	91500
5	Болград	17600
6	Киля	25700
7	Баштановка	900
8	Вилково	10800
9	Южное	24000
10	Очаков	19100
11	Нечаянное	800
12	Скадовск	22500
13	Геническ	23100
14	Ново-алексеевка	10600
15	Вышгород	22400
16	Верхне-Днепровск	19100
17	Никополь	152000
18	Каменка-Днепровская	17500
19	Васильевка	16800
20	Ново-воронцовка	7600
21	Великая Лепетиха	10400
22	Горностаевка	7100
23	Любомль	10300
24	Камень-Каширский	12600
25	Ратно	8600
26	Владимир-Волынский	40200
27	Червоноград	75300
28	Заречное	8100
29	Дубровица	10800
30	Кременец	24000
31	Шепетовка	51700
32	Припять	700
33	Бородянка	13000
34	Новоград-Волынский	57000
35	Вертиевка	500

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
36	Нежин	80200
37	Белая Церковь	215200
38	Гребенка	13100
39	Добрянка	4000
40	Деревини	700
41	Бахмач	22200
42	Городище (Черн.обл.)	600
43	Конотоп	102000
44	Батурин	3800
45	Ромны	55200
46	Середина-Буда	9100
47	Ромодан	4500
48	Лозовая	71600
49	Павлоград	130000
50	Троицкое	8700
51	Антрацит	67000
52	Волчанск	23100
53	Красноармейск	71600
54	Куйбышево	10300
55	Пологи	25200
56	Энергодар	57800
57	Снигиревка	17300
58	Апостолово	19100
59	Долинская	24600
60	Помошная	11700
61	Серпневое	2600
62	Татарбунары	11700
63	Арциз	19600
64	Березовка	15400
65	Червоно-знаменка	800
66	Першо-травневое	600
67	Рудница	1900
68	Борщи	700
69	Петровка	900
70	Христиновка	13400
71	Вапрянкa	9100
72	Гайворон	16400
73	Жашков	16600

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
74	Фастов	53700
75	Сокиряны	11500
76	Каменец-Подольский	108000
77	Коломыя	67700
78	Залещики	11200
79	Копычинцы	7300
80	Ходоров	12700
81	Батьево	3000
82	Мостиска	9193
83	Самбор	40400
84	Яворов	14200
85	Купянск	34500
86	Сватово	22300
87	Старобельск	23600
88	Меловое	5800
89	Выступовичи	800
90	Овруч	18700
91	Могилев-Подольский	36500
92	Бердичев	92100
93	Немиров	12000
94	Тульчин	17000
95	Ямполь	12800
96	Обухов	33900
97	Мироновка	16400
98	Канев	29500
99	Гельмязов	500
100	Черкаскы	310600
101	Чигирин	126000
102	Бобринец	13600
103	Александровка	13300
104	Ахтырка	53200
105	Красноград	27200
106	Киев	2620900
107	Чернигов	310800
108	Новые Ярыловичи	400
109	Копти	600
110	Кролевец	26600

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
111	Глухов	36100
112	Бачевск	800
113	Пирятин	19400
114	Хорол	16700
115	Полтава	317300
116	Харьков	1521400
117	Изюм	61900
118	Славянск	129600
119	Дебальцево	32800
120	Довжанский	700
121	Смела	78600
122	Александрия	103200
123	Днепро	1122400
124	Донецк	1065400
125	Луганск	475300
126	Изварино	2200
127	Умань	90900
128	Одесса	1027400
129	Житомир	297700
130	Ровно	244900
131	Львов	793700
132	Мукачево	89600
133	Ужгород	126500
134	Чоп	9800
135	Коростень	65700
136	Сарны	31400
137	Ковель	71800
138	Ягодин	600
139	Устилуг	3000
140	Луцк	217900
141	Рава-Русская	9100
142	Краковец	3700
143	Шегини	500
144	Тернополь	235100
145	Хмельницкий	260100
146	Винница	389100
147	Кировоград	270200
148	Знаменка	31200
149	Любашевка	10300
150	Платоново	600
151	Николаев	517900
152	Херсон	358700

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
153	Новая Каховка	57800
154	Мелитополь	171000
155	Бердянск	136000
156	Мариуполь	499800
157	Новоазовск	14700
158	Рени	23900
159	Кучурган	700
160	Симферополь	341000
161	Феодосия	80900
162	Керчь	167400
163	Ялта	86000
164	Севастополь	356000
165	Доманово	800
166	Черновцы	259000
167	Мамалыга	400
168	Тереблече	500
169	Городище (Ров.обл.)	800
170	Старо- константинов	37300
171	Ильичевск	59000
172	Ульяновка	8100
173	Вознесенск	44000
174	Красно-перекопск	31800
175	Джанкой	48500
176	Запорожье	863100
177	Щербаковка	500
178	Сирет	900
179	Бровары	88400
180	Алушта	35900
181	Сумы	302200
182	Юнаковка	800
183	Борисполь	55000
184	Золотоноша	32600
185	Кременчуг	240700
186	Днепродзержинск	275500
187	Рахов	17000
188	Ивано-Франковск	252400
189	Рогатин	9200
190	Стрый	69500
191	Кривой Рог	719600
192	Саки	31900

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
193	Евпатория	113500
194	Судак	18800
195	Чугуев	37800
196	Жмеринка	41300
197	Радымно	5621
198	Жешув	164000
199	Краков	760000
200	Катовице	321163
201	Вроцлав	633000
202	Згожелец	37177
203	Рыбоцице	35412
204	Познань	607500
205	Лодзь	770000
206	Варшава	1709781
207	Седльце	77000
208	Кукурузки	285456
209	Брест	309764
210	Мокраны	54778
211	Пшемьсль	67847
212	Гливице	200361
213	Ополе	128864
214	Легница	104489
215	Гёрлиц	55596
216	Дрезден	512458
217	Гера	99582
218	Эрфурт	204014
219	Бад-Херсфельд	30087
220	Гисен	77366
221	Кёльн	1007119
222	Ахен	245141
223	Льеж	194086
224	Брюссель	148000
225	Гент	230951
226	Остенде	13637
227	Кале	74336
228	Кошице	234969
229	Прешов	90805
230	Тренчин	56750
231	Брно	403000
232	Йиглава	50676
233	Прага	1272690
234	Пльзень	162627

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
235	Розвадов	30000
236	Нюрнберг	505664
237	Хайльбронн	122879
238	Мангейм	313174
239	Саарбрюккен	175536
240	Мец	122838
241	Реймс	188078
242	Париж	2233818
243	Ле-Ман	148169
244	Ренн	216000
245	Сен-Бриё	46087
246	Брест-Ф.	144548
247	Зволен	44331
248	Братислава	431061
249	Вена	1670347
250	Халмеу	25000
251	Сату-Маре	115142
252	Залэу	63642
253	Клуж-Напока	318027
254	Турда	57381
255	Себеш	29458
256	Сибиу	154458
257	Питешти	171498
258	Бухарест	1942254
259	Фетешти	34311
260	Констанца	310471
261	Кисак	25226
262	Хеб	32000
263	Кымпия-Турзи	26377
264	Слатина	78570
265	Гаага (NL)	500000
266	Гауда	71167
267	Утрехт	312634
268	Олдензал	32181
269	Бад-Бентхайм (D)	15567
270	Оснабрюк	164119
271	Бад-Эйнхаузен	48300
272	Ганновер	522686
273	Брауншвейг	248867
274	Магдебург	231525
275	Берлин	3479740
276	Франкфурт-на-	60330

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
	Одере	
277	Куновице (PL)	13567
278	Свободзин	21757
279	Стрыкув	3602
280	Лович	30383
281	Лорьян (F)	59189
282	Ванн	51759
283	Нант	281800
284	Анже	151000
285	Тур	136942
286	Орлеан	116490
287	Монтаржи	15794
288	Осер	37790
289	Бон	22916
290	Доль	25000
291	Безансон	122308
292	Бельфор	50417
293	Сен-Луи	26781
294	Базель (S)	169448
295	Цюрих	373646
296	Винтертур	100000
297	Санкт-Галлен	74879
298	Санкт-Маргретен	5338
299	Хёхст (A)	5789
300	Брегенц	29122
301	Фельдкирх	32341
302	Ландек	27000
303	Тельфс	15000
304	Инсбрук	127000
305	Вёргль	12536
306	Куфштайн	17896
307	Киферс-фельден (D)	6882
308	Ле-Релеко-Керюон (F)	15000
309	Розенхайм	61299
310	Бад-Райхенхалль	17470
311	Зальцбург (Австрия)	150378
312	Заттледт	2287
313	Линц	190000
314	Санкт-Пёльтен	51073

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
315	Никкельсдорф	2005
316	Мошонмадьярова р (H)	30840
317	Дьёр	127594
318	Будапешт	1736000
319	Сольнок	75474
320	Пюшпёкладань	15117
321	Бихаркерестеш	10256
322	Орадя	205077
323	Борш (RO)	2356
324	Вена (A)	1670347
325	Тыргу-Муреш	145943
326	Сигишоара	32570
327	Брашов	227961
328	Плоешти	232537
329	Урзичени	17354
330	Слобозия	52313
331	Хыршова	15225
332	Лудеак (F)	15902
333	Эпиналь	225529
334	Лёррах (D)	221572
335	Хаслах	6995
336	Нагольд	22542
337	Штутгарт	606588
338	Тайнген (S)	4162
339	Зинген (D)	45826
340	Линдау (D)	78643
341	Ульм	122801
342	Нёрдлинген	19023
343	Шарниц (A)	1331
344	Мюнхен (D)	1410259
345	Регенсбург	135520
346	Пфраймд	5447
347	Дольни-Дворжиште (CZ)	5452
348	Ческе-Будеевице	94747
349	Табор	35859
350	Микулов (CZ)	7624
351	Фюзешабонь (H)	15238
352	Мишкольц	178950
353	Сеня (SK)	5242
354	Ла-Корунья (E)	246056

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
355	Бильбао	353200
356	Рибадео	10000
357	Овьедо	224005
358	Торрелавега	55888
359	Кастро-Урдиалес	32258
360	Сан-Себастьян	185357
361	Ирун	60261
362	Биарриц (F)	26690
363	Байонна	44300
364	Бордо	285151
365	Перигё	29416
366	Брив-ла-Гайард	53466
367	Клермон-Ферран	139006
368	Сент-Этьен	177480
369	Лион	480660
370	Шамбери	60900
371	Модан	11256
372	Турин (I)	910923
373	Алессандрия	90532
374	Тортонна	27163
375	Брешиа	191639
376	Верона	263818
377	Местре	25030
378	Пальманова	5006
379	Триест	205374
380	Постойна (SLO)	8548
381	Любляна	280000
382	Брежице	23253
383	Загреб (Хорватия)	792875
384	Славонски-Брод	64000
385	Липовац	5478
386	Белград (Сербия)	1136000
387	Вршац	36623
388	Моравица (Рум.)	5264
389	Тимишоара	336089
390	Карансебеш	28301
391	Дробета-Турну-Северин	86475
392	Крайова	304142
393	Александрия (Рум.)	58651
394	Лиссабон (Португ.)	545245

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
395	Сантарен	63563
396	Лейрия	125949
397	Коимбра	168000
398	Авейру	73559
399	Визеу	98167
400	Гуарда	44264
401	Вилар-Формозу	2481
402	Саламанка (I)	154462
403	Вальядолид	315522
404	Бургос	178574
405	Миранда-де-Эбро	390038
406	Арисгойти	15000
407	По (F)	78732
408	Тулуза	398000
409	Нарбонна	46510
410	Монпелье	251634
411	Арль	50500
412	Экс-ан-Прованс	140100
413	Канны	70610
414	Ницца	352338
415	Монако	32965
416	Ментона	28683
417	Вентимилья (I)	25400
418	Савона	61742
419	Генуя	605084
420	Специя	95641
421	Пиза	87353
422	Гроссето	80178
423	Рим	2761477
424	Авеццано	40957
425	Пескара	128200
426	Дубровник (ZG)	43770
427	Цавтат	2015
428	Плочице	2301
429	Подгорица (MNE)	136473
430	Биело-Поле	15883
431	Рожае	9121
432	Ябланица	2871
433	Митровица (Серб.)	71601
434	Кралево	57414
435	Горни-Милановац	45670
436	Монтижу (Португ.)	39168

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
437	Эвора	55621
438	Бадахос (Испан.)	149137
439	Мерида	55700
440	Трухильо	9692
441	Талавера-де-ла-Рейна	88986
442	Мадрид	3273049
443	Мединасели	1203
444	Калатаюд	21717
445	Сарагоса	701090
446	Вильяфранка-дель-Пенедес	38218
447	Барселона	1615908
448	Мадзара-дель-Валло (I)	50377
449	Алькамо	44959
450	Мессина	247592
451	Реджо-ди-Калабрия	186807
452	Катандзаро	93572
453	Кротоне	60517
454	Метапonto	1120
455	Таранто	193884
456	Бриндизи	89694
457	Чефалу	13744
458	Фурнари	3290
459	Игуменица (GR)	17000
460	Фильяте	5426
461	Сайяда	1526
462	Конисполи (AL)	1232
463	Саранда	15259
464	Влёра	130000
465	Люшня	37872
466	Дуррес	114000
467	Лежа	18695
468	Шкодер	198568
469	Скубокин (MNE)	2546
470	Бар	13719
471	Петровац	2365
472	Антверпен (B)	472071
473	Мер	1703
474	Роттердам (Нидер.)	610462

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
475	Кассель	195530
476	Нортхайм	29431
477	Хильдесхайм	102794
478	Миттенвальд	7434
479	Люббенау	16820
480	Руланд	3896
481	Равич	21398
482	Лешно	63970
483	Груец	14875
484	Кельце	205094
485	Клермон	1235
486	Амьен	136000
487	Сент-Омер	12500
488	Шарлеруа	212300
489	Брюли (Бельг.)	1254
490	Ретель	8679
491	Франкфурт-на-Майне	679664
492	Бенсхайм	39729
493	Айсфельд	5569
494	Бамберг	70004
495	Эрланген	105629
496	Гайзинг (Герм.)	3142
497	Карловы Вары	51537
498	Тоужим	3827
499	Клодзко	28034
500	Бобушов	5623
501	Летовице	6800
502	Гиралтовце	4186
503	Тылява (Польша)	2563
504	Дукля	17019
505	Бранденбург	2541950
506	Кемпер	29000
507	Сольё	2643
508	Совата	5600
509	Блаж	20910
510	Бетансос	13673
511	Эль-Ферроль	73638
512	Сен-Поль-Лес-Дакс	35456
513	Бигано	15233
514	Винковцы	33239

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
515	Товарник	5335
516	Рошиорий-де-Веде	31255
517	Помбал	59471
518	Секейра	5203
519	Анкона	115200
520	Титово-Ужице (Серб.)	102463
521	Смедеревска-Паланка	53778
522	Амстердам (Голан.)	790044
523	Роттердам (Голан.)	617347
524	Дубровник (Хорватия)	43770
525	Гамбург (Герм.)	1794453
526	Вильгельмсхафен (Герм.)	81324
527	Гданьск (Поль.)	457000
528	Гдыня (Поль.)	255300
529	Щецин (Поль.)	405606
530	Росток (Герм.)	202735
531	Копенгаген (Дания)	549050
532	Фредериксхавн (Дания)	23636
533	Бремерхафен (Герм.)	113366
534	Бремен (Герм.)	547685
535	Эмден (Герм.)	51616
536	Зебрюгге (Бельг.)	3865
537	Гавр (Франц.)	188605
538	Сен-Назер (Франц.)	68838
539	Хихон (Испан.)	280462
540	Виго (Испан.)	299088
541	Сетубал (Португалия)	122554
542	Уэльва (Испания)	149310
543	Севилья (Испания)	703206
544	Тарифа (Испания)	17768
545	Малага (Испания)	568507
546	Альмерия	190013

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
	(Испания)	
547	Валенсия (Испания)	810064
548	Марсель (Франция)	839043
549	Ливорно (Италия)	160774
550	Салерно (Италия)	146045
551	Джела (Италия)	77260
552	Катания (Италия)	294756
553	Риека (Хорватия)	144043
554	Сплит (Хорватия)	221000
555	Плоче (Хорватия)	6537
556	Керкира (Греция)	39487
557	Патры (Греция)	214585
558	Коринф (Греция)	36555
559	Чанаккале (Турция)	90653
560	Стамбул (Турция)	13483052
561	Бургас (Болгария)	207925
562	Варна (болгария)	352770
563	Плонськ	22258
564	Млава	30817
565	Оструда	33603
566	Эльблонг	127900
567	Витшток	15235
568	Мальхов	6793
569	Зольтау	21829
570	Вильдесхаузен	19209
571	Ольденбург	162173
572	Вила-Франка-ди-Шира	122908
573	Коруши	20191
574	Вендаш-Новаш	11957
575	Эштремош	15673
576	Бари	325000
577	Вестерстедде	22033
578	Брюгге (Бельгия)	117639
579	Сантьяго-де-Компостела (Испания)	94824
580	Игера-ла-Реаль (Испания)	2483
581	Херес-де-ла-	208896

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
	Фронтера (Испания)	
582	Монестерио (Испания)	4414
583	Сафра (Испания)	16433
584	Лос-Барриос (Испания)	22587
585	Марбелья (Испания)	136322
586	Мурсия (Испания)	436870
587	Альбасете (Испания)	171390
588	Мота-дель-Куэрво (Испания)	6304
589	Окантя	10098
590	Кастельон-де-ла-Плана (Испания)	180005
591	Ампоста (Испания)	21365
592	Эль-Вендрель (Испания)	36068
593	Неаполь (Италия)	963357
594	Казерта (Италия)	79488
595	Чепрано (Италия)	8312
596	Шапьяне (Хорватия)	3568
597	Старад (Словения)	3214
598	Козина (Словения)	4589
599	Подгора (Хорватия)	2547
600	Край (Хорватия)	3564
601	Завала (Хорватия)	2589
602	Слано (Хорватия)	3564
603	Ибс-на-Дунае	5812
604	Кремс-на-Дунае	23713
605	Комарно	37000
606	Эстергон	28412
607	Дунауйварош	46320
608	Бая	37690
609	Апатин	19320
610	Нови-Сад	250439
611	Смедерево	77808
612	Голубац	9248
613	Доньи Милонавац	3000
614	Груя	1810

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
615	Видин	46864
616	Оряхово	5837
617	Никопол	4071
618	Свиштов	35923
619	Джурджу	71000
620	Тутракан	9376
621	Силистра	40000
622	Чернаводэ	18595
623	Гиндерешть	2712
624	Браила	216900
625	Хельсинки	643272
626	Таллин	441961
627	Марьямаа	3183
628	Пярну	40700
629	Айнажи	891
630	Саулкрасти	3280
631	Рига	641423
632	Иецава	5728
633	Пасвалис	7077
634	Паневежис	89661
635	Кейдайняй	25654
636	Каунас	301068
637	Марьямполе	35987
638	Сувалки	69527
639	Граево	23302
640	Ломжа	63092
641	Ружан	2697
642	Пултуск	19229
643	Зелов	5599
644	Суленцин	10203
645	Мендзихуд	10680
646	Пневи	7990
647	Вжесня	29984
648	Конин	80355
649	Кутно	48000
650	Бяла-Подляска	57471
651	Кобрин	53177
652	Бяроза	29441
653	Ивацевичи	22958
654	Барановичи	179079
655	Стовбци	16946
656	Дзяржинськ	27441

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
657	Минск	1981690
658	Жодзина	64559
659	Крупки	8630
660	Толочин	9817
661	Орша	115052
662	Гусино	3253
663	Смоленск	330451
664	Ярцево	44097
665	Храмцово	999
666	Вязьма	52506
667	Старое	999
668	Можайск	30190
669	Кубинка	20157
670	Москва	11920000
671	Электросталь	158226
672	Лакинск	14568
673	Крутово	498
674	Вязники	36635
675	Золино	450
676	Нижний-Новгород	1257000
677	Синт-Трейден	38828
678	Кельн	1000298
679	Зиген	103555
680	Альсфельд	16351
681	Айзенах	42800
682	Ерфурт	204000
683	Йена	110321
684	Хемниц	248645
685	Баутцен	40798
686	Бжег	38496
687	Тарнув	107045
688	Буск	8561
689	Радивилов	10498
690	Дубно	38039
691	Корец	7245
692	Коростышев	25817
693	Белогородка	14000
694	Теплице	50379
695	Тршебонь	8862
696	Хорн	6382
697	Чорна	10663
698	Татабанья	67043

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
699	Кечкемет	112071
700	Сегед	161921
701	Надлак	8021
702	Арад	147922
703	Дева	67508
704	Петрила	25361
705	Тиргу-Жиу	78553
706	Филиаши	16900
707	Попешть	1979
708	Лехлиу-Гарэ	6072
709	Фетешть	30217
710	Шабла	3400
711	Шумен	87924
712	Омуртаг	10004
713	Кесарево	1534
714	Севлиево	24065
715	Благоевград	70881
716	Сандански	26255
716	София	1430000
718	Сидирокастро	5177
719	Салоники	1104460
720	Венеция	261358
721	Монфальконе	27668
722	Постойна	14581
723	Целе	37584
724	Марибор	94876
725	Грац	283869
726	Фюрстенфельд	5986
727	Вашвар	4677
728	Веспрем	60788
729	Хатван	20200
730	Фюзешабонь	8400
731	Польгар	7889
732	Ньиредьхаза	118164
733	Воловец	9194

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
734	Сколе	6742
735	Нове	6270
736	Хелмно	20428
737	Торунь	206765
738	Радомско	50618
739	Ченстохова	223322
740	Бельско-Бяла	176678
741	Чадца	27000
742	Жилина	86000
743	Тирана	883996
744	Преняс	6614
745	Кичево	27067
746	Гостивар	35847
747	Скопье	544086
748	Куманово	70842
749	Кюстендил	44111
750	Перник	84827
751	Панагюриште	18487
752	Пловдив	367376
753	Димитровград	38884
754	Раднево	14028
755	Ямбол	75813
756	Обзор	2117
757	Ловийса	15186
758	Хамина	21956
759	Выборг	77400
760	Рощино	14442
761	Санкт-Петербург	5351935
762	Кузнецово	14
763	Луга	35262
764	Лудони	381
765	Псков	210501
766	Остров	20427
767	Опочка	10144
768	Пустошка	4017

N_P		
Kod	Naim	Kol_g
769	Езерище	1223
770	Витебск	377932
771	Ореховск	2402
772	Могилёв	381353
773	Довск	1841
774	Гомель	535693
775	Козелец	7968
776	Гребенки	6993
777	Ставище	6496
778	Кривое Озеро	7665
779	Жовтень	2954
780	Радштадт	4710
781	Шпитталь-ан-дер-Драу	15952
782	Крань	36874
783	Ново место	22415
784	Кутина	13735
785	Нова-Градишка	13264
786	Сремска-Митровица	39041
787	Радинач	5428
788	Лапово	7844
789	Парачин	56913
790	Ниш	275724
791	Пирот	57922
792	Велес	43716
793	Удово	851
794	Килкис	22914

Зміст файлу транспортних комунікацій

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
1	M - 01	Киев	Копти	90
2	M - 01	Копти	Чернигов	50
3	M - 01	Чернигов	Новые Ярыловичи	52
4	M - 02	Копти	Вертиевка	51
5	M - 02	Вертиевка	Городище (Черн.обл.)	67
6	M - 02	Городище (Черн.обл.)	Батурин	10
7	M - 02	Батурин	Кролевец	43
8	M - 02	Кролевец	Глухов	40
9	M - 02	Глухов	Бачевск	36
10	M - 03	Киев	Пирятин	160
11	M - 03	Пирятин	Хорол	89
12	M - 03	Хорол	Полтава	88
13	M - 03	Полтава	Харьков	150
14	M - 03	Харьков	Чугуев	38
15	M - 03	Чугуев	Изюм	89
16	M - 03	Изюм	Славянск	50
17	M - 03	Славянск	Дебальцево	83
18	M - 03	Дебальцево	Антрацит	55
19	M - 03	Антрацит	Довжанский	63
20	M - 04	Киев	Борисполь	32
21	M - 04	Борисполь	Кременчуг	248
22	M - 04	Кременчуг	Верхнеднепровск	91
23	M - 04	Верхнеднепровск	Днепропетровск	60
24	M - 04	Днепропетровск	Павлоград	75
25	M - 04	Павлоград	Красноармейск	107
26	M - 04	Красноармейск	Донецк	71
27	M - 04	Донецк	Луганск	148
28	M - 04	Луганск	Изварино	63
29	M - 05	Киев	Белая Церковь	81
30	M - 05	Белая Церковь	Жашков	61
31	M - 05	Жашков	Умань	70
32	M - 05	Умань	Ульяновка	46
33	M - 05	Ульяновка	Червонознаменка	146
34	M - 05	Червонознаменка	Одесса	85
35	M - 06	Киев	Житомир	131
36	M - 06	Житомир	Новоград-Волынский	85

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
37	M - 06	Новоград-Волынский	Ровно	102
38	M - 06	Ровно	Львов	223
39	M - 06	Львов	Мукачево	227
40	M - 06	Мукачево	Ужгород	44
41	M - 06	Ужгород	Чоп	23
42	M - 07	Киев	Бородянка	55
43	M - 07	Бородянка	Коростень	97
44	M - 07	Коростень	Сарны	179
45	M - 07	Сарны	Ковель	134
46	M - 07	Ковель	Любомль	46
47	M - 07	Любомль	Ягодин	16
48	M - 08	Устилуг	Владимир-Волынский	13
49	M - 08	Владимир-Волынский	Луцк	75
50	M - 08	Луцк	Ровно	70
51	M - 09	Львов	Рава-Русская	63
52	M - 10	Львов	Яворов	51
53	M - 10	Яворов	Краковец	18
54	M - 11	Львов	Мостиска	66
55	M - 11	Мостиска	Шегини	10
56	M - 12	Львов	Тернополь	128
57	M - 12	Тернополь	Хмельницкий	112
58	M - 12	Хмельницкий	Винница	120
59	M - 12	Винница	Христиновка	134
60	M - 12	Христиновка	Умань	23
61	M - 12	Умань	Кировоград	158
62	M - 12	Кировоград	Знаменка	40
63	M - 13	Кировоград	Помошная	72
64	M - 13	Помошная	Любашевка	98
65	M - 13	Любашевка	Петровка	63
66	M - 13	Петровка	Платоново	34
67	M - 14	Одесса	Южное	40
68	M - 14	Южное	Нечаянное	50
69	M - 14	Нечаянное	Николаев	30
70	M - 14	Николаев	Херсон	62
71	M - 14	Херсон	Новая Каховка	77
72	M - 14	Новая Каховка	Каховка	14
73	M - 14	Каховка	Мелитополь	149

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
74	М - 14	Мелитополь	Бердянск	129
75	М - 14	Бердянск	Мариуполь	89
76	М - 14	Мариуполь	Новоазовск	41
77	М - 15	Одесса	Татарбунары	136
78	М - 15	Татарбунары	Баштановка	18
79	М - 15	Баштановка	Болград	84
80	М - 15	Болград	Рени	55
81	М - 16	Одесса	Кучурган	59
82	М - 17	Симферополь	Феодосия	116
83	М - 17	Феодосия	Керчь	98
84	М - 18	Симферополь	Ялта	86
85	М - 18	Ялта	Севастополь	85
86	М - 19	Доманово	Ратно	22
87	М - 19	Ратно	Ковель	54
88	М - 19	Ковель	Луцк	73
89	М - 19	Луцк	Кременец	91
90	М - 19	Кременец	Тернополь	76
91	М - 19	Тернополь	Копычинцы	58
92	М - 19	Копычинцы	Залещики	59
93	М - 19	Залещики	Черновцы	48
94	М - 19	Черновцы	Мамалыга	31
95	М - 20	Житомир	Хмельницкий	186
96	М - 20	Хмельницкий	Каменец-Подольский	95
97	М - 20	Каменец-Подольский	Черновцы	81
98	М - 20	Черновцы	Тереблече	37
99	М - 21	Городище (Ров.обл.)	Дубровица	30
100	М - 21	Дубровица	Сарны	33
101	М - 21	Сарны	Ровно	84
102	М - 21	Ровно	Шепетовка	90
103	М - 21	Шепетовка	Староконстантинов	79
104	М - 22	Одесса	Ильичевск	14
105	М - 23	Ульяновка	Вознесенск	120
106	М - 23	Вознесенск	Николаев	89
107	М - 24	Херсон	Красноперекопск	132
108	М - 24	Красноперекопск	Симферополь	119
109	М - 25	Красноперекопск	Джанкой	57
110	М - 25	Джанкой	Феодосия	121
111	М - 26	Харьков	Днепропетровск	226
112	М - 26	Днепропетровск	Запорожье	103

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
113	М - 26	Запорожье	Васильевка	53
114	М - 26	Васильевка	Мелитополь	60
115	М - 26	Мелитополь	Новоалексеевка	90
116	М - 26	Новоалексеевка	Джанкой	69
117	М - 26	Джанкой	Симферополь	93
118	М - 26	Симферополь	Севастополь	75
119	М - 27	Харьков	Щербаковка	30
120	Е - 40	Шегини	Львов	76
121	Е - 40	Львов	Ровно	223
122	Е - 40	Ровно	Житомир	187
123	Е - 40	Житомир	Киев	131
124	Е - 40	Киев	Пирятин	160
125	Е - 40	Пирятин	Хорол	89
126	Е - 40	Хорол	Полтава	88
127	Е - 40	Полтава	Харьков	150
128	Е - 40	Харьков	Изюм	127
129	Е - 40	Изюм	Славянск	50
130	Е - 40	Славянск	Дебальцево	83
131	Е - 40	Дебальцево	Довжанский	118
132	Е - 50	Ужгород	Мукачево	44
133	Е - 85	Черновцы	Сирет	39
134	Е - 93	Бачевск	Глухов	36
135	Е - 93	Глухов	Кролевец	40
136	Е - 93	Кролевец	Копти	171
137	Е - 93	Копти	Бровары	61
138	Е - 93	Бровары	Киев	28
139	Е - 93	Киев	Умань	212
140	Е - 93	Умань	Одесса	277
141	Е - 95	Щербаковка	Харьков	30
142	Е - 95	Харьков	Днепропетровск	226
143	Е - 95	Днепропетровск	Запорожье	103
144	Е - 95	Запорожье	Мелитополь	113
145	Е - 95	Мелитополь	Джанкой	159
146	Е - 95	Джанкой	Симферополь	93
147	Е - 95	Симферополь	Алушта	42
148	Е - 95	Алушта	Ялта	44
149	Е - 471	Мукачево	Львов	227
150	Е - 573	Чоп	Ужгород	23
151	Е - 581	Кучурган	Одесса	59
152	Р - 01	Киев	Ромны	219
153	Р - 01	Ромны	Сумы	101
154	Р - 01	Сумы	Юнаковка	45

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
155	P - 02	Борисполь	Гельмязов	88
156	P - 02	Гельмязов	Золотоноша	28
157	P - 02	Золотоноша	Кременчуг	137
158	P - 02	Кременчуг	Днепро- дзержинск	120
159	P - 02	Днепро- дзержинск	Днепропетровск	35
160	P - 02	Днепропетровск	Запорожье	89
161	P - 03	Мукачево	Рахов	148
162	P - 03	Рахов	Ивано-Франковск	118
163	P - 03	Ивано-Франковск	Рогатин	60
164	P - 04	Стрый	Ивано-Франковск	100
165	P - 04	Ивано-Франковск	Коломыя	60
166	P - 04	Коломыя	Черновцы	75
167	P - 05	Стрый	Ходоров	40
168	P - 05	Ходоров	Тернополь	107
169	P - 06	Днепропетровск	Кривой Рог	143
170	P - 06	Кривой Рог	Николаев	170
171	P - 07	Симферополь	Саки	46
172	P - 07	Саки	Евпатория	20
173	P - 08	Алушта	Судак	56
174	P - 08	Судак	Феодосия	47
175	P - 09	Чугуев	Купянск	76
176	P - 09	Купянск	Сватово	57
177	P - 09	Сватово	Северодонецк	63
178	P - 09	Северодонецк	Старобельск	64
179	P - 09	Старобельск	Меловое	101
180	P - 10	Выступовичи	Овруч	35
181	P - 10	Овруч	Коростень	47
182	P - 10	Коростень	Житомир	82
183	P - 10	Житомир	Бердичев	43
184	P - 10	Бердичев	Винница	79
185	P - 10	Винница	Немиров	48
186	P - 10	Немиров	Могилев- Подольский	100
187	P - 11	Немиров	Тульчин	40
188	P - 11	Тульчин	Вапрянкa	22
189	P - 11	Вапрянкa	Ямполь	55
190	P - 12	Киев	Обухов	37
191	P - 13	Мироновка	Канев	41
192	P - 13	Канев	Гельмязов	29
193	P - 14	Золотоноша	Черкассы	38

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
194	P - 14	Черкассы	Смела	26
195	P - 15	Канев	Черкассы	78
196	P - 15	Черкассы	Чигирин	62
197	P - 15	Чигирин	Кременчуг	55
198	P - 16	Александровка	Кировоград	55
199	P - 16	Кировоград	Бобринец	51
200	P - 16	Бобринец	Николаев	130
201	P - 17	Сумы	Ахтырка	73
202	P - 17	Ахтырка	Полтава	95
203	P - 17	Полтава	Кременчуг	110
204	P - 17	Кременчуг	Александрия	60
205	P - 18	Полтава	Красноград	73
206	P - 19	Славянск	Краматорск	18
207	P - 19	Краматорск	Донецк	87
208	P - 19	Донецк	Мариуполь	107
209	Г - 01	Измаил	Болград	43
210	Г - 02	Вилково	Киля	30
211	Г - 02	Киля	Баштановка	41
212	Г - 03	Очаков	Нечаянное	43
213	Г - 04	Скадовск	Херсон	77
214	Г - 05	Геническ	Новоалексеевка	13
215	Г - 06	Вышгород	Киев	18
216	Г - 07	Никополь	Запорожье	75
217	Г - 08	Каменка- Днепровская	Васильевка	76
218	Г - 09	Нововоронцовка	Кривой Рог	66
219	Г - 10	Великая Лепетиха	Горностаевка	26
220	Г - 10	Горностаевка	Каховка	36
221	Г - 11	Камень- Каширский	Ратно	32
222	Г - 12	Червоноград	Рава-Русская	55
223	Г - 13	Заречное	Дубровица	54
224	Г - 14	Припять	Бородянка	105
225	Г - 15	Нежин	Вертиевка	15
226	Г - 16	Гребенка	Пирятин	16
227	Г - 17	Добрянкa	Новые Ярыловичи	12
228	Г - 18	Деревины	Добрянкa	41
229	Г - 19	Бахмач	Городище (Черн.обл.)	13
230	Г - 20	Конотоп	Батурич	27
231	Г - 21	Середина-Буда	Глухов	62
232	Г - 22	Ромодан	Хорол	56

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
233	Г - 23	Лозовая	Павлоград	57
234	Г - 24	Троицкое	Сватово	60
235	Г - 25	Волчанск	Харьков	66
236	Г - 26	Куйбышево	Бердянск	73
237	Г - 27	Пологи	Запорожье	94
238	Г - 28	Каменка-Днепровская	Энергодар	16
239	Г - 29	Снигиревка	Херсон	52
240	Г - 30	Апостолово	Кривой Рог	38
241	Г - 31	Долинская	Бобринец	47
242	Г - 32	Серпневое	Арциз	52
243	Г - 32	Арциз	Татарбунары	26
244	Г - 33	Березовка	Червонознаменка	53
245	Г - 34	Першотравневое	Червонознаменка	22
246	Г - 35	Рудница	Ямполь	67
247	Г - 36	Борщи	Петровка	30
248	Г - 37	Гайворон	Ульяновка	40
249	Г - 38	Фастов	Белая Церковь	35
250	Г - 39	Сокиряны	Каменец-Подольский	86
251	Г - 40	Батьево	Чоп	21
252	Г - 41	Самбор	Мостиска	33
253	Г - 42	Жмеринка	Винница	43
254	Г - 43	Северодонецк	Славянск	98
255	A-4	Краковец	Радымно	23
256	A-4	Радымно	Жешув	62
257	A-4	Жешув	Краков	160
258	A-4	Краков	Катовице	85
259	A-4	Катовице	Вроцлав	200
260	A-4	Вроцлав	Згожелец	160
261	A-2	Рыбоцице	Познань	180
262	A-2	Познань	Лодзь	210
263	A-2	Лодзь	Варшава	120
264	A-2	Варшава	Седльце	80
265	A-2	Седльце	Кукуруки	99
266	A-2_1	Кукуруки	Брест	9
267	A-2_1	Брест	Мокраны	55
268	A-2_1	Мокраны	Доманово	5
269	E-40	Мостиска	Пшемысль	27
270	E-40	Пшемысль	Радымно	19
271	E-40	Радымно	Краков	220
272	E-40	Краков	Гливице	100

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
273	E-40	Гливице	Ополе	70
274	E-40	Ополе	Вроцлав	89
275	E-40	Вроцлав	Легница	63
276	E-40	Легница	Гёрлиц	91
277	E-40	Гёрлиц	Дрезден	98
278	E-40	Дрезден	Гера	140
279	E-40	Гера	Эрфурт	89
280	E-40	Эрфурт	Бад-Херсфельд	110
281	E-40	Бад-Херсфельд	Гисен	82
282	E-40	Гисен	Кёльн	150
283	E-40	Кёльн	Ахен	69
284	E-40	Ахен	Льеж	50
285	E-40	Льеж	Брюссель	87
286	E-40	Брюссель	Гент	56
287	E-40	Гент	Остенде	63
288	E-40	Остенде	Кале	100
289	E-50	Ужгород	Кошице	88
290	E-50	Кошице	Прешов	32
291	E-50	Прешов	Тренчин	280
292	E-50	Тренчин	Брно	130
293	E-50	Брно	Йиглава	87
294	E-50	Йиглава	Прага	110
295	E-50	Прага	Пльзень	92
296	E-50	Пльзень	Розвадов	66
297	E-50	Розвадов	Нюрнберг	130
298	E-50	Нюрнберг	Хайльбронн	160
299	E-50	Хайльбронн	Мангейм	75
300	E-50	Мангейм	Саарбрюккен	120
301	E-50	Саарбрюккен	Мец	65
302	E-50	Мец	Реймс	170
303	E-50	Реймс	Париж	120
304	E-50	Париж	Ле-Ман	180
305	E-50	Ле-Ман	Ренн	140
306	E-50	Ренн	Сен-Бриё	89
307	E-50	Сен-Бриё	Брест-Ф.	140
308	E-58	Ужгород	Кошице	88
309	E-58	Кошице	Зволен	200
310	E-58	Зволен	Братислава	180
311	E-58	Братислава	Вена	64
312	E-81	Мукачево	Халмеу	65
313	E-81	Халмеу	Сату-Маре	33
314	E-81	Сату-Маре	Залэу	77

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
315	E-81	Залэу	Клуж-Напока	69
316	E-81	Клуж-Напока	Турда	29
317	E-81	Турда	Себеш	100
318	E-81	Себеш	Сибиу	52
319	E-81	Сибиу	Питешти	140
320	E-81	Питешти	Бухарест	100
321	E-81	Бухарест	Фетешти	140
322	E-81	Фетешти	Констанца	150
323	E-30	Гаага (NL)	Гауда	24
324	E-30	Гауда	Утрехт	32
325	E-30	Утрехт	Олдензал	130
326	E-30	Олдензал	Бад-Бентхайм (D)	17
327	E-30	Бад-Бентхайм (D)	Оснабрюк	64
328	E-30	Оснабрюк	Бад-Эйнхаузен	55
329	E-30	Бад-Эйнхаузен	Ганновер	76
330	E-30	Ганновер	Брауншвейг	63
331	E-30	Брауншвейг	Магдебург	90
332	E-30	Магдебург	Берлин	135
333	E-30	Берлин	Франкфурт-на-Одере	76
334	E-30	Франкфурт-на-Одере	Куновице (PL)	9
335	E-30	Куновице (PL)	Свободзин	64
336	E-30	Свободзин	Познань	110
337	E-30	Познань	Стрыкув	200
338	E-30	Стрыкув	Лович	34
339	E-30	Лович	Варшава	75
340	E-60	Ле-Релеко-Керюон (F)	Лорьян (F)	128
341	E-60	Лорьян (F)	Ванн	55
342	E-60	Ванн	Нант	112
343	E-60	Нант	Анже	85
344	E-60	Анже	Тур	115
345	E-60	Тур	Орлеан	110
346	E-60	Орлеан	Монтаржи	69
347	E-60	Монтаржи	Осер	77
348	E-60	Осер	Бон	140
349	E-60	Бон	Доль	57
350	E-60	Доль	Безансон	47
351	E-60	Безансон	Бельфор	90
352	E-60	Бельфор	Сен-Луи	69
353	E-60	Сен-Луи	Базель (S)	7

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
354	E-60	Базель (S)	Цюрих	85
355	E-60	Цюрих	Винтертур	23
356	E-60	Винтертур	Санкт-Галлен	54
357	E-60	Санкт-Галлен	Санкт-Маргретен	25
358	E-60	Санкт-Маргретен	Хёхст (A)	3
359	E-60	Хёхст (A)	Брегенц	8
360	E-60	Брегенц	Фельдкирх	28
361	E-60	Фельдкирх	Ландек	78
362	E-60	Ландек	Тельфс	45
363	E-60	Тельфс	Инсбрук	26
364	E-60	Инсбрук	Вёргль	57
365	E-60	Вёргль	Куфштайн	25
366	E-60	Куфштайн	Киферсфельден (D)	6
367	E-60	Киферсфельден (D)	Розенхайм	25
368	E-60	Розенхайм	Бад-Райхенхалль	72
369	E-60	Бад-Райхенхалль	Зальцбург (A)	13
370	E-60	Зальцбург (A)	Заттледт	94
371	E-60	Заттледт	Линц	29
372	E-60	Линц	Санкт-Пёльтен	100
373	E-60	Санкт-Пёльтен	Вена (A)	71
374	E-60	Вена (A)	Никкельсдорф	66
375	E-60	Никкельсдорф	Мошонмадьярова (H)	16
376	E-60	Мошон-мадьяровар (H)	Дьёр	37
377	E-60	Дьёр	Будапешт	120
378	E-60	Будапешт	Сольнок	95
379	E-60	Сольнок	Пюшпёкладань	76
380	E-60	Пюшпёкладань	Бихаркерестеш	59
381	E-60	Бихаркерестеш	Борш (RO)	7
382	E-60	Борш (RO)	Орадя	12
383	E-60	Орадя	Клуж-Напока	147
384	E-60	Турда	Тыргу-Муреш	72
385	E-60	Тыргу-Муреш	Сигишоара	43
386	E-60	Сигишоара	Брашов	110
387	E-60	Брашов	Плоешти	97
388	E-60	Плоешти	Бухарест	55
389	E-60	Бухарест	Урзичени	51
390	E-60	Урзичени	Слобозия	60
391	E-60	Слобозия	Хыршова	56
392	E-60	Хыршова	Констанца	83

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
393	A-6-5	Ле-Релеко-Керюон (F)	Брест-Ф.	7
394	A-6-5	Ванн	Лудеак (F)	69
395	A-6-5	Лудеак (F)	Сен-Бриё	41
396	A-6-5	Нант	Ренн	100
397	A-6-5	Орлеан	Париж	130
398	A-6-5	Безансон	Эпиналь	132
399	A-6-5	Эпиналь	Мец	125
400	A-6-5	Базель (S)	Лёррах (D)	17
401	A-6-5	Лёррах (D)	Хаслах	93
402	A-6-5	Хаслах	Нагольд	80
403	A-6-5	Нагольд	Штутгарт	41
404	A-6-5	Штутгарт	Хайльбронн	45
405	A-6-5	Винтертур	Тайнген (S)	30
406	A-6-5	Зинген (D)	Штутгарт	142
407	A-6-5	Хёхст (A)	Линдау (D)	20
408	A-6-5	Линдау (D)	Ульм	120
409	A-6-5	Ульм	Нёрдлинген	70
410	A-6-5	Нёрдлинген	Нюрнберг	80
411	A-6-5	Инсбрук	Шарниц (A)	28
412	A-6-5	Шарниц (A)	Мюнхен (D)	92
413	A-6-5	Мюнхен (D)	Регенсбург	120
414	A-6-5	Регенсбург	Пфраймд	60
415	A-6-5	Пфраймд	Розвадов	40
416	A-6-5	Линц	Дольни-Дворжиште (CZ)	55
417	A-6-5	Дольни-Дворжиште (CZ)	Ческе-Будеёвице	40
418	A-6-5	Ческе-Будеёвице	Табор	55
419	A-6-5	Табор	Прага	80
420	A-6-5	Вена (A)	Микулов (CZ)	68
421	A-6-5	Микулов (CZ)	Брно	52
422	A-6-5	Будапешт	Фюзешабонь (H)	110
423	A-6-5	Фюзешабонь (H)	Мишкольц	60
424	A-6-5	Мишкольц	Сеня (SK)	65
425	A-6-5	Сеня (SK)	Кошице	25
426	E-70	Ла-Корунья (E)	Рибадео	140
427	E-70	Рибадео	Овьедо	145
428	E-70	Овьедо	Торрелавега	160
429	E-70	Торрелавега	Кастро-Урдиалес	80
430	E-70	Кастро-Урдиалес	Бильбао	20
431	E-70	Бильбао	Сан-Себастьян	100

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
432	E-70	Сан-Себастьян	Ирун	10
433	E-70	Ирун	Биарриц (F)	29
434	E-70	Биарриц (F)	Байонна	5
435	E-70	Байонна	Бордо	166
436	E-70	Бордо	Перигё	120
437	E-70	Перигё	Брив-ла-Гайард	80
438	E-70	Брив-ла-Гайард	Клермон-Ферран	160
439	E-70	Клермон-Ферран	Сент-Этьен	140
440	E-70	Сент-Этьен	Лион	50
441	E-70	Лион	Шамбери	90
442	E-70	Шамбери	Модан	110
443	E-70	Модан	Турин (I)	89
444	E-70	Турин (I)	Алессандрия	91
445	E-70	Алессандрия	Тортон	25
446	E-70	Тортон	Брешиа	150
447	E-70	Брешиа	Верона	60
448	E-70	Верона	Местре	100
449	E-70	Местре	Пальманова	115
450	E-70	Пальманова	Триест	50
451	E-70	Триест	Постойна (SLO)	40
452	E-70	Постойна (SLO)	Любляна	45
453	E-70	Любляна	Брежице	100
454	E-70	Брежице	Загреб (Хорв.)	40
455	E-70	Загреб (Хорв.)	Славонски-Брод	190
456	E-70	Славонски-Брод	Липовац	90
457	E-70	Липовац	Белград (Серб.)	120
458	E-70	Белград (Серб.)	Вршац	95
459	E-70	Вршац	Моравица (Рум.)	10
460	E-70	Моравица (Рум.)	Тимишоара	60
461	E-70	Тимишоара	Карансебеш	102
462	E-70	Карансебеш	Дробета-Турну-Северин	110
463	E-70	Дробета-Турну-Северин	Крайова	112
464	E-70	Крайова	Александрия (Рум.)	140
465	E-70	Александрия (Рум.)	Бухарест	150
466	E-80	Лиссабон (Португ.)	Сантарен	71
467	E-80	Сантарен	Лейрия	79
468	E-80	Лейрия	Коимбра	60
469	E-80	Коимбра	Авейру	55

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
470	E-80	Авейру	Визеу	75
471	E-80	Визеу	Гуарда	70
472	E-80	Гуарда	Вилар-Формозу	50
473	E-80	Вилар-Формозу	Саламанка (I)	110
474	E-80	Саламанка (I)	Вальядолид	100
475	E-80	Вальядолид	Бургос	123
476	E-80	Бургос	Миранда-де-Эбро	92
477	E-80	Миранда-де-Эбро	Арисгойти	65
478	E-80	Арисгойти	Сан-Себастьян	95
479	E-80	Сан-Себастьян	Ирун	10
480	E-80	Ирун	Биарриц (F)	29
481	E-80	Биарриц (F)	По (F)	97
482	E-80	По (F)	Тулуза	186
483	E-80	Тулуза	Нарбонна	147
484	E-80	Нарбонна	Монпелье	91
485	E-80	Монпелье	Арль	67
486	E-80	Арль	Экс-ан-Прованс	107
487	E-80	Экс-ан-Прованс	Канны	140
488	E-80	Канны	Ницца	24
489	E-80	Ницца	Монако	15
490	E-80	Монако	Ментона	17
491	E-80	Ментона	Вентимилья (I)	11
492	E-80	Вентимилья (I)	Савона	107
493	E-80	Савона	Генуя	40
494	E-80	Генуя	Специя	92
495	E-80	Специя	Пиза	64
496	E-80	Пиза	Гроссето	152
497	E-80	Гроссето	Рим	168
498	E-80	Рим	Авеццано	116
499	E-80	Авеццано	Пескара	106
500	E-80	Дубровник (ZG)	Цавтат	16
501	E-80	Цавтат	Плочице	20
502	E-80	Плочице	Подгорица (MNE)	156
503	E-80	Подгорица (MNE)	Биело-Поле	101
504	E-80	Биело-Поле	Рожае	47
505	E-80	Рожае	Ябланица	14
506	E-80	Ябланица	Митровица (Серб.)	73
507	A-8-7	Митровица (Серб.)	Кралево	118
508	A-8-7	Кралево	Горни-Милановац	36

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
509	A-8-7	Горни-Милановац	Белград (Серб.)	124
510	E-80	Пескара	Дубровник (ZG)	320
511	E-90	Лиссабон (Португ.)	Монтижу (Португ.)	22
512	E-90	Монтижу (Португ.)	Эвора	95
513	E-90	Эвора	Бадахос (Испан.)	99
514	E-90	Бадахос (Испан.)	Мерида	58
515	E-90	Мерида	Трухильо	98
516	E-90	Трухильо	Талавера-де-ла-Рейна	124
517	E-90	Талавера-де-ла-Рейна	Мадрид	120
518	E-90	Мадрид	Мединасели	152
519	E-90	Мединасели	Калатаюд	78
520	E-90	Калатаюд	Сарагоса	74
521	E-90	Сарагоса	Вильяфранка-дель-Пенедес	248
522	E-90	Вильяфранка-дель-Пенедес	Барселона	44
523	E-90	Барселона	Мадзара-дель-Валло (I)	997
524	E-90	Мадзара-дель-Валло (I)	Алькамо	64
525	E-90	Алькамо	Чефалу	128
526	E-90	Чефалу	Фурнари	102
527	E-90	Фурнари	Мессина	42
528	E-90	Мессина	Реджо-ди-Калабрия	12
529	E-90	Реджо-ди-Калабрия	Катандзаро	176
530	E-90	Катандзаро	Кротоне	62
531	E-90	Кротоне	Метапонто	194
532	E-90	Метапонто	Таранто	42
533	E-90	Таранто	Бриндизи	78
534	E-90	Бриндизи	Игуменица (Грец.)	250
535	A-9-8	Игуменица (GR)	Фильяте	38
536	A-9-8	Фильяте	Сайяда	12
537	A-9-8	Сайяда	Конисполи (AL)	5
538	A-9-8	Конисполи (AL)	Саранда	40
539	A-9-8	Саранда	Влёра	103
540	A-9-8	Влёра	Люшня	61
541	A-9-8	Люшня	Дуррес	51

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
542	A-9-8	Дуррес	Лежа	74
543	A-9-8	Лежа	Шкодер	35
544	A-9-8	Шкодер	Скубокин (MNE)	11
545	A-9-8	Скубокин (MNE)	Бар	26
546	A-9-8	Бар	Петровац	22
547	A-9-8	Петровац	Подгорица (MNE)	48
548	A-3-4	Гаага (NL)	Роттердам (Нидер.)	24
549	A-3-4	Роттердам (Нидер.)	Мер	71
550	A-3-4	Мер	Антверпен (В)	30
551	A-3-4	Антверпен (В)	Брюссель	40
552	A-3-4	Ганновер	Хильдесхайм	26
553	A-3-4	Хильдесхайм	Нортхайм	59
554	A-3-4	Нортхайм	Кассель	60
555	A-3-4	Кассель	Бад-Херсфельд	58
556	A-3-4	Берлин	Миттенвальд	19
557	A-3-4	Миттенвальд	Люббенау	55
558	A-3-4	Люббенау	Руланд	46
559	A-3-4	Руланд	Дрезден	49
560	A-3-4	Познань	Лешно	77
561	A-3-4	Лешно	Равич	34
562	A-3-4	Равич	Вроцлав	63
563	A-3-4	Варшава	Груец	34
564	A-3-4	Груец	Кельце	134
565	A-3-4	Кельце	Краков	120
566	A-4-5	Кале	Сент-Омер	35
567	A-4-5	Сент-Омер	Амьен	110
568	A-4-5	Амьен	Клермон	62
569	A-4-5	Клермон	Париж	59
570	A-4-5	Брюссель	Шарлеруа	62
571	A-4-5	Шарлеруа	Брюли (Бельг.)	58
572	A-4-5	Брюли (Бельг.)	Ретель	54
573	A-4-5	Ретель	Реймс	37
574	A-4-5	Гисен	Франкфурт-на-Майне	54
575	A-4-5	Франкфурт-на-Майне	Бенсхайм	51
576	A-4-5	Бенсхайм	Мангейм	28
577	A-4-5	Эрфурт	Айсфельд	78
578	A-4-5	Айсфельд	Бамберг	64
579	A-4-5	Бамберг	Эрланген	60
580	A-4-5	Эрланген	Нюрнберг	19

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
581	A-4-5	Дрезден	Гайзинг (Герм.)	34
582	A-4-5	Гайзинг (Герм.)	Карловы Вары	116
583	A-4-5	Карловы Вары	Тоужим	29
584	A-4-5	Тоужим	Пльзень	49
585	A-4-5	Вроцлав	Клодзко	76
586	A-4-5	Клодзко	Бобушов	38
587	A-4-5	Бобушов	Летовице	80
588	A-4-5	Летовице	Брно	38
589	A-4-5	Жешув	Дукля	66
590	A-4-5	Дукля	Тылява (Польша)	10
591	A-4-5	Тылява (Польша)	Гиралтовце	47
592	A-4-5	Гиралтовце	Прешов	25
593	E - 77,7(V)	Варшава	Плонськ	66
594	E - 77,7(V)	Плонськ	Млава	59
595	E - 77,7(V)	Млава	Оструда	86
596	E - 77,7(V)	Оструда	Эльблонг	65
597	E - 77,7(V)	Эльблонг	Гданьск (Поль.)	56
598	E - 50 (V)	Берлин	Витшток	104
599	E - 50 (V)	Витшток	Мальхов	57
600	E - 50 (V)	Мальхов	Росток (Герм.)	81
601	E - 22 (V)	Гамбург (Герм.)	Зольтау	65
602	E - 22 (V)	Зольтау	Ганновер	82
603	E - 37 (V)	Бремен (Герм.)	Вильдесхаузен	35
604	E - 37 (V)	Вильдесхаузен	Оснабрюк	81
605	A - 29 (V)	Вильгельмсхафен (Герм.)	Ольденбург	54
606	A - 28 (V)	Ольденбург	Бремен (Герм.)	46
607	A - 28 (V)	Ольденбург	Вестерстедде	23
608	A - 28 (V)	Вестерстедде	Эмден (Герм.)	61
609	E - 19	Гаага (NL)	Амстердам	57

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
	(V)		(Голан.)	
610	E - 19 (V)	Гаага (NL)	Роттердам (Голан.)	19
611	E - 19 (V)	Антверпен (В)	Брюссель	53
612	E - 40 (V)	Зебрюгге (Бельг.)	Брюгге (Бельгия)	14
613	E - 40 (V)	Брюгге (Бельгия)	Гент	48
614	E - 40 (V)	Остенде	Брюгге (Бельгия)	20
615	E - 05 (V)	Гавр (Франц.)	Париж	192
616	E - 60 (V)	Сен-Назер (Франц.)	Нант	60
617	A - 66 (V)	Хихон (Испан.)	Овьедо	26
618	E - 01 (V)	Виго (Испан.)	Сантьяго-де-Компостела (Испания)	84
619	E - 01 (V)	Сантьяго-де-Компостела (Испания)	Ла-Корунья (Е)	78
620	E - 90 (V)	Лиссабон (Португ.)	Сетубал (Португалия)	48
621	AA-435 (V)	Уэльва (Испания)	Игера-ла-Реаль (Испания)	127
622	AA-435 (V)	Игера-ла-Реаль (Испания)	Бадахос (Испан.)	90
623	E-25 (V)	Тарифа (Испания)	Херес-де-ла-Фронтера (Испания)	109
624	E-25 (V)	Херес-де-ла-Фронтера (Испания)	Севилья (Испания)	86
625	E-102 (V)	Севилья (Испания)	Монестерио (Испания)	91
626	E-102 (V)	Монестерио (Испания)	Сафра (Испания)	45
627	AA-630 (V)	Сафра (Испания)	Мерида	63
628	E-25 (V)	Тарифа (Испания)	Лос-Барриос (Испания)	26
629	E-26 (V)	Лос-Барриос (Испания)	Марбелья (Испания)	70
630	E-26 (V)	Марбелья	Малага (Испания)	56

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
		(Испания)		
631	E-15 (V)	Альмерия (Испания)	Мурсия (Испания)	196
632	AA-301 (V)	Мурсия (Испания)	Альбасете (Испания)	140
633	AA-301 (V)	Альбасете (Испания)	Мота-дель-Куэрво (Испания)	107
634	AA-301 (V)	Мота-дель-Куэрво (Испания)	Окантя	76
635	E-25 (V)	Окантя	Мадрид	60
636	E-26 (V)	Валенсия (Испания)	Кастельон-де-ла-Плана (Испания)	70
637	E-15 (V)	Кастельон-де-ла-Плана (Испания)	Ампоста (Испания)	106
638	E-15 (V)	Ампоста (Испания)	Эль-Вендрель (Испания)	103
639	E-15 (V)	Эль-Вендрель (Испания)	Вильяфранка-дель-Пенедес	21
640	E-714 (V)	Марсель (Франция)	Экс-ан-Прованс	27
641	AA-1 (V)	Ливорно (Италия)	Пиза	18
642	E-45 (V)	Салерно (Италия)	Неаполь (Италия)	46
643	E-45 (V)	Неаполь (Италия)	Казерта (Италия)	25
644	E-45 (V)	Казерта (Италия)	Чепрано (Италия)	90
645	E-45 (V)	Чепрано (Италия)	Рим	102
646	AA-415 (V)	Джелла (Италия)	Катания (Италия)	92
647	E-45 (V)	Катания (Италия)	Мессина	91
648	E-27 (V)	Риека (Хорватия)	Шапьяне (Хорватия)	24
649	E-27 (V)	Шапьяне (Хорватия)	Старад (Словения)	6
650	E-27 (V)	Старад (Словения)	Козина (Словения)	24
651	E-27 (V)	Козина (Словения)	Триест	12
652	E-27 (V)	Сплит (Хорватия)	Подгора (Хорватия)	65
653	E-27 (V)	Подгора (Хорватия)	Край (Хорватия)	20
654	E-27 (V)	Край (Хорватия)	Плоче (Хорватия)	27
655	E-27 (V)	Плоче (Хорватия)	Завала (Хорватия)	26
656	E-27 (V)	Завала (Хорватия)	Слано (Хорватия)	33
657	AA-2 (V)	Слано (Хорватия)	Дубровник (ZG)	35
658	МТК-01	Хельсинки	Таллин	88

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
659	MTK-01	Таллин	Марьямаа	55
660	MTK-01	Марьямаа	Пярну	79
661	MTK-01	Пярну	Айнажи	77
662	MTK-01	Айнажи	Саулкрасти	70
663	MTK-01	Саулкрасти	Рига	46
664	MTK-01	Рига	Иецава	47
665	MTK-01	Иецава	Пасвалис	70
666	MTK-01	Пасвалис	Паневежис	40
667	MTK-01	Паневежис	Кейдайнай	80
668	MTK-01	Кейдайнай	Каунас	67
669	MTK-01	Каунас	Марьямполе	57
670	MTK-01	Марьямполе	Сувалки	68
671	MTK-01	Сувалки	Граево	75
672	MTK-01	Граево	Ломжа	64
673	MTK-01	Ломжа	Ружан	62
674	MTK-01	Ружан	Пултуск	32
675	MTK-01	Пултуск	Варшава	60
676	MTK-02	Берлин	Зелов	70
677	MTK-02	Зелов	Суленцин	62
678	MTK-02	Суленцин	Мендзихуд	46
679	MTK-02	Мендзихуд	Пневи	30
680	MTK-02	Пневи	Познань	50
681	MTK-02	Познань	Вжесня	52
682	MTK-02	Вжесня	Конин	64
683	MTK-02	Конин	Кутно	85
684	MTK-02	Кутно	Лович	45
685	MTK-02	Седльце	Бяла-Подляска	69
686	MTK-02	Бяла-Подляска	Брест	45
687	MTK-02	Брест	Кобрин	46
688	MTK-02	Кобрин	Бяроза	61
689	MTK-02	Бяроза	Ивацевичи	31
690	MTK-02	Ивацевичи	Барановичи	77
691	MTK-02	Барановичи	Стовбци	70
692	MTK-02	Стовбци	Дзяржинськ	37
693	MTK-02	Дзяржинськ	Минск	39
694	MTK-02	Минск	Жодзина	57
695	MTK-02	Жодзина	Крупки	63
696	MTK-02	Крупки	Толочин	51
697	MTK-02	Толочин	Орша	56
698	MTK-02	Орша	Гусино	77
699	MTK-02	Гусино	Смоленск	50
700	MTK-02	Смоленск	Ярцево	65

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
701	MTK-02	Ярцево	Храмцово	55
702	MTK-02	Храмцово	Вязьма	62
703	MTK-02	Вязьма	Старое	59
704	MTK-02	Старое	Можайск	91
705	MTK-02	Можайск	Кубинка	45
706	MTK-02	Кубинка	Москва	70
707	MTK-02	Москва	Електросталь	61
708	MTK-02	Електросталь	Лакинский	104
709	MTK-02	Лакинский	Крутово	40
710	MTK-02	Крутово	Вязники	87
711	MTK-02	Вязники	Золино	60
712	MTK-02	Золино	Нижний-Новгород	51
713	MTK-03	Брюссель	Синт-Трейден	67
714	MTK-03	Синт-Трейден	Ахен	91
715	MTK-03	Ахен	Кельн	84
716	MTK-03	Кельн	Зиген	92
717	MTK-03	Зиген	Гисен	82
718	MTK-03	Гисен	Альсфельд	51
719	MTK-03	Альсфельд	Айзенах	91
720	MTK-03	Айзенах	Ерфурт	70
721	MTK-03	Ерфурт	Йена	55
722	MTK-03	Йена	Гера	43
723	MTK-03	Гера	Хемниц	69
724	MTK-03	Хемниц	Дрезден	80
725	MTK-03	Дрезден	Баутцен	62
726	MTK-03	Баутцен	Згожелец	53
727	MTK-03	Згожелец	Легница	94
728	MTK-03	Вроцлав	Бжег	63
729	MTK-03	Бжег	Ополе	46
730	MTK-03	Гливице	Катовице	29
731	MTK-03	Краков	Тарнув	82
732	MTK-03	Тарнув	Жешув	87
733	MTK-03	Жешув	Пшемисль	83
734	MTK-03	Львов	Буск	55
735	MTK-03	Буск	Радивиллов	60
736	MTK-03	Радивиллов	Дубно	56
737	MTK-03	Дубно	Ровно	45
738	MTK-03	Ровно	Корец	68
739	MTK-03	Корец	Новоград-Волынский	37
740	MTK-03	Житомир	Коростышев	31

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
741	MTK-03	Коростышев	Белогородка	93
742	MTK-03	Белогородка	Киев	30
743	MTK-04	Дрезден	Теплице	69
744	MTK-04	Теплице	Прага	90
745	MTK-04	Табор	Тршебонь	54
746	MTK-04	Тршебонь	Хорн	87
747	MTK-04	Хорн	Вена	85
748	MTK-04	Братислава	Чорна	76
749	MTK-04	Чорна	Татабанья	85
750	MTK-04	Татабанья	Будапешт	69
751	MTK-04	Будапешт	Кечкемет	87
752	MTK-04	Кечкемет	Сегед	89
753	MTK-04	Сегед	Надлак	58
754	MTK-04	Надлак	Арад	52
755	MTK-04	Арад	Дева	96
756	MTK-04	Дева	Петрила	93
757	MTK-04	Петрила	Тиргу-Жиу	68
758	MTK-04	Тиргу-Жиу	Филиаши	76
759	MTK-04	Филиаши	Слатина	88
760	MTK-04	Слатина	Попешть	54
761	MTK-04	Попешть	Бухарест	95
762	MTK-04	Бухарест	Лехлиу-Гарэ	65
763	MTK-04	Лехлиу-Гарэ	Фетешть	86
764	MTK-04	Фетешть	Констанца	79
765	MTK-04	Констанца	Шабла	79
766	MTK-04	Шабла	Варна (болгария)	80
767	MTK-04	Варна (болгария)	Шумен	89
768	MTK-04	Шумен	Омуртаг	66
769	MTK-04	Омуртаг	Кесарево	45
770	MTK-04	Кесарево	Севлиево	79
771	MTK-04	Севлиево	Ябланица	89
772	MTK-04	Ябланица	София	88
773	MTK-04	София	Благоевград	92
774	MTK-04	Благоевград	Сандански	65
775	MTK-04	Сандански	Сидирокастро	58
776	MTK-04	Сидирокастро	Салоники	92
777	MTK-05	Венеция	Монфальконе	85
778	MTK-05	Монфальконе	Триест	77
779	MTK-05	Триест	Постойна	47
780	MTK-05	Постойна	Любляна	53
781	MTK-05	Любляна	Целе	78
782	MTK-05	Целе	Марибор	54

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
783	MTK-05	Марибор	Грац	68
784	MTK-05	Грац	Фюрстенфельд	60
785	MTK-05	Фюрстенфельд	Вашвар	64
786	MTK-05	Вашвар	Веспрем	95
787	MTK-05	Веспрем	Будапешт	92
788	MTK-05	Будапешт	Хатван	50
789	MTK-05	Хатван	Фюзешабонь	65
790	MTK-05	Фюзешабонь	Польгар	69
791	MTK-05	Польгар	Ньиредьхаза	64
792	MTK-05	Ньиредьхаза	Чоп	72
793	MTK-05	Чоп	Мукачево	46
794	MTK-05	Мукачево	Воловец	54
795	MTK-05	Воловец	Сколе	46
796	MTK-05	Сколе	Стрый	38
797	MTK-05	Стрый	Львов	74
798	MTK-06	Гданьск (Поль.)	Нове	92
799	MTK-06	Нове	Хелмно	55
800	MTK-06	Хелмно	Торунь	44
801	MTK-06	Торунь	Кутно	90
802	MTK-06	Кутно	Лодзь	79
803	MTK-06	Лодзь	Радомско	88
804	MTK-06	Радомско	Ченстохова	44
805	MTK-06	Ченстохова	Катовице	74
806	MTK-06	Катовице	Бельско-Бяла	60
807	MTK-06	Бельско-Бяла	Чадца	82
808	MTK-06	Чадца	Жилина	34
809	MTK-08	Дуррес	Тирана	38
810	MTK-08	Тирана	Преняс	97
811	MTK-08	Преняс	Кичево	87
812	MTK-08	Кичево	Гостивар	46
813	MTK-08	Гостивар	Скопье	65
814	MTK-08	Скопье	Куманово	40
815	MTK-08	Куманово	Кюстендил	98
816	MTK-08	Кюстендил	Перник	58
817	MTK-08	Перник	София	42
818	MTK-08	София	Панагюриште	93
819	MTK-08	Панагюриште	Пловдив	77
820	MTK-08	Пловдив	Димитровград	82
821	MTK-08	Димитровград	Раднево	61
822	MTK-08	Раднево	Ямбол	64
823	MTK-08	Ямбол	Бургас (Болгария)	92
824	MTK-08	Бургас (Болгария)	Обзор	69

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
825	MTK-08	Обзор	Варна (болгария)	61
826	MTK-09	Хельсинки	Ловийса	88
827	MTK-09	Ловийса	Хамина	61
828	MTK-09	Хамина	Выборг	97
829	MTK-09	Выборг	Рощино	76
830	MTK-09	Рощино	Санкт-Петербург	65
831	MTK-09	Санкт-Петербург	Кузнецово	94
832	MTK-09	Кузнецово	Луга	79
833	MTK-09	Луга	Лудони	72
834	MTK-09	Лудони	Псков	78
835	MTK-09	Псков	Остров	56
836	MTK-09	Остров	Опочка	79
837	MTK-09	Опочка	Пустошка	61
838	MTK-09	Пустошка	Езерище	75
839	MTK-09	Езерище	Витебск	88
840	MTK-09	Витебск	Ореховск	75
841	MTK-09	Ореховск	Могилёв	93
842	MTK-09	Могилёв	Довск	85
843	MTK-09	Довск	Гомель	95
844	MTK-09	Гомель	Чернигов	115
845	MTK-09	Чернигов	Козелец	68
846	MTK-09	Козелец	Киев	75
847	MTK-09	Киев	Гребенки	70
848	MTK-09	Гребенки	Белая Церковь	20
849	MTK-09	Белая Церковь	Ставище	53
850	MTK-09	Ставище	Умань	90
851	MTK-09	Ульяновка	Кривое Озеро	90
852	MTK-09	Кривое Озеро	Жовтень	84
853	MTK-09	Жовтень	Одесса	98
854	MTK-10	Зальцбург (Австрия)	Радштадт	80
855	MTK-10	Радштадт	Шпитталь-ан-дер-Драу	75
856	MTK-10	Шпитталь-ан-дер-Драу	Крань	95
857	MTK-10	Крань	Любляна	30
858	MTK-10	Любляна	Ново место	72
859	MTK-10	Ново место	Загреб (Хорватия)	79
860	MTK-10	Загреб (Хорватия)	Кутина	83
861	MTK-10	Кутина	Нова-Градишка	70
862	MTK-10	Нова-Градишка	Славонски-Брод	56
863	MTK-10	Славонски-Брод	Сремска-Митровица	98

Marsh_Avto				
Kod	I_N	P_O	P_N	L
864	MTK-10	Сремска-Митровица	Белград (Сербия)	74
865	MTK-10	Белград (Сербия)	Радинац	69
866	MTK-10	Радинац	Лапово	55
867	MTK-10	Лапово	Парачин	52
868	MTK-10	Парачин	Ниш	81
869	MTK-10	Ниш	Пирот	79
870	MTK-10	Пирот	София	83
871	MTK-10	София	Кюстендил	91
872	MTK-10	Скопье	Велес	55
873	MTK-10	Велес	Удово	81
874	MTK-10	Удово	Килкис	70
875	MTK-10	Килкис	Салоники	55

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Система підтримки прийняття рішень управління вантажними перевезеннями на транспортних мережах. *Open Access Peer-reviewed Journal: European Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2021. 1(3).

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ejits/30032021/7352.

2. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г., Коп'як Н.В. Прийняття рішень в умовах невизначеності при організації міжнародних автомобільних вантажних перевезень *Open Access Peer-reviewed Journal: European Journal of Science Review*. 2021. 1(36), P.10-16.

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30012021/7374.

Статті у фахових виданнях:

3. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Логістичний підхід до аналізу діяльності дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. 2010. № 4 (146) Ч. 1. С. 167-171.

4. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Сучасні аспекти вдосконалення дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. 2011. № 5 (159) Ч. 1. С. 157-161.

5. Кунда Н.Т., Настаченко Т.Г. Поточні зміни функціонування дозвільної системи у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *Проблеми транспорту*. 2011. Вип. 8. С. 212-217.

6. Прокудін Г.С., Ремех І.О., Хоботня Т.Г. Організація незбалансованих вантажних перевезень із використанням вантажних митних комплексів. *Розвиток транспорту*. 2020. № 1(6). С. 116-126.

DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.010>.

7. Prokudin G.S., Chupaylenko O.A., Lebid V.V., Khobotnia T.G. Development of methods to increase the efficiency of road transportation by international transport corridors. *Technology audit and production reserves*. 2020. 4/4 (54). P. 34-36. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.210379>.

8. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г., Ремех І.О. Розв'язання мережевих транспортних задач у середовищі EXCEL. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки»*. 2020. Том 31(70) № 5. С. 214-219.

DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/35>.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Настаченко Т.Г., Олійник Ю.М. Аналіз стану та перспективи розвитку перевезення швидкопсувних вантажів. *LXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2010. С. 189.

10. Настаченко Т.Г. Стан дозвільної системи України у сфері міжнародних автомобільних перевезень вантажів та аналіз її діяльності. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2011. С. 165.

11. Хоботня Т.Г. Особливості функціонування дозвільної системи в Україні у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2012. С. 209.

12. Хоботня Т.Г. Теоретичний підхід до оцінки якості процесу повернення дозвільних документів на виконання міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів,*

студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей. К.: НТУ. 2014. С. 216.

13. Хоботня Т.Г. Особливості функціонування дозвільної системи в Україні у сфері міжнародних автомобільних перевезень. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей.* К.: НТУ. 2015. С. 264.

14. Кунда Н.Т., Хоботня Т.Г. Аналіз процесів формування транспортно-логістичних кластерів. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016).* VIII Міжнародної науково-практична конференція. (м. Херсон, 24-26 травня 2016 р.). Херсон: ХДМА. 2016. С. 240-243.

15. Хоботня Т.Г. Мотивація менеджерів та учасників проектної команди при управлінні проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Управління проектами: стан та перспективи.* XIV Міжнародна науково-практична конференції (м. Миколаїв, 11-14 вересня 2018 р.). Миколаїв: НУК. 2017. С. 116-117.

16. Кунда Н.Т., Хоботня Т.Г. Планування як основа управління проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018).* X Міжнародна науково-практична конференція (м. Херсон, 29-31 травня 2018 р.). Херсон: ХДМА. 2018. С. 27-30.

17. Хоботня Т.Г. Основні характеристики управління проектами транспортно-експедиторського обслуговування. *Бізнес-моделі розвитку транспортних, агропромислових і інших підприємницьких структур: сучасні реалії та перспективи: монографія з міжнародною участю.* Дніпро: Журфонд. 2018. С. 47-56.

18. Хоботня Т.Г., Пащенко Д.П. Шляхи підвищення ефективності процесу доставки збірних вантажів у міжнародному сполученні. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей.* К.: НТУ. 2019. С. 265.

19. Хоботня Т.Г. Управління якістю проектів транспортно-експедиторського обслуговування при перевезенні вантажів автомобільним транспортом. *Сучасні процеси трансформації у бізнесі та виробництві: теорія, методологія, практика (зовнішньоекономічна діяльність, промислове виробництво, транспорт): монографія*. Дніпро: Пороги. 2019. С. 471-478.

20. Хоботня Т.Г., Іващенко О.О. Дослідження ринку вантажних перевезень автомобільним транспортом в сучасних умовах. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: Тези доповідей*. К.: НТУ. 2020. С. 261-262.

21. Хоботня Т.Г., Закусило М.А. Дослідження поточної проблематики та тенденцій в логістиці доставки вантажів автомобільним транспортом. *Научные исследования: парадигма инновационного развития*. III Международная научная конференция (Братислава–Вена, 26 мая 2020 года). 2020. С. 64-67.

22. Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Оптимізація вантажних перевезень на транспортній мережі за допомогою табличного процесора. *International scientific and practical conference «Science, engineering and technology: global trends, problems and solutions»: Conference proceedings*. (Prague, September 25-26, 2020.). 2020. Р. 164-168.

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-79-2-2.40>.

23. Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г., Кунда Н.Т. Оптимізація вантажних перевезень за допомогою інформаційних технологій. *Інтелектуальні технології управління транспортними процесами*. Міжнародна науково-технічна конференція (17-18 листопада 2020 р.) ХНАДУ. С. 152-154. https://fts.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-TRANSPORT/ЗБІРНИК_МАТЕРІАЛІВ.pdf.

24. Хоботня Т.Г. Оптимізація вантажних перевезень за допомогою інформаційних технологій. *Звіт о НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні” (заключний етап)*. № ДР 0112U008415. К.: НТУ. 2020. С. 79-82.

25. Хоботня Т.Г. Аналіз процесу оцінки проектів перевезення вантажів у міжнародному сполученні маршрутами міжнародних транспортних коридорів. *Звіт о НДР “Розробка методів підвищення ефективності автомобільних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів” (заключний етап)*. № ДР 0119U101796. К.: НТУ. 2020. С. 15-28.

26. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 90021. Літературний письмовий твір наукового характеру “Робоча програма та методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни “Транспортні системи в логістиці та організація перевезень” для студентів спеціальності 073 ”Менеджмент” денної форми навчання”. Шарай С.М., Катрушенко Н.А., Гілевська К.Ю., Денис О.В., Хоботня Т.Г., Рой М.П. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Дата реєстрації 20.06.2019.

27. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 90771. Літературний письмовий твір наукового характеру “Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Транспортні системи в логістиці та організація перевезень” для студентів спеціальності 073 ”Менеджмент” денної форми навчання”. Шарай С.М., Катрушенко Н.А., Гілевська К.Ю., Денис О.В., Хоботня Т.Г., Рой М.П. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Дата реєстрації 15.07.2019.