

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

РЕМЕХ ІННА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 656.073.51

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ
ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ
У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ**

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ: 275 – ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ
(НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ)

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ: 27 – ТРАНСПОРТ

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ І.О. Ремех

Науковий керівник:
доктор технічних наук, професор

Прокудін Георгій Семенович

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Ремех І.О. Підвищення ефективності перевезень вантажів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті). – Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, Київ. 2023.

Дисертацію присвячено вирішенню важливого науково-практичного завдання підвищення ефективності міжнародних автомобільних вантажоперевезень шляхом розробки, вдосконалення та впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу управління вантажоперевезеннями на транспортних мережах в умовах не збалансованості обсягів поставок та вантажних замовлень.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності перевезень вантажів автомобільним транспортом при організації міжнародних перевезень за рахунок розробки, удосконалення та впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу організації вантажних перевезень на транспортних мережах у разі незбалансованості обсягів постачання вантажу та замовлення на нього. Для досягнення поставленої мети у роботі визначено такі основні завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих наукових підходів та діючих моделей і методів організації вантажних перевезень на транспортних мережах у міжнародному сполученні
2. Удосконалити метод використання багатоетапного транспортного завдання під час перевезення вантажів з використанням вантажних митних комплексів у міжнародному сполученні;
3. Провести моделювання процесів організації міжнародних вантажних перевезень на транспортних мережах за умов незбалансованості обсягів поставок та вантажних замовлень;
4. Ввести застосування системи аналізу мережі ВМК під час виконання автомобільних вантажних перевезень у міжнародному сполученні з використанням системи тягових плечей;

5. Апробувати розроблене програмне забезпечення для керування вантажоперевезеннями у міжнародному сполученні на автотранспортних підприємствах АсМАП України.

Об'єктом дослідження є процес перевезення вантажів автомобільним транспортом транспортними мережами в міжнародному сполученні з використанням вантажних митних комплексів.

Предметом дослідження є закономірності формування вантажопотоків на транспортних мережах, що враховують обмеження на незбалансованість обсягів постачання та вантажних замовлень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає, насамперед, у тому, що вперше розкрито теоретико-методичні засади вирішення науково-технічної проблеми ефективної організації міжнародних вантажних перевезень на транспортних мережах в умовах незбалансованого обсягу постачання та споживання вантажів з використанням вантажних митних комплексів.

У роботі, у розвитку зазначеного напрямку, *вперше*:

- запропоновано підхід використання системи тягових плечей при організації міжнародних вантажних перевезень та при організації роботи ВМК, що значно підвищує якість управлінських рішень за рахунок спрощення формування оптимального плану перевезення вантажів і використання всіх існуючих та удосконалених методів приведення незбалансованих вантажоперевезень до збалансованого виду та пропускну здатність ВМК шляхом знаходження його оптимальної структури;

удосконалено:

- метод використання багатоетапного транспортного завдання при перевезенні вантажів з використанням вантажних митних комплексів у міжнародному сполученні, що дозволяє оптимізувати перевезення вантажів за наявності не збалансованості обсягів поставок та замовлень вантажу, а також враховує особливість випадку значного перевищення обсягу пропозиції вантажу над попитом на нього;

набула подальшого розвитку:

– система підтримки прийняття рішень щодо управління незбалансованими вантажоперевезеннями на транспортних мережах України та Західної Європи, використання якої сприяє одержанню більш ефективного плану вантажних перевезень.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробці системи аналізу мережі масового обслуговування митного терміналу під час виконання вантажних автомобільних перевезень, а також програмного комплексу на вирішення багатоетапної транспортної завдання під час перевезення вантажів з використанням вантажних митних комплексів у міжнародному сполученні на основі системи тягових плечей, які дають можливість значно підвищити якість прийняття управлінських рішень під час перевезення вантажів на транспортних мережах різної структури та габаритів. Основні науково-практичні результати дисертації запроваджено у навчальний процес кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету МОН України, отримано 2 Свідоцтва про реєстрацію авторських прав на все програмне забезпечення, розроблене у рамках наукових досліджень з даної дисертаційної роботи.

Також результати дисертаційної роботи були впроваджені у виробничу діяльність ІП «ЧСАД Україна» та в освітню діяльність НКЦ АсМАП України у вигляді системи аналізу мережі масового обслуговування митних терміналів у виконання вантажних автомобільних перевезень, а також програмного комплексу для вирішення багатоетапного транспортного завдання під час перевезення вантажів із застосуванням вантажних митних комплексів у міжнародному сполученні на основі системи тягових плечей.

У *вступі* обґрунтовується актуальність обраної теми, її зв'язок із науковими програмами, формулюються мета та завдання дослідження, наукова новизна та практична значимість результатів. У вступі також розкривається особистий внесок автора, затвердження результатів, публікації, структура та загальний обсяг дисертаційної роботи.

Перший розділ присвячено аналізу підходів до організації вантажних перевезень у міжнародному сполученні, в якому були розглянуті питання організації

вантажних перевезень у міжнародному сполученні, математичні методи побудови маршрутів вантажних перевезень, проведений аналіз та прогнозування обсягів міжнародних вантажних перевезень, особливості розв'язання задач організації вантажних перевезень на транспортних мережах та здійснена постановка задач дослідження по підвищенню ефективності організації вантажних перевезень.

У *другому розділі* викладені теоретичні основи організації вантажних перевезень на транспортних мережах при незбалансованості обсягів постачань і замовлень вантажів, в якому були розглянуті математична модель представлення не збалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах, загальні поняття і математичне формулювання задачі організації вантажних перевезень на транспортних мережах, організація вантажних перевезень на транспортній мережі одного виду вантажу з обмеженнями та без обмежень пропускної здатності, організація вантажних перевезень на транспортній мережі кілька видів вантажів з обмеженнями пропускної здатності.

У *третьому розділі* проведено моделювання процесів організації міжнародних вантажних перевезень, у якому розглянуто технології формування матрично-мережевої моделі організації вантажних перевезень на транспортних мережах та застосування тягового узбіччя. система, система підтримки прийняття рішень для керування незбалансованими вантажними перевезеннями на транспортній мережі України, розглянуто процес вирішення багатоетапного транспортного завдання у середовищі табличного процесора.

У *четвертому розділі* представлені прикладні аспекти виконання наукового дослідження, в якому розглянуто логістичний підхід до організації перевезення нерівноважних вантажів на транспортних мережах, організація перевезення нерівноважних вантажів із використанням вантажних митних комплексів, система аналізу маси митного терміналу. мережу обслуговування, адекватність результатів дисертаційного дослідження.

До *додатків* включаються свідоцтва про реєстрацію авторських прав на літературний письмовий твір наукового характеру, акти про впровадження результатів дисертаційних досліджень у навчальний процес та виробництво, а також

перелік публікацій претендента на тему дисертації та відомості про затвердження результатів дисертації.

Ключові слова: міжнародні вантажні перевезення, вантажний митний комплекс, транспортна мережа, система масового обслуговування, система тягових плечей, транспортний потік, технологічні характеристики, доставка, транспортно-технологічна схема, ефективність, маршрути.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

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

Монографії:

1. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Майданик, К.О., Пилипенко Ю.В. Ефективність застосування системи тягових плечей при перевезеннях вантажів у міжнародному сполученні. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Monografia nr 10. [monographia] pod redakcja naukowa K. Lejdy Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. 2017. S. 79–86. ISBN 978-83-7934-161-0*

2. Ремех І.О. Підвищення ефективності виконання міжнародних перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах. *Сучасні процеси трансформації у бізнесі та виробництві: теорія, методологія, практика (зовнішньоекономічна діяльність, промислове виробництво та транспорт): Колективна монографія з міжнародною участю / за ред. Л.М. Савчук, Л.М. Бандоріної. Дніпро. Пороги. 2019. С. 464–471. ISBN 978-617-518-412-7*

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

3. Remekh I., Prokudin G., Chupaylenko A., Khobotnia T., Lyamzin A., Kovalenko M. Optimizing Unbalanced Freight Deliveries in Transportation Networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2/3 (116). 2022. P. 22-32. (ISSN 1729-*

3774, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253791>, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/253791/252941>). Індексується у Scopus.

Статті у наукових фахових виданнях:

4. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Дудник О.С., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В. Особливості моделювання вантажних перевезень на транспортній мережі. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Част. 1. Технічні науки*. 2016. Вип. 18.. Київ. НТУ. С. 101–114.

http://publications.ntu.edu.ua/upravl_proget/2016_18_tech/101.pdf

5. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В. Ефективність застосування системи тягових плечей в міжміських перевезеннях. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Вип. № 1 (37). 2017. Київ. НТУ. С. 346–357.

<http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/37/346.pdf>

6. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В. Аналіз і шляхи реформування транспортної галузі України. *Транспортні системи і технології*. 2017. Київ. ДЕТУТ. С. 244–254.

<https://tst.duit.in.ua/index.php/tst/article/view/58>

7. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Редіч Ю.А., Майданик К.О. Оптимізація роботи вантажного митного комплексу за допомогою застосування багатоетапної транспортної задачі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія Технічні науки*. 2018. Т. 29 (68) № 4. Частина 2. Київ. ТНУ. С. 142–146.

http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/4_2018/part_2/28.pdf

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

http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/5_2020/37.pdf

9. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г. Організація незбалансованих вантажних перевезень із використанням вантажних митних комплексів. *Розвиток транспорту*. Випуск 1(6). Одеса. НМУ. 2020. С. 116-126.

DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.010>

10. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Теоретичні основи організації вантажних перевезень на транспортних мережах. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Вип. № 3 (53). 2022. Київ. НТУ. С. 312–321.

<http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/53/UKR.htm>.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

11. Ремех І.О. Математичне моделювання пункту пропуску як СМО із пріоритетами. *Тези доповідей LXX науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 14-16 травня 2014). Київ. НТУ. 2014. С. 231. <https://drive.google.com/file/d/1agTqOd6w1gPCNnxhKLnviD7Gyx4d5oT6/view>

12. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Пилипенко Ю.В., Майданик К.О., Прокудін О.Г., Омаров Д.М. Приклад побудови імітаційних моделей у транспортних системах. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Част. 1. Технічні науки*. 2016. Вип. 17. Київ. НТУ. С. 67–79.

ISSN 2309-8635

13. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В., Омаров Д.М. Визначення ефективності застосування системи тягових плечей у міжміських перевезеннях вантажу. *Тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»*. (м. Чернігів, 24-27 квітня 2017 року). 2017. т. 2. Чернігів. ЧНТУ. С. 196–198.

ISBN 978-966-2188-78-3

14. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Підвищення ефективності міжміських перевезень вантажів за допомогою застосування системи тягових плечей. *Тези доповідей LXXIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та*

співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. (Київ, 16-18 травня 2017). 2017. Київ. НТУ. С. 254.

<https://drive.google.com/file/d/1GyK8BsnakngvorAADyWv3l4kEA22yhEs/view>

15. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Пилипенко Ю.В., Майданик К.О. Удосконалення методів визначення оптимальних характеристик транспортних мереж. *Звіт про НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні”. Проміжний етап: “Аналіз характеристик інтегрованих транспортних систем в міжнародному сполученні”*. ДР 0112U008415. Київ. НТУ. 2017. С. 9–22.

16. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Нові підходи до організації міжнародних вантажних транспортних потоків. *Тези доповідей LXXIV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 16-18 травня 2018). Київ, 2018. С. 270–271.

https://drive.google.com/file/d/1_uA1WGugEVOGtLukG_ZMX71VgXPIq98l/view

17. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Редіч Ю.А., Майданик К.О. Оптимізація схем доставки вантажу у міжнародному сполученні. *Тези доповідей VIII Міжнародної науково–практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»*. (м. Чернігів, 10-12 травня 2018 року). 2018. т. 2. Чернігів. ЧНТУ. С. 239–241. ISBN 978-617-7571-19-2

18. Ремех І.О. Оптимізація роботи вантажного митного комплексу за допомогою застосування багатоетапної транспортної задачі. *Звіт про НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні”. Проміжний етап: “Напрями підвищення конкурентоздатності інтегрованих транспортних систем при виконанні міжнародних перевезень”*. № ДР 0112U008415. Київ. НТУ. 2018. С. 143–150.

19. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Оптимізація роботи вантажних митних комплексів за допомогою застосування багатоетапної транспортної задачі. *Тези доповідей LXXV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів*

університету. (Київ, 14-16 травня 2019). Київ. НТУ. 2019. С. 274–275.
<https://drive.google.com/file/d/16Vrd9t8qiaZrTaTmPzz5lqtihzjtrjsf/view>

20. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Редіч Ю.А., Майданик К.О. Застосування багатоетапної транспортної задачі в оптимізації роботи вантажного митного комплексу. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: Збірник наукових праць за матеріалами IX Міжнародної науково-практичної конференції*. (Одеса, 22-24 травня 2019). Одеса. 2019. С. 235–238.

ISBN 978-617-7414-66-6

21. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Майданик К.О. Перетворення мережевих моделей процесу вантажних перевезень у матричні моделі. *Всеукраїнська науково-практична конференція «Транспортні технології та безпека дорожнього руху»*. (Запоріжжя, 14-15 квітня). Запоріжжя. НУ «Запорізька політехніка». 2020. С. 49–51.

ISBN 978-617-529-271-6

22. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Підвищення ефективності функціонування вантажних митних комплексів за допомогою застосування сучасних засобів інформаційних технологій. *Звіт про НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні”*. Проміжний етап: “Напрями підвищення конкурентоздатності інтегрованих транспортних систем при виконанні міжнародних перевезень”. № ДР 0112U008415. Київ. НТУ. 2019. С. 9–15.

23. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудіна І.І., Майданик К.О. Підхід до організації масових перевезень вантажу на транспортних мережах. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020)*. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції. (Херсон, 27-29 травня). Херсон. ХДМА. 2020. С. 14–17.
https://drive.google.com/file/d/18erBFTL6_KR9Utwdh2C5nUTZK7FyrEJu/view?usp=sharing

24. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Підвищення ефективності функціонування вантажних митних комплексів за допомогою застосування сучасних засобів

інформаційних технологій. *Тези доповідей LXXVI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету.* (Київ, 13-15 травня 2019). Київ. НТУ. 2020. С. 245–246. <https://drive.google.com/file/d/1Hlm8obLCicsOsLCs-eL7N7VIKdi7PWIV/view>

25. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г. Розв'язання незбалансованих вантажних перевезень із використанням транспортних технологій. *Міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні технології управління транспортними процесами».* (Харків, 17-18 листопада 2020). Харків. ХНАДУ. С. 138-140.

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

26. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г. Логістичний підхід к організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах. Звіт про НДР “Підвищення ефективності організації і управління перевезеннями у міжнародному сполученні”. Проміжний етап. № ДР 0120U105547. Київ. НТУ. 2021. С. 9–16. https://docs.google.com/document/d/1eAhzXN93t38cWEH3F9w14RKUvvyIT3U/edit?usp=share_link&ouid=106301261791475356006&rtpof=true&sd=true

27. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Логістичний підхід к організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах. *Тези доповідей LXXVII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету.* (Київ, 18-20 травня 2021). Київ. НТУ. 2021. С. 227. https://drive.google.com/file/d/1ueDfCu-mBO1oTk1-nKHgyDCsnBy_sab5/view?usp=sharing

28. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Застосування інформаційних технологій у вирішенні задач незбалансованих вантажних перевезень. *Тези доповідей LXXVIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету.* (Київ, 2-3 листопада 2022). Київ. НТУ. 2022. С. 212. <https://drive.google.com/file/d/1yhVlySe-r3EHbJt98UoRZEW94NhxOzk7/view>

29. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г. Організація вантажних перевезень в інтелектуальних транспортних системах. *Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні Транспортні Системи: Екологія, Безпека, Якість, Комфорт»*. (Київ, 29-30 листопада 2022). Київ. НТУ. С. 97-101. ISBN: 978-966-632-318-0 (Online) DOI: 10.33744/978-966-632-318-0-2022-3.

Авторські свідоцтва:

30. Свідоцтво № 112183 Літературний письмовий твір наукового характеру «Використання інформаційних технологій для розв'язання незбалансованих вантажних перевезень на транспортній мережі». Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудіна І.І., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності». Дата реєстрації 01.03. 2022. 9 с.

31. Свідоцтво № 112181 Комп'ютерна програма «Розв'язання незбалансованих вантажних перевезень на транспортній мережі». Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудіна І.І., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності». Дата реєстрації 01.03. 2022. 21 с.

Increasing the efficiency of cargo transportation by road transport in international traffic

SUMMARY

Remekh I.O. Improving the efficiency of cargo transportation by road transport in international traffic – Qualification of scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation on the degree of Doctor of Philosophy for the specialty 275 – Transport technologies (on road transport). – National Transport University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv. 2022.

The dissertation is dedicated to the solution of an important scientific and practical task of increasing the efficiency of the functioning of cargo customs complexes in the organization of international road freight transportation through the development, improvement and implementation of models, methods and software for the process of

managing cargo transportation on transport networks in the event of an imbalance in the volume of deliveries and cargo orders.

The aim of the dissertation is to increase the efficiency of cargo transportation by road in the organization of international transportation by developing, improving and implementing models, methods and software for the process of organizing cargo transportation on transport networks in the event of an imbalance in the volume of cargo supply and orders for it. To achieve this goal, the paper identifies the following main research objectives

1. To carry out an analysis of the existing scientific approaches and existing models and methods of organising freight transport on transport networks in international traffic;
2. To improve the method of using a multi-stage transport task when transporting goods using cargo customs complexes in international traffic;
3. To conduct modelling of the processes of organising international freight transport on transport networks under conditions of unbalanced volumes of deliveries and freight orders;
4. To develop a system for analysing the customs terminal network in international road freight transport using the traction arm system;
5. To test the developed software for the management of cargo transportation in international traffic at road transport enterprises of AsMAP of Ukraine.

The scientific novelty of the obtained results lies, first of all, in the fact that, for the first time, the theoretical and methodological foundations of solving the scientific and technical problem of the effective organization of international freight transportation on transport networks in conditions of unbalanced supply volumes and cargo consumption using cargo customs complexes.

In the work, in the development of the specified direction, for the first time:

– an approach to using the system of traction arms in the organisation of international freight transport and in the organisation of the work of the VMC is proposed, which significantly improves the quality of management decisions by simplifying the formation of an optimal plan for the transport of goods and using all existing and improved methods

of bringing unbalanced freight traffic to a balanced type and the throughput of the VMC by finding its optimal structure;

improved:

- a method of using a multi-stage transport task for the carriage of goods using freight customs complexes in international traffic, which allows optimising the carriage of goods in the presence of imbalances in the volume of deliveries and orders of goods, and also takes into account the peculiarity of a significant excess of the volume of cargo supply over the demand for it;

found further development:

- a decision-making support system for managing unbalanced freight traffic on the transport networks of Ukraine and Western Europe, which helps to obtain a more efficient freight plan.

The practical significance of the obtained results lies in the development of a system of analysis of the customs terminal mass service network in the performance of road freight transportation, as well as a software complex for solving a multi-stage transport problem in the transportation of goods with the use of cargo customs complexes in international traffic based on the technology of traction arms, which enable to significantly improve the quality of management decision-making for the transportation of goods on transport networks of various structures and dimensions.

The main scientific and practical results of the dissertation were implemented in the educational process of the Department of International Transportation and Customs Control of the National Transport University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, and 2 Certificates of copyright registration for the work were obtained for all the software developed within the framework of scientific research on this dissertation work.

Also, the results of the dissertation work were implemented in the production activities of IE "CHSAD Ukraine" and in the educational activities of the NCC AsMAP of Ukraine in the form of a designed system of analysis of the customs terminal mass service network in the performance of road freight transportation, as well as a software complex for solving multi-stage of the transport task during the transportation of goods using cargo customs complexes in international traffic based on the technology of traction arms.

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. Also in the introduction the personal contribution of the author, approbation of results, publications, structure and the general volume of the dissertation work is opened.

The *first chapter* is devoted to the analysis of approaches to the organization of freight transportation in international traffic, in which the issues of the organization of freight transportation in international traffic, mathematical methods of constructing freight transportation routes, the analysis and forecasting of the volume of international freight transportation, the peculiarities of solving the problems of the organization of freight transportation on transport networks and research objectives were set to increase the efficiency of the organization of freight transportation.

In the *second chapter*, the theoretical foundations of the organization of freight transportation on transport networks in the event of an imbalance in the volume of supplies and cargo orders are outlined, in which the mathematical model of the representation of unbalanced freight transportation on transport networks, general concepts and mathematical formulation of the task of organizing freight transportation on transport networks, the organization of freight transportation on the transport network of one type of cargo with and without capacity restrictions, organization of cargo transportation on the transport network of several types of cargo with capacity restrictions.

In the *third chapter*, the modeling of the processes of the organization of international freight transportation was carried out, in which the technologies of the formation of a matrix-network model of the organization of freight transportation on transport networks and the application of the traction shoulder system, the decision support system for the management of unbalanced freight transportation on the transport network of Ukraine, the solution process were considered of a multi-stage transport problem in the environment of a table processor.

The *fourth chapter* presents the applied aspects of the implementation of scientific research, in which the logistical approach to the organization of unbalanced freight transportation on transport networks, the organization of unbalanced freight transportation

using cargo customs complexes, the system of analysis of the customs terminal mass service network, the adequacy of the results of dissertation research are presented.

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

Key words: international freight transportation, freight customs complex, transportation network, mass service system, traction arm system, traffic flows, technological characteristics, delivery, transport and technological scheme, efficiency, routes.

LIST OF APPLICANT'S PUBLICATIONS

Monographs:

1. Remekh I.O., Prokudin G.S., Maidanik K.O., Pilipenko Yu.V. Efficiency of stosuvannya system of traction arms during the transportation of vantages to international destinations. *Systemy i srodki transportu samochodowego*. Monografia nr 10. [monographia] pod redakcja naukowa K. Lejdy Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. 2017. S. 79–86. ISBN 978-83-7934-161-0

2. Remekh I.O. Improving the efficiency of international transportation of interests in integrated transport systems. *Modern business transformation processes: theory, methodology, practice (state-of-the-art economic activity, industrial engineering and transport)*: Collective monograph with international participation / ed. L.M. Savchuk, L.M. Bandorina. Dnipro. Thresholds. 2019, pp. 464–4711. ISBN 978-617-518-412-7

Articles in foreign publications or in Ukrainian publications that are included in international scientometric databases:

3. Remekh I., Prokudin G., Chupaylenko A., Khobotnia T., Lyamzin A., Kovalenko M. Optimizing Unbalanced Freight Deliveries in Transportation Networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2/3 (116). 2022. P. 22-32. (ISSN 1729-

3774, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253791>, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/253791/252941>). Індексуються у Scopus.

Articles in scientific professional publications:

4. Remekh I.O., Prokudin G.S., Chupailenko O.A., Dudnik O.S., Maidanik K.O., Pilipenko Yu.V. Peculiarities of the model of tentative transport on the transport rail. *Project management, system analysis and logistics. Part. 1. Technical sciences*. 2016. VIP. 18.. Kyiv. NTU. pp. 101–114. 2017. S. 79–86.

http://publications.ntu.edu.ua/upravl_proget/2016_18_tech/101.pdf

5. Remekh I.O., Prokudin G.S., Chupailenko O.A., Maidanik K.O., Pilipenko Yu.V. Efficiency of stasis of the system of traction arms in international transportation. *Bulletin of the National Transport University. Series "Technical sciences"*. Vip. No. 1 (37). 2017. Kyiv. NTU. pp. 346–357.

<http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/37/346.pdf>

6. Remekh I.O., Prokudin G.S., Chupailenko O.A., Maidanik K.O., Pilipenko Yu.V. Analysis and ways of reforming the transport system in Ukraine. *Transport systems and technologies*. 2017. Kyiv. DETUT. pp. 244–254.

<https://tst.duit.in.ua/index.php/tst/article/view/58>

7. Remekh I.O., Prokudin G.S., Redich Yu.A., Maidanik K.O. Optimization of the work of the vintage mill complex for the additional stosuvannya of a rich transport task. *Scientific notes of the Taurian National University named after V.I. Vernadsky. Series of technical sciences*. 2018. V. 29 (68) No. 4. Part 2. Kyiv. TNU. pp. 142–146.

http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/4_2018/part_2/28.pdf

8. Remekh I.O., Chupailenko O.A., Prokudin O.G., Prokudin G.S., Khobotnya T.G. Razvyazannya merezhevyh transport tasks in the middle of EXCEL. *Scientific notes of the Taurian National University named after V.I. Vernadsky. Series: Technical sciences*. Volume 31 (70) No. 5. 2020. S. 214–219.

http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/5_2020/37.pdf

9. Remekh I.O., Prokudin G.S., Khobotnya T.G. Arrangement of unbalanced vintage transports from different vintage complexes. *Transport development*. Issue 1(6). Odessa. NMU. 2020. S. 116-126.

DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.010>

10. Remekh I.O., Prokudin G.S. Theoretical foundations of freight transportation organization on transport networks. *Bulletin of the National Transport University. Series "Technical sciences"*. Vip. No. 3 (53). 2022. Kyiv. NTU. pp. 312–321.

<http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/53/UKR.htm>.

Published works of approbation character:

11. Remekh I.O. Mathematical modeling of the checkpoint as a CMO with priorities. *Abstracts of the final LXX scientific-practical conference of the professorial and academic warehouse, graduate students, students and specialists in the kremlin structural support of the university*. (Kyiv, 14-16 May 2014). Kyiv. NTU. 2014, p. 231. .
<https://drive.google.com/file/d/1agTqOd6w1gPCNnxhKLnviD7Gyx4d5oT6/view>

12. Remekh I.O., Prokudin G.S., Pilipenko Yu.V., Maidanik K.O., Prokudin O.G., Omarov D.M. The butt of stimulating simulation models in transport systems. *Project management, system analysis and logistics. Part. 1. Technical sciences*. 2016. VIP. 17. Kyiv. NTU. pp. 67–79.

ISSN 2309-8635

13. Remekh I.O., Prokudin G.S., Maidanik K.O., Pilipenko Yu.V., Omarov D.M. Significance of the effectiveness of the system of traction arms in inter-transportation vantage. *Abstracts of the supplements of the VII International Scientific and Practical Conference "Comprehensive security of the quality of technological processes and systems"*. (m. Chernigiv, 24-27 April 2017). 2017. v. 2. Chernigiv. CHNTU. pp. 196–198. ISBN 978-966-2188-78-3

14. Remekh I.O., Prokudin G.S. Improving the efficiency of the inter-transportation of the vantazhiv for the additional support of the system of traction arms. *Abstracts of the final reports of the LXXIII scientific conference of the professorial and academic warehouse, graduate students, students and specialists in the kremlin structural subdivisions of the university*. (Kyiv, 16-18 May 2017). 2017. Kyiv. NTU. S. 254.

<https://drive.google.com/file/d/1GyK8BsnakngvopAADyWv3l4kEA22yhEs/view>

15. Remekh I.O., Prokudin G.S., Pilipenko Yu.V., Maidanik K.O. Improved methods for determining the optimal characteristics of transport measures. *A note about the NDR “Improving the efficiency of the functioning of the integration of transport systems in the international community”. Intermediate stage: “Analysis of the characteristics of the integration of transport systems in international studies”*. DR 0112U008415. Kyiv. NTU. 2017, pp. 9–22.

16. Remekh I.O., Prokudin G.S. New approaches to the organization of international advanced transport flows. *Abstracts of the final reports of the LXXIV scientific conference of the professorial and academic warehouse, graduate students, students and specialists in the kremlin structural support of the university*. (Kyiv, 16-18 May 2018). Kyiv, 2018. S. 270–271.

https://drive.google.com/file/d/1_uA1WGugEVOGtLukG_ZMX71VgXPIq98l/view

17. Remekh I.O., Prokudin G.S., Redich Yu.A., Maidanik K.O. Optimization of delivery schemes vantage to international success. *Abstracts of the supplements of the VIII International scientific and practical conference “Complex security of the quality of technological processes and systems”*. (m. Chernigiv, 10-12 May 2018). 2018. v. 2. Chernigiv. CHNTU. pp. 239–241. ISBN 978-617-7571-19-2

18. Remekh I.O. Optimization of the work of the vintage mill complex for the additional stosuvannya of a rich transport task. *A note about the NDR “Improving the efficiency of the functioning of the integration of transport systems in the international community”. Intermediate stage: “Directly promote the competitiveness of the integration of transport systems in the context of international transportation”*. No. DR 0112U008415. Kyiv. NTU. 2018, pp. 143–150.

19. Remekh I.O., Prokudin G.S. Optimization of the robots of vintage small complexes for additional stoking of a rich stage of transport tasks. *Theses of the final reports of the LXXV scientific conference of the professorial and academic warehouse, graduate students, students and specialists in the kremlin structural education of the university*. (Kyiv, 14-16 May 2019). Kyiv. NTU. 2019, pp. 274–275.
<https://drive.google.com/file/d/16Vrd9t8qiaZrTaTmPzz5lqtihzjtrjsf/view>

20. Remekh I.O., Prokudin G.S., Redich Yu.A., Maidanik K.O. Zastosuvannya rich stage transport tasks in optimizing the robotic and vantage complex. *Transport and Logistics: Problems and Solutions: A Collection of Scientific Practices for the Materials of the IX International Scientific and Practical Conference*. (Odessa, 22-24 May 2019). Odessa. 2019. C. 235–238.

ISBN 978-617-7414-66-6

21. Remekh I.O., Prokudin G.S., Prokudin O.G., Maidanik K.O. Reconstruction of mesh models to the process of bulk transport in matrix models. *All-Ukrainian scientific and practical conference "Transport technologies and road safety"*. (Zaporizhzhya, 14-15 April). Zaporozhye. NU "Zaporizka Polytechnic". 2020, pp. 49–51.

ISBN 978-617-529-271-6

22. Remekh I.O., Prokudin G.S. Improving the efficiency of the functioning of vintage mitnium complexes for the help of stosuvannya of the current benefits of information technology. *A note about the NDR "Improving the efficiency of the functioning of the integration of transport systems in the international community"*. *Intermediate stage: "Directly promote the competitiveness of the integration of transport systems in the context of international transportation"*. No. DR 0112U008415. Kyiv. NTU. 2019. P. 9–15.

23. Remekh I.O., Prokudin G.S., Chupailenko O.A., Prokudina I.I., Maidanik K.O. Leading up to the organization of mass transportation of vantage on transport lines. *Modern information and innovative technologies in transport (MINTT-2020). Materials of the XII International Scientific and Practical Conference*. (Kherson, May 27-29). Kherson. HDMA. 2020. P. 14–17.
https://drive.google.com/file/d/18erBFTL6_KR9Utwdh2C5nUTZK7FyrEJu/view?usp=sharing

24. Remekh I.O., Prokudin G.S. Improving the efficiency of the functioning of vintage mitnium complexes for the help of stosuvannya of the current benefits of information technology. *Theses of the final reports of the LXXVI scientific conference of the professorial and academic warehouse, graduate students, students and specialists in the kremlin structural subdivisions of the university*. (Kyiv, 13-15 May 2019). Kyiv. NTU.

2020, pp. 245–246. <https://drive.google.com/file/d/1Hlm8obLCicsOsLCs-eL7N7VIKdi7PWiv/view>

25. Remekh I.O., Prokudin G.S., Prokudin O.G. Decoupling of unbalanced bulky transportations from different transport technologies. *International scientific and technical conference "Intellectual technologies for managing transport processes"*. (Kharkiv, 17-18 leaf fall 2020). Kharkiv. KHNADU. pp. 138-140.

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

26. Remekh I.O., Prokudin G.S., Khobotnya T.G. Logistical approach to the organization of unbalanced freight transportation on transport networks. *Report on the NDR "Improving the efficiency of organization and management of transportation in international traffic". Intermediate stage*. No. DR 0120U105547. Kyiv. NTU 2021. pp. 9–16.

27. Remekh I.O., Prokudin G.S. Logistics approach to the organization of unbalanced cargo transportation on transport lines. *Abstracts of the final reports of the LXXVII scientific conference of the professorial and academic warehouse, graduate students, students and specialists in the kremlin structural subdivisions of the university*. (Kyiv, 18-20 May 2021). Kyiv. NTU. 2021, p. 227. https://drive.google.com/file/d/1ueDfCu-mBO1oTk1-nKHgyDCsnBy_sab5/view?usp=sharing

28. Remekh I.O., Prokudin G.S. Application of information technologies in solving problems of unbalanced freight transportation. *Abstracts of the final reports of the LXXVIII scientific conference of the professorial and academic warehouse, graduate students, students and specialists in the kremlin structural subdivisions of the university*. (Kyiv, 2-3 November 2022). Kyiv. NTU. 2022, p. 212. <https://drive.google.com/file/d/1yhVlySe-r3EHbJt98UoRZEW94NhxOzk7/view>

29. Remekh I.O., Prokudin G.S., Prokudin O.G. Organization of freight transportation in intelligent transport systems. *International scientific conference "Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort"*. (Kyiv, November 29-30, 2022). Kyiv. NTU. P. 97-101. ISBN: 978-966-632-318-0 (Online) DOI: 10.33744/978-966-632-318-0-2022-3.

Author's certificates:

30. Certificate No. 112183 Literary letter of scientific character “Information technologies for the development of unbalanced cargo transportation on the transport barrier”. Remekh I.O., Prokudin G.S., Chupailenko O.A., Prokudina I.I., Prokudin O.G., Khobotnya T.G. State Enterprise "Ukrainian Institute of Intellectual Power". Date of registration 01.03. 2022. 9 p.

31. Certificate No. 112181 Computer program “Revealing of unbalanced cargo transportation on the transport line”. Remekh I.O., Prokudin G.S., Chupailenko O.A., Prokudina I.I., Prokudin O.G., Khobotnya T.G. State Enterprise "Ukrainian Institute of Intellectual Power". Date of registration 01.03. 2022. 21 p.

З М І С Т

АНОТАЦІЯ	2
СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	25
ВСТУП	26
РОЗДІЛ 1	
ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У	
МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ	37
1.1 Організація вантажних перевезень у міжнародному сполученні	37
1.2 Математичні методи побудови маршрутів вантажних перевезень	42
1.3 Особливості розв’язання задач організації вантажних перевезень	
на транспортних мережах	51
1.4 Постановка задач дослідження по підвищенню ефективності	
організації вантажних перевезень	56
1.5 Висновки по розділу 1	58
РОЗДІЛ 2	
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ	
ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ	62
2.1 Математична модель представлення не збалансованих вантажних	
перевезень на транспортних мережах	62
2.2 Загальні поняття і математичне формулювання задачі організації	
вантажних перевезень на транспортних мережах	64
2.3 Організація вантажних перевезень на транспортній мережі одного	
виду вантажу без обмежень пропускної здатності	66
2.4 Організація вантажних перевезень на транспортній мережі одного	
виду вантажу з обмеженнями пропускної здатності	73
2.5 Організація вантажних перевезень на транспортній мережі кілька	
видів вантажів з обмеженнями пропускної здатності	78
2.6 Висновки по розділу 2	90

РОЗДІЛ 3

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ 92

- 3.1 Технологія формування матрично-мережевої моделі організації
вантажних перевезень на транспортних мережах 92
- 3.2 Один із підходів розв’язання багатоетапної транспортної задачі за
допомогою інформаційних технологій 96
- 3.3 Управління незбалансованими вантажними перевезеннями на
транспортній мережі України за допомогою системи підтримки
прийняття рішень. 107
- 3.4 Технологія застосування системи тягових плечей 113
- 3.5 Висновки по розділу 3 122

РОЗДІЛ 4

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. 125

- 4.1 Організація незбалансованих перевезень вантажів автомобільним
транспортном у міжнародному сполученні вантажних митних
комплексів 125
- 4.2 Система аналізу митної термінальної мережі масового
обслуговування 132
- 4.3 Адекватність результатів дисертаційних досліджень 145
- 4.4 Висновки по розділу 4 148
- ВИСНОВКИ 151**
- СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 153**
- ДОДАТКИ 168**

СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АТП	– автотранспортне підприємство
АсМАП	– Асоціація міжнародних автомобільних перевізників України
ВМК	– вантажний митний комплекс
ВМ	– вантажний модуль
в.о.	– вантажна одиниця
ДТМ	– дорожньо-транспортна мережа
ЄС	– Європейський Союз
ЄАЕС	– Євразійський економічний союз
ЄУТР	– Європейська Угода щодо роботи екіпажів Транспортних засобів, які виконують міжнародні автомобільні перевезення
ЗЗЛП	– загальна задача лінійного програмування
ІТ	– інформаційні технології
МС	– Митний Союз
МММ	– матрично-мережева модель
о.в.	– одиниця вартості
ПП	– пункт постачання
п/п	– пункт пропуску
ПС	– пункт споживання
ПТ	– пункт транзиту
ПВК	– проміжний вантажний комплекс
ПК	– програмний комплекс
СНД	– Співдружність Незалежних Держав
СПРУВП	– системи підтримки прийняття рішень управління незбалансованими вантажними перевезеннями
СП	– проміжний складський пункт
СМО	– системи масового обслуговування
САМТМО	– система аналізу митної термінальної мережі масового обслуговування
ТЗ	– транспортна задача
ТДК	– транспортно-дорожній комплекс
ТМ	– транспортна мережа
ТВ	– транспортний вузол
ТС	– транспортна система
у.г.о.	– умовна грошова одиниця
JIT	– Just In Time (точно в строк)
VBA	– Visual Basic for Application (Visual Basic для програми)

ВСТУП

Науково-технічний прогрес у транспортній галузі є одним із головних факторів розвитку суспільства, підвищення добробуту його громадян. Стратегічним завданням науково-технічної політики в галузі транспортної системи (МС) держави є вихід на світовий рівень за технічними параметрами та якістю послуг, що надаються транспортом. У зв'язку з цим першорядним та пріоритетним завданням для транспортної галузі є розширення наукових досліджень з проблем створення передових технологій організації транспортно-технічних засобів нових поколінь, формування та функціонування ефективного транспортного засобу, його інфраструктури, розробка принципово нових систем керування процесом перевезення вантажів та пасажирів з використанням передових інформаційних технологій (ІТ).

Транспорт - це галузь матеріального виробництва, що здійснює перевезення людей та вантажів. У структурі суспільного виробництва транспорт відноситься до сфери виробництва матеріальних послуг. У сучасних умовах розвитку економіки України транспортна галузь має певні проблеми, вирішення яких можна намітити після вивчення закономірностей побудови, експлуатації та розвитку транспортних засобів.

Особливе географічне положення України, що дозволяє їй по праву займати місце транзитної держави, і, як наслідок, наявність великої кількості транзитних транспортних коридорів, що діють, автомобільних доріг міжнародного та європейського значення, великих транспортних вузлів, що концентрують залізничний транспорт, вокзалів, аеропортів, річкових та морських портів, висуває підвищені вимоги до системи організації перевезень вантажів та пасажирів.

Основними проблемами, що стримують забезпечення зростаючого попиту на транспортні послуги за обсягом та якістю, є:

- недостатнє оновлення основних фондів усіх видів транспорту та дорожнього господарства, невідповідність їх технічного рівня перспективним вимогам;
- низький рівень міжгалузевої координації у розвитку транспортної інфраструктури;
- слабкий ступінь використання геополітичного становища України та можливостей її транспортних комунікацій для міжнародного транзиту вантажів через територію України;
- повільне вдосконалення транспортних технологій та недостатній їх зв'язок з виробничими, торговими, складськими та митними технологіями;
- неприпустимо низький рівень інформатизації транспортного процесу та інформаційної взаємодії транспорту з іншими галузями економіки;
- недостатня ефективність фінансово-економічних механізмів, що стимулюють залучення інвестицій для розвитку транспорту;
- відставання у реалізації державних та галузевих програм у галузі окремих видів діяльності, видів транспорту, транспортного машинобудування, розвитку державного кордону.

За даними Асоціації міжнародних автомобільних перевізників (АсМАП) України, станом на 31.12.2021 р. автомобільний парк у перевізників-учасників на 43% складався з вантажівок класу «Євро-3» , 23% – «Євро-2», 22% – «Євро-5», автомобілі класу «Євро-4» складали всього 5%, а «Євро-6» – 0,2%.

Особливо відчутними дані проблеми стають зараз, коли в Європі провадиться політика зменшення шкоди, яка завдається навколишньому середовищу, шляхом обмеження можливості користування транспортною інфраструктурою в залежності від технічних характеристик транспорту, що, на думку експертів, повинно позитивно вплинути на екологічну ситуації в Європі. За таких висуває жорсткі вимоги до екологічного класу автомобілів, що заїжджають на її територію.

Зважаючи на існуючі вимоги до способів організації перевезень у транспортних засобах, можна констатувати наявність у транспортній галузі актуальних проблем керування вантажопотоками.

Вже майже 50 років вчені займаються методами вирішення транспортних завдань (ТЗ) як у галузі дослідження операцій, так і в галузі вирішення практичних завдань планування вантажоперевезень різними видами транспорту: автомобільним, залізничним, водним та авіа, окремо, а також при плануванні завдань взаємодії цих видів транспорту.

Серед найбільш значних робіт у цьому напрямку досліджень варто відзначити роботи американських і європейських вчених: Данциг Дж., Дейкстра Е., Флойд Р., Кофман А., Таха Х.А. [32-36] та інших, і навіть вчених: Канторовича Л.В., Венцель Є.С., Нестерова В.П., Дегтярова Ю.І., Кремера Н.Ш. [37-41] та багато інших. Роботи А.І. Воркут, В.В. Силянова, А.П. Кожина, М.М. Бідняка, Б.М. Четверухіна, М.Я. Postana присвячена сучасним методам оптимізації перевезення вантажів та пасажирів в умовах мережі та ін [40-45].

Незважаючи на всю багатогранність розгляду проблем ТЗ щодо оптимізації процесів організації перевезень і значущість отриманих результатів, необхідно визнати, що більшість відомих стандартних методів оптимізації перевезень (розподільчий метод, метод потенціалів, метод диференціальної ренти та ін.) працюють тільки при збалансованому (замкненому) ТЗ, тобто сума запасів, що у власності підприємства, дорівнює сумі потреб покупців [32, 33, 38-40, 43, 45].

Але практично часто виникають ситуації, у яких відсутня баланс між попитом і пропозицією, тобто або попит перевищує пропозицію, або, навпаки, пропозиція перевищує попит. У першому випадку маємо незбалансоване (відкрите) транспортне завдання з нестачею запасів, а в іншому — відкрите транспортне завдання з надлишком запасів [36].

Існує два найбільш відомі методи приведення відкритих ТЗ до збалансованого вигляду:

- запровадження додаткової (фіктивної) точки подачі (ПП) чи споживання (ПП) вантажу;
- зменшення обсягу попиту (пропозиції) на величину нев'язки в одному з ПП або ПС.

Застосування першого із способів найчастіше не задовольняє запити окремих вантажних замовників, що особливо перебувають на значній відстані від ПП. При використанні другого методу найбільш віддалені ПС також опиняються у не вигідному положенні.

Оскільки транспортне завдання є окремим випадком загальної задачі лінійного програмування (ЗЛП), цілком можливе застосування всіх стандартних методів її вирішення, зокрема найвідомішого з них – симплекс-метода.

Симплекс-метод (симплекс-метод) - типовий приклад ітераційних обчислень, який використовується для вирішення більшості оптимізаційних завдань. У розрахунковій схемі симплекс-метода реалізований упорядкований процес, при якому, починаючи з деякої початкової допустимої кутової точки (зазвичай початку координат), здійснюються послідовні переходи від однієї допустимої крайньої точки до іншої до точки, що відповідає знайдено оптимальне рішення [37-40, 42-45].

Але застосувати симплекс-метод на вирішення транспортних завдань можна лише попередньо привівши ТЗ до виду завдання лінійного програмування з урахуванням її специфіки. Також слід зазначити, що симплекс-метод може бути застосований і до відкритих ТЗ - так званим завданням лінійного програмування з обмеженнями-нерівністю [45].

Максимально швидке вирішення проблем організації перевезень у транспортній системі України шляхом розробки нових та модифікації існуючих методів, орієнтованих на використання сучасних прогресивних ІТ-засобів та методів, дозволить транспорту України як галузі народного господарства, що відповідає за своєчасну, економічну та надійну доставку пасажирів та вантажів до пунктів призначення, достойно виконати покладену нею величезну народногосподарську завдання.

Актуальність теми. Світова транспортна система нині переживає процес глибоких, фундаментальних змін. Отримано інтенсивні імпульси для розвитку процесів створення єдиного ринку торгівлі на різних континентах, значно спрощено процедуру перетину кордонів.

Міжнародна транспортна мережа України та існуючі транспортні системи в умовах економічних перетворень потребують кардинальних змін в експлуатаційній та технологічній діяльності, а також заміни технічних засобів та обладнання.

Основними вимогами у цих питаннях є:

- максимальне зниження собівартості вантажних та пасажирських перевезень;
- переоцінка критеріїв у підходах до визначення ефективності перевезень, перехід від об'ємних показників роботи транспорту до фінансово-економічних;
- забезпечення достатньої швидкості транспорту та доставки пасажирів та вантажів;
- забезпечення збереження вантажу під час транспортування;
- підвищення якості транспортних послуг.

Основним недоліком існуючих методів вирішення ТЗ, представлених у вигляді транспортної мережі (ТМ), є неможливість суворої математичної формалізації задачі та її подальшого вирішення методами сучасних інформаційних технологій. Більшість ТЗ не мають балансу попиту та пропозиції, тобто є безстроковими завданнями. Стандартні методи зведення до завдання закритого типу часто неефективні, а іноді й не працюють.

Все це визначає актуальність дослідження та розробки вдосконалених моделей та методів вирішення завдань управління перевезеннями пасажирів та вантажів у міжнародному сполученні на ТМ у разі виникнення дисбалансу обсягів доставок та вантажних замовлень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до «Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р, плани НДР МОН України за напрямом «Проблеми

формування раціональних транспортно-логістичних систем та забезпечення ефективного функціонування їх компонентів», в рамках НДР на тему «Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні» (Національний транспортний університет, номер держреєстрації 0112U008415, 2016-2020 рр.) та НДР на тему «Підвищення ефективності організації та управління сполученні» (Національний транспортний університет, номер державної реєстрації 0120U105547, 2021 р.) -2025).

Мета роботи та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності перевезень вантажів автомобільним транспортом при організації міжнародних перевезень за рахунок розробки, удосконалення та впровадження моделей, методів та програмного забезпечення процесу організації вантажних перевезень на транспортних мережах у разі незбалансованості обсягів постачання вантажу та замовлення на нього. Для досягнення поставленої мети у роботі визначено такі основні завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих наукових підходів та діючих моделей і методів організації вантажних перевезень на транспортних мережах у міжнародному сполученні;

2. Розробити метод використання багатоетапного транспортного завдання під час перевезення вантажів з використанням вантажних митних комплексів у міжнародному сполученні;

3. Провести моделювання процесів організації міжнародних вантажних перевезень на транспортних мережах за умов незбалансованості обсягів поставок та вантажних замовлень;

4. Розробити систему аналізу мережі митних терміналів масового обслуговування під час виконання автомобільних вантажних перевезень у міжнародному сполученні з використанням системи тягових плечей.

5. Апробувати розроблене програмне забезпечення для керування вантажоперевезеннями у міжнародному сполученні на автотранспортних підприємствах АсМАП України.

Об'єктом дослідження є процес перевезення вантажів автомобільним транспортом транспортними мережами в міжнародному сполученні з використанням вантажних митних комплексів.

Предметом дослідження є закономірності формування вантажопотоків на транспортних мережах, що враховують обмеження на незбалансованість обсягів постачання та вантажних замовлень.

Методи дослідження. У роботі використовуються методи теорії транспортних процесів та систем, окремі методи 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 як комбінаторний аналіз та теорія графів. Теоретична цінність результатів дослідження полягає у системному підході до аналізу існуючих моделей та методів управління вантажними перевезеннями на транспортних мережах, обґрунтування питань модифікації відомих та розробки нових моделей та методів вирішення завдань подібного навчального класу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає, насамперед, у тому, що вперше розкрито теоретико-методичні засади вирішення науково-технічної проблеми ефективної організації міжнародних вантажних перевезень на транспортних мережах в умовах незбалансованого обсягу постачання та споживання вантажів з використанням вантажних митних комплексів.

У роботі, у розвитку зазначеного напрямку, *вперше*:

– запропоновано підхід використання системи тягових плечей при організації міжнародних вантажних перевезень та при організації роботи ВМК, що значно підвищує якість управлінських рішень за рахунок спрощення формування оптимального плану перевезення вантажів і використання всіх існуючих та удосконалених методів приведення незбалансованих вантажоперевезень до збалансованого виду та пропускну здатність ВМК шляхом знаходження його оптимальної структури;

удосконалено:

– метод використання багатоетапного транспортного завдання при перевезенні вантажів з використанням вантажних митних комплексів у міжнародному сполученні, що дозволяє оптимізувати перевезення вантажів за наявності не збалансованості обсягів поставок та замовлень вантажу, а також враховує особливості випадку значного перевищення обсягу пропозиції вантажу над попитом на нього;о;

набула подальшого розвитку:

– система підтримки прийняття рішень щодо управління незбалансованими вантажоперевезеннями на транспортних мережах України та Західної Європи, використання якої сприяє одержанню більш ефективного плану вантажних перевезень.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробці системи аналізу мережі масового обслуговування митного терміналу під час виконання вантажних автомобільних перевезень, а також програмного комплексу на вирішення багатоетапної транспортної завдання під час перевезення вантажів з використанням вантажних митних комплексів у міжнародному сполученні на основі системи тягових плечей, які дають можливість значно підвищити якість прийняття управлінських рішень під час перевезення вантажів на транспортних мережах різної структури та розмірності.

Основні науково-практичні результати дисертації впроваджено у навчальний процес кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету МОН України, отримано 2 Свідоцтва про реєстрацію авторських прав на роботу на все програмне забезпечення, розроблене в рамках наукових досліджень з даної дисертаційної роботи (Додатки А, Б , В).

Також результати дисертаційної роботи були впроваджені у виробничу діяльність ІП «ЧСАД Україна» та освітню діяльність НКЦ АсМАП України (Додаток В) у вигляді розробленої системи аналізу митної термінальної мережі масового обслуговування при виконанні вантажних автомобільних перевезень, а також програмний комплекс для розв'язання багатоетапного транспортного

завдання під час перевезення вантажів з використанням вантажних митних комплексів у міжнародному сполученні на основі системи тягових плечей (Додаток Д).

Особистий внесок набувача. Теоретичні положення, розробки та висновки, викладені у дисертації, є результатом самостійного наукового дослідження автора. Усі теоретичні, методологічні та концептуальні розробки, представлені у розділі «Наукова новизна одержаних результатів», були отримані автором самостійно. У роботах на тему дисертації, виконаної у співавторстві, особистий внесок одержувача полягає у наступному:

- в [1] автором виконано розрахунок фінансово-економічних характеристик міжнародного рейсу із застосуванням системи тягових плечей;
- в [2] автором запропонована загальна структура інтегрованої ТС;
- в [3] автором проведено опис логістичного підходу до організації міжнародних автомобільних перевезень на ТМ;
- в [4] автором описані особливості моделювання перевезень вантажів на ТМ;
- в [5] автору належить обґрунтування вибору критеріїв ефективності застосування системи тягових плечей в міжміських перевезеннях;
- в [6] автором наводиться статистика по транспортній галузі України;
- в [7] автором виконаний аналіз роботи вантажного митного комплексу при застосуванні багатоетапної транспортної задачі;
- в [8] автором проведена оптимізація вантажних перевезень на ТМ за допомогою табличного процесора EXCEL;
- в [9] автором наводиться математична модель незбалансованих вантажних перевезень;
- в [10] автором описана організація вантажних перевезень на транспортній мережі одного виду вантажу без обмежень пропускної здатності;
- в [12] автору належить опис прикладу побудови імітаційних моделей у ТС;
- в [13] автором запропоновані критерії ефективності застосування системи тягових плечей у міжміських перевезеннях вантажу;

- в [14] автором описана технологія застосування системи тягових плечей;
- в [15] автору належить визначення оптимальних характеристик ТМ;
- в [16] автором визначені нові підходи до організації міжнародних вантажних транспортних потоків;
- в [17] автору належить опис схем доставки вантажу у міжнародному сполученні;
- в [19] автором перераховані основні функції вантажних митних комплексів;
- в [20] автором дано визначення багатоетапної транспортної задачі;
- в [21] автором описано перетворення мережових моделей процесу вантажних перевезень у матричні моделі;
- в [22] автор описує приклади сучасних засобів інформаційних технологій;
- в [23] автор наводиться визначення і структура ТМ;
- в [24] автор наводить приклади сучасних засобів інформаційних технологій;
- в [25] автор дано визначення і перелік транспортних технологій;
- в [26,°27] автор наводить опис логістичного підходу до організації незбалансованих вантажних перевезень на ТМ;
- в [28] автор наводить приклад застосування інформаційних технологій у вирішенні задач незбалансованих вантажних перевезень;
- в [29] описано логістичний підхід до організації вантажних перевезень в інтелектуальних транспортних системах;
- в [30,°31] автору належать опис експериментальних розрахунків незбалансованих вантажних перевезень на ТМ;
- роботи [2, 11,18] виконані автором одноосібно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації та результати наукових розробок були доповідані здобувачем та обговорені на:

- 70, 73-78 наукових конференцій ППС, аспірантів, студентів та співробітників окремих структурних підрозділів Національного транспортного університету (Київ, Національний транспортний університет, 2014, 2017-2022);

- VII та VIII Міжнародні науково-практичні конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, Чернігівський національний технічний університет, 24-27 квітня 2017 р.; 10-12 травня 2018 р.);
- IX Міжнародна науково-практична конференція «Транспорт та логістика: проблеми та рішення» (Одеса, Одеський національний морський університет, 22-24 травня 2019 р.);
- Всеукраїнська науково-практична конференція «Транспортні технології та безпека дорожнього руху». (Запоріжжя, Запорізький політехнічний університет, 14-15 квітня 2020 р.);
- XII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (МІНТТ-2020)» (м. Херсон, 27-29 травня 2020 р.);
- Міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні технології управління транспортними процесами». (Харків, ХНАДУ, 17-18 листопада 2020 р.);
- Міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні Транспортні Системи: Екологія, Безпека, Якість, Комфорт». (Київ, Національний транспортний університет, 29-30 листопада 2022).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 31 наукову працю (додаток Е), з них: 10 статей у закордонних виданнях або у спеціалізованих виданнях, що входять до переліку затверджених ВАК України, 19 публікацій в інших періодичних науково-практичних виданнях, 2 авторські свідоцтва про реєстрацію прав на твір.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків (всього 152 сторінки), списку використаних джерел із 121 назвами та 5 додатками, разом з якими її обсяг становить 194 сторінки. Текст дисертації ілюстрований 59 рисунками, містить 8 таблиць та 80 формул.

РОЗДІЛ 1

ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

1.1 Організація вантажних перевезень у міжнародному сполученні

У наші дні глобалізація ринку та інтеграція національних економік у світову стали одним із основних стимулів розвитку міжнародної торгівлі та, як наслідок, міжнародних перевезень вантажів.

В Україні автомобільні перевезення є найбільш динамічним сегментом ринку міжнародних вантажних перевезень, який за обсягом експорту та імпорту займає значну його частину, а саме 7,6% [46]. Функціонування даного сегменту ринку супроводжується постійною появою нових транспортних компаній та відходом з ринку тих, які не витримали конкурентної боротьби. Наявність великої кількості учасників транспортного процесу пов'язана з державною політикою переведення підприємств на ринкові відносини. Наслідком такої політики стала приватизація великих автотранспортних підприємств (АТП) та поява на їхньому місці безлічі фізичних та юридичних осіб, де якість транспортних послуг була на низькому рівні через брак кадрів та інших факторів. нових для них факторів у ринковій ситуації. Такі завдання, як повне та правильне оформлення супровідної документації, вибір раціонального маршруту, кваліфіковане експедирування тощо, стали такими, які не кожен може виконати, особливо якщо це стосується міжнародних вантажних перевезень [47].

З моменту проголошення незалежності України країни зі Співдружності Незалежних Держав (СНД) залишалися її основними торговими партнерами, але з 2014 року внаслідок активних політичних та економічних перетворень у нашій країні інтенсивність відносин із членами СНД країн дещо знизилася. торкнулося і транспортної галузі. Водночас, спостерігається тенденція до розширення співпраці з

Європейським союзом (ЄС), що має сприяти реалізації транзитного потенціалу нашої держави.

Розвиток існуючих та поява нових напрямків міжнародних вантажоперевезень неминуче пов'язаний із посиленням конкуренції. При цьому конкуренція виникає як за рахунок нових учасників ринку, так і за рахунок загального зниження обсягів необхідних транспортних послуг в умовах кризи, що розвинулася в економіці та виробництві. Така ситуація змушує АТП шукати шляхи та засоби залучення нових клієнтів, адже доходи підприємств зменшились, а витрати збільшились.

Незважаючи на певне погіршення економічних відносин з країнами СНД, досить велика частка міжнародних автомобільних перевезень вантажів до нашої країни і нашої країни здійснюється в цьому напрямку. 2020 року на країни СНД припало 27,3% від загального обсягу вантажів, перевезених автомобільним транспортом у міжнародному сполученні. У цьому частка СНД у експорті автомобільним транспортом становила 34,8%, імпорті - 20,4% [48].

Це з тим, такі перевезення значно легше виконувати проти перевезеннями до ЄС, т.к. при прямованні у східному напрямку до рухомого складу та транспортної документації висуваються мінімальні вимоги (технічні, екологічні) та практично відсутні відсутність обмежень на використання транспортних магістралей [49]. Крім того, тарифи на перевезення вантажів з України до країн СНД значно, майже на 25%, перевищують тарифи на ринку внутрішніх перевезень України.

Це приваблює учасників ринку міжнародних перевезень [50, 51], яких можна розділити на дві узагальнені групи: АТП, які мають довгострокові договори, та АТП, які здійснюють перевезення вантажів за разовими заявками. При перевезеннях до країн СНД конкуренція між перевізниками зазначених груп додатково посилюється за рахунок участі у перевізному процесі компаній, які здійснюють доставку вантажів до Європи та Європи. Це пов'язано з тим, що багато пунктів призначення АТП, що розташовані в країнах СНД, що межують з ЄС, розглядаються як місця подачі автотранспорту для перевезення до основного пункту навантаження

в Європі. Аналогічна ситуація спостерігається і при поверненні рухомого складу зазначених підприємств із Європи до України. Таким чином, здійснюючи перевезення у зазначені райони та з них, перевізники, орієнтовані на клієнтів з ЄС, прагнуть скоротити непродуктивний пробіг при постачанні власних автомобілів і створити додаткову конкуренцію. Це спричиняє зниження транспортних тарифів, у тому числі для тих АТП, які здійснюють перевезення до пунктів призначення, розташованих у межах держав-учасниць СНД та Митного союзу (МС) Євразійського економічного союзу (ЄАЕС).

В особливому ступені це впливає на українських перевізників. Оскільки Україна не входить до складу жодного митного союзу, то після виконання перевезення до будь-якої з країн СНД або Європи наступною їздкою для них у переважній більшості випадків є повернення транспортного засобу на Україну [52], що викликане високою вартістю дозвільних документів на роботу в інших державах. Як наслідок, єдиним варіантом отримання зворотного завантаження для останніх є перевезення вантажу з країни СНД в Україну, що істотно звужує коло потенційних замовників і ускладнює їх пошук. Приблизно у 80 % випадків, коли перевезення вантажів виконуються українськими підприємствами, мають місце значні простої в очікуванні зворотного завантаження автомобіля. Щоб уникнути простоїв, українські АТП часто подають свої транспортні засоби з пункту призначення до інших місць отримання зворотних завантажень. Це робить вельми актуальним питання дослідження ефективності різних напрямків перевезень вантажів автомобільним транспортом між Україною і державами СНД та Європи. Особливо актуальним це питання є для АТП, що виконують перевезення вантажу за разовими заявками, адже найчастіше при виконанні разових замовлень на перевезення в міжнародному сполученні АТП стикаються з проблемою визначення і планування прибутку [53].

На етапі отримання такої заявки і укладання договору на перевезення вантажу перевізник домовляється із вантажовідправником або експедитором про тариф на перевезення в прямому напрямку. Часто у АТП основною проблемою є складність

обліку всіх статей витрат до початку рейсу, внаслідок чого непередбачені витрати можуть спричинити суттєве зниження запланованого прибутку. Найбільше це стосується тих витрат, які мають ймовірнісних характер. Такий показник як, наприклад, час непередбаченого простою транспортного засобу, є випадковим елементом транспортного процесу. Непередбачувані простої з'являються при чергах на митних і прикордонних пунктах пропуску, через нестачу документів на вантаж або їх неправильне оформлення (наприклад, неякісне митне оформленням вантажів внаслідок недостатньої кваліфікації персоналу, який цим займається), при пошуку зворотного завантаження. Час непередбаченого простою веде до зниження продуктивності автомобіля, що тягне за собою підвищення витрат та, відповідно, зниження прибутку транспортного підприємства [54, 55]. З метою зменшення невизначеності при виконанні перевезення АТП слід приділяти увагу плануванню маршруту перевезення та його оцінці з точки зору основної мети діяльності підприємства – отримання прибутку. В результаті можна підсумувати, що при оплаті перевезення вантажу в один бік (в прямому напрямку) прийняття рішення про доцільність такого перевезення завжди залежить від великої кількості факторів. Серед них найбільш складно передбачуваними є умови отримання зворотного завантаження в пункті призначення вантажу. Дані умови можна вважати випадковими і тому доцільною є розробка математичної моделі, яка б давала можливість враховувати вплив ймовірнісних елементів транспортного процесу при визначенні прибутку автотранспортних підприємств, що виконують перевезення вантажу за разовими заявками. Подібна модель забезпечить АТП необхідною інформацією для прийняття обґрунтованого рішення щодо доцільності виконання перевезення.

Міжнародні перевезення вантажів є найбільш складними з точки зору організації, адже у порівнянні з міськими або міжміськими вони мають, як мінімум, більшу кількість елементів транспортного процесу [56]. Подекуди їх організація викликає необхідність застосування великої кількості методів дослідження,

призначених для вирішення різноманітних завдань планування перевезення та транспортного обслуговування [42, 57, 58]. Узагальнений перелік цих методів та задачі, які можуть бути вирішені за їх допомогою, наведено на рис. 1.1.

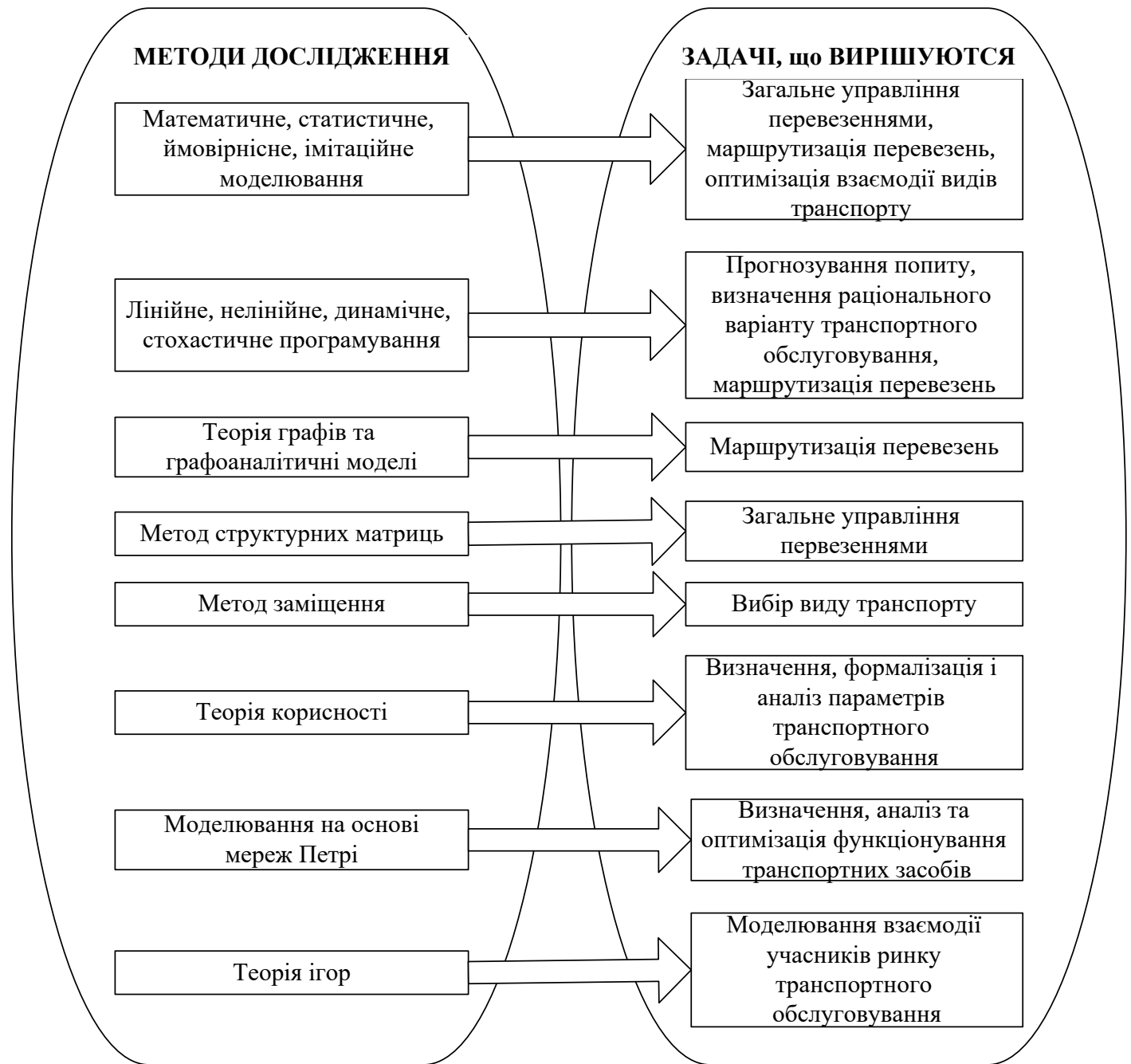


Рисунок 1.1 – Можливості математичних методів при розв’язанні задач транспортного обслуговування

1.2 Математичні методи побудови маршрутів вантажних перевезень

Якісне планування вантажоперевезень є гарантією отримання перевізником прибутку та забезпечення виконання ним своїх договірних зобов'язань перед іншими учасниками перевізного процесу - відправниками вантажу, вантажоодержувачами, експедиторами тощо. випадковим чином, планування маршрутів перевезень та організація роботи на них транспортних засобів повинні сприяти зменшенню невизначеності в елементах доставки вантажів. На сьогоднішній день існує досить велика кількість способів побудови маршрутів перевезення вантажів [59], загальна класифікація яких представлена на рис. 1.2.

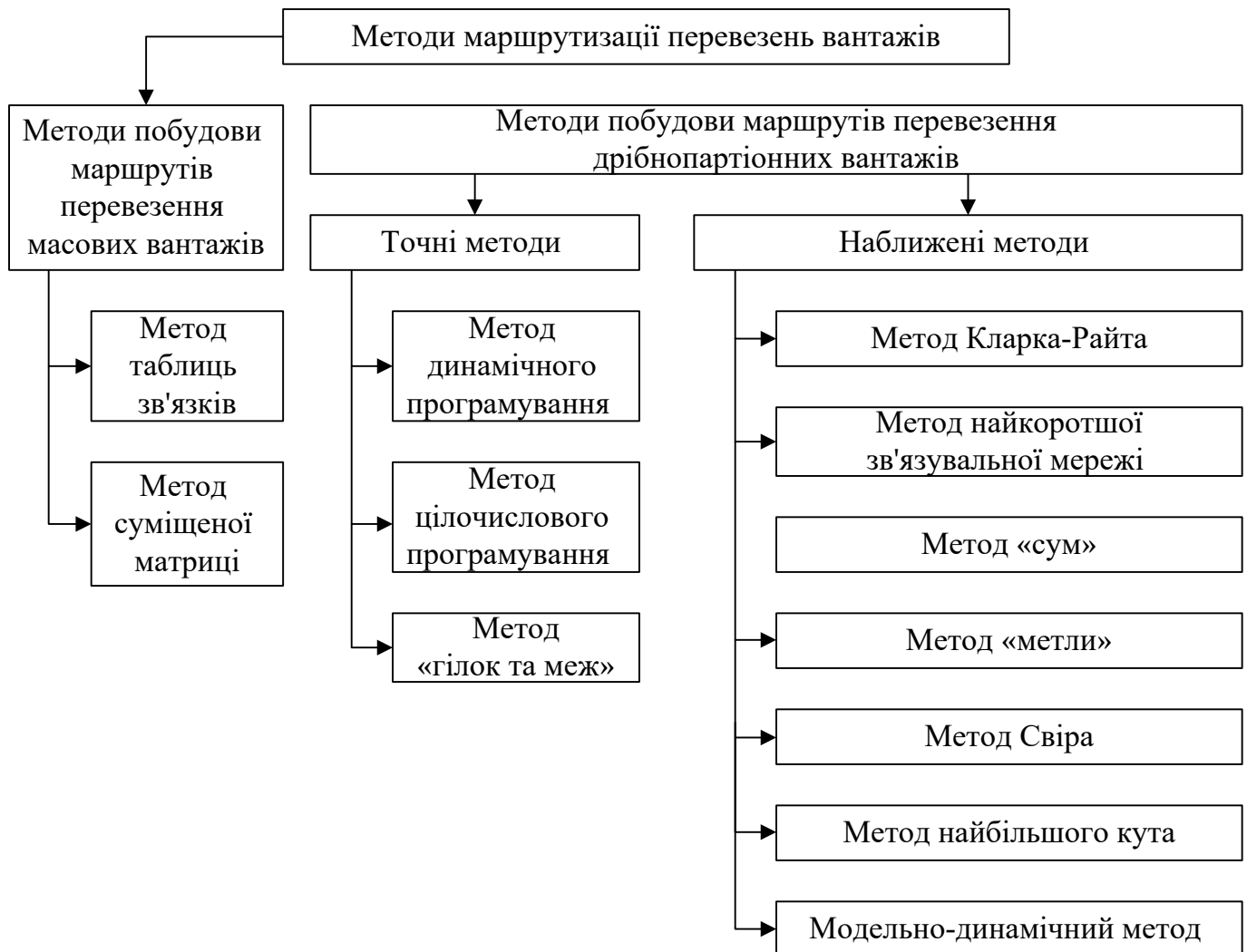


Рисунок 1.2 – Класифікація методів побудови маршрутів вантажних перевезень

Можна виділити два класи завдань маршрутизації - для випадку масових вантажоперевезень і випадку дрібнопартійних вантажоперевезень [60-65]. При маршрутизації перевезення сипких вантажів поставлено завдання перевезення відправлень автомобільним транспортом, коли на адресу окремих одержувачів відправляються окремі повністю завантажені автомобілі. Найбільш поширеними методами вирішення цього завдання є метод таблиць зв'язків та метод комбінованої матриці [62, 63]. Обидва методи вимагають як вихідні дані результатів розв'язання задачі визначення найкоротших відстаней між відправниками та одержувачами вантажів і так званої транспортної задачі (ТЗ).

Для застосування методу з'єднання таблиць необхідно мати зведений план вантажопотоків та план повернення порожнього рухомого складу [63]. Зведений план вантажопотоків зазвичай є результатом обробки заявок на перевезення вантажів, що надійшли від клієнтури, і оформляється у вигляді таблиці «ТЗ 1». У цій таблиці записуються кодовані пари відправників і одержувачів вантажу, які з двох літер із числовими індексами (одна з літер вказує на відправника, інша на одержувача, індекси - їх порядкові номери). Поруч із парою вказується кількість вантажу, яку необхідно перевезти у напрямку «відправник – одержувач». На основі плану вантажопотоку будь-який з відомих способів вирішення транспортної задачі дає оптимальний план повернення рухомого складу, який оформляється у вигляді таблиці ТЗ 2 [63]. Побудова маршрутів здійснюється поетапно. На першому етапі вибирають пари літер з ТЗ 1 і додають до них пари літер з ТЗ 2, причому перша літера в парі з ТЗ 2 повинна бути другою літерою пари з ТЗ 1. Якщо комбінація, що вийшла, з двох пар букв не закінчується тією буквою, з якої вона почалася, то маршрут відкривається і його побудова триває. На наступних етапах до таких незамкнених маршрутів додаються комбінації з чотирьох букв, отриманих на першому етапі, і так доти, доки не буде отримано закритий маршрут. Обсяг перевезень закритими маршрутами визначається найменшою кількістю вантажів, врахованих разом із парами [63].

Комбінований матричний метод передбачає об'єднання таблиць зведеного плану вантажопотоків та плану повернення порожнього рухомого складу. Деякі осередки отриманої комбінованої матриці будуть містити два записи - один запис характеризуватиме обсяг перевезення, а інший - провізну здатність при поверненні порожнього рухомого складу. Найменше число вкаже на обсяг перевезень сформованим маятниковим маршрутом [62, 63]. Після виявлення всіх маятникових маршрутів у комірках матриці залишиться лише один запис, який вказуватиме або обсяг перевезення, або вантажопідйомність при поверненні порожнього рухомого складу. Після цього, починаючи з комірки з обсягом перевезення, контур будується таким чином, щоб комірки з об'ємом перевезення та вантажопідйомністю чергувалися при поверненні порожнього рухомого складу. Такі контури будуть відображати раціональні кругові маршрути, обсяг перевезень якими визначатиметься найменшим числом, розташованим у будь-якому куті контуру [62, 63].

Метою використання обох методів є збільшення коефіцієнта використання пробігу рухомого складу. При перевезенні дрібних партій розміри партій не перевищують місткості автомобіля та завантажуються до нього для перевезення кільком одержувачам. Таким чином, збільшується використання місткості рухомого складу та усувається необхідність виділення окремого вагона для кожного одержувача [62]. Найбільш поширеними методами маршрутизації для перевезення невеликих вантажів є метод Кларка-Райта, метод найкоротшої з'єднувальної мережі та метод «суми» [42, 60, 62].

Метод Кларка-Райту ґрунтується на концепції збільшення пробігу за рахунок об'єднання двох маятникових маршрутів в один маршрут доставки. Сума виграшу розраховується як

$$B_{ij} = l_{0i} + l_{j0} - l_{ij}, \quad (1.1)$$

де B_{ij} – виграш у кілометражі від об'єднання точок i та j у маршрут доставки, ідентичний суміщенню двох маятникових маршрутів до цих пунктів, км;

l_{0i} – відстань від пункту відправлення вантажу до пункту i , км;

l_{j0} – відстань від j -го пункту до пункту відправлення вантажу, км;

l_{ij} – відстань між точками i і j , км [42].

Виграш за кілометр від суміщення двох маятникових маршрутів відбувається за рахунок відсутності необхідності повернення автомобіля з i -го пункту в пункт відправлення вантажу та подачі автомобіля по маятниковому маршруту в j -й пункт. Для об'єднання необхідно вибирати маршрути з найбільшим прибутком. Вирішення завдання маршрутизації вважається завершеним, коли подальше об'єднання маршрутів стає неможливим через відсутність позитивних значень виграшів або коли додавання нової точки входу на певний маршрут призводить до того, що сумарна потреба у вантажі в пунктах в'їзду на цей маршрут перевищує завантаження автомобіля [42].

Метод найкоротшої з'єднувальної мережі передбачає побудову такої транспортної мережі, яка пов'язує учасників транспортного процесу та має найменшу протяжність. Маршрути доставки, отримані за допомогою цього методу, не завжди будуть оптимальними, але часто досить близькі до них. Існує наступний алгоритм визначення найкоротшої сполучної мережі. На першому етапі розраховуються найкоротші відстані між учасниками транспортного процесу будь-яким із відомих способів (виходить матриця найкоротших відстаней). Далі з'єднайте дві точки, що знаходяться на найменшій відстані одна від одної. На кожному наступному етапі до отриманої мережі додається ланка найменшої довжини таким чином, щоб не утворювався замкнутий ланцюг. В результаті найкоротша сполучна мережа з'єднує q точок і має $(q - 1)$ ланок. Побудова маршрутів за цим методом починають із точки, найбільш віддаленої від постачальника вантажу. Така кількість

пунктів об'єднується в один маршрут, щоб потреба у вантажі в них не перевищувала місткості автомобіля [62].

Метод «суми» вимагає наявності вихідних даних матриці найкоротших відстаней між учасниками транспортного процесу. У цю матрицю додається зведений рядок, який слід вписати суму по кожному стовпцю матриці. Потім виберіть у підсумковому рядку три точки, що відповідають найбільшим значенням суми, та об'єднайте їх у маршрут. Далі потрібно додати до отриманого маршруту у фінальному рядку пункт із наступною за величиною сумою. Щоб визначити, між якими пунктами його додавати, шукається можливе збільшення довжини маршруту за формулою

$$\Delta l_{ij} = l_{ik} + l_{kj} - l_{ij}, \quad (1.2)$$

де i, j – точки, між якими до маршруту може бути додана нова k -та точка;

l_{ik}, l_{kj}, l_{ij} – відстані між відповідними точками, км.

Мінімальне значення Δl_{ij} визначає місце додавання нової точки до маршруту [60].

Точні маршрутні методи перевезення дрібних вантажів знайшли широкого застосування, оскільки вимагають досить громіздких розрахунків навіть за невеликому розмірі завдання [60, 63, 66].

Для більшості методів маршрутизації часткових вантажів цільовою функцією є мінімізація сумарного пробігу всіх автомобілів, що використовуються для перевезення маршрутами, що розробляються. Замість пробігу можуть використовуватись інші характеристики зв'язку між пунктами прибуття, такі як час, тариф або вартість перевезення тощо.

Розглянуті вище способи застосовуються у переважній більшості випадків організації міських вантажоперевезень, рідше для міжміських перевезень. Їхнє практичне застосування у сфері міжнародних перевезень не знайшли [60, 62-66].

Моделей, які можуть бути безпосередньо застосовані з метою організації руху автомобілів при міжнародних перевезеннях, розроблено чимало і вони зводяться до оцінки небагатьох варіантів шляху руху автомобіля до пункту призначення за критерієм вартості. чи відстань транспортування. Серед них на увагу заслуговують мережеві моделі та моделі доставки товарів «точно в строк» (Just In Time — JIT) [67, 68].

Завдання, які вирішуються за допомогою мережевих моделей, зводяться до побудови раціонального плану виконання комплексу взаємозумовлених робіт. Вихідними даними для мережного планування є фактичний перелік елементарних робіт та час їх виконання [67, 68]. В результаті можна отримати мережевий графік, що відображає структуру комплексу робіт, необхідних для виконання міжнародного перевезення, із зазначенням часу та послідовності їх виконання [67, 68].

Серед моделей доставки вантажів JIT можна виділити три основні відмінності між якими полягають у способі обліку особливостей міжнародних перевезень. Перша модель була розроблена як спроба врахувати труднощі міжнародного перевезення через випадковий характер її тимчасових характеристик [67]. Відповідно до цієї моделі загальний час перевезення оцінюється за формулою

$$\bar{T}_{nep} = \sum_{i=1}^{n-1} \bar{t}_{i-(i+1)} + \sum_{j=1}^m \bar{d}_j + \sum_{k=1}^z \bar{h}_k, \quad (1.3)$$

де $\bar{t}_{i-(i+1)}$ – час руху між пунктами i та $(i + 1)$, $(i = 1, \dots, n)$;

$\bar{d}_j$ – час митного оформлення вантажу в пункті j ($j = 1, \dots, m$);

$\bar{h}_k$ – час навантаження-розвантаження вантажів у пункті k ($k = 1, \dots, z$).

Крім того, передбачається, що всі компоненти даної формули є випадковими, і необхідно оцінити довірчі межі часу виконання перевезення. В результаті термін поставки JIT вважається його верхньою межею, яка розраховується за формулою

$$T_{\text{ЛТ}} = T_{\text{поч}} + \bar{T}_{\text{пер}} + t_{\beta} \cdot \sigma_T, \quad (1.4)$$

де $T_{\text{поч}}$ – час початку міжнародного перевезення, ч: хв;

t_{β} – квантиль нормального розподілу, що відповідає необхідної ймовірності β транспортування ЛТ;

σ_T – Стандартне відхилення часу доставки, годинника.

Календарну тривалість польоту для планування міжнародних перевезень пропонується розраховувати як

$$D_p = \frac{\bar{T}_{\text{пер}} + t_{\beta} \cdot \sigma_T}{T_n}, \quad \sigma_T = \sqrt{\sum_{q=1}^{n+m+z} \sigma_o^2 + 2 \cdot \sum_{o < s} (r_{os} \cdot \sigma_o \cdot \sigma_s)}, \quad (1.5)$$

де T_n – час перебування в уніформі водія, який виконує міжнародні перевезення (визначається формою організації його роботи), год;

σ_o , σ_s – стандартне відхилення часу виконання о-го та s-го елементів процесу доставки, год;

r_{os} – коефіцієнт кореляції між о-м та s-м елементами процесу доставки.

Для більш повного врахування специфіки міжнародних перевезень у формулу можуть бути додані інші складові та обмеження, що відображають додаткові витрати, пов'язані з проведенням ремонтних робіт, з обмеженнями Європейської угоди про роботу екіпажів транспортних засобів. транспортні засоби, що виконують міжнародні автомобільні перевезення (ЄУТР), із заборонами на рух великовантажних автомобілів та ін. [67].

Друга модель доставки вантажів ЛТ, яка називається аналітичною, також заснована на випадковості тимчасових складових процесу перевезення [67, 69]. При цьому вважається, що кожна складова логістичного циклу доставки вантажів має

свої імовірнісні характеристики, а їхня сума має нормальний розподіл. Згідно з цією моделлю ймовірність доставки вантажу ЛІТ визначається залежно від формулювання вимоги доставки. У разі коли час доставки вантажу чітко заданий (як момент часу або точка на осі часу), ймовірність доставки вантажу в строк визначається як

$$p\{T_{ЛІТ}\} = \Phi\left(\frac{T_{ЛІТ} - \bar{T}_{пер}}{\sigma_T}\right), \quad (1.6)$$

де $\Phi(\dots)$ – таблична функція стандартного нормального розподілу.

При заданні терміну доставки вантажу через певний інтервал його можливих значень вказана ймовірність оцінюється як

$$p\{\beta < T_{ЛІТ} < \vartheta\} = \Phi\left(\frac{\vartheta - \bar{T}_{пер}}{\sigma_T}\right) - \Phi\left(\frac{\beta - \bar{T}_{пер}}{\sigma_T}\right), \quad (1.7)$$

де β , ϑ – нижня та верхня межі діапазону очікуваних значень часу доставки ЛІТ [67, 69].

Третя модель ЛІТ, яка називається імітаційна, передбачає моделювання випадкових значень часу окремих операцій із доставки вантажів, навіщо необхідно знати закони розподілу тривалості цих операцій. За результатами імітаційного моделювання визначається закон розподілу отриманої тривалості циклу доставки, що є основою для оцінки ймовірності доставки точно у термін [67].

Перевагою цих моделей є спроба врахувати випадковий характер тривалості процесу міжнародного перевезення, а основними недоліками - використання лише тимчасових параметрів маршруту (або альтернативних маршрутів) та досить спрощений облік їх ймовірнісного характеру через середнє значення та стандартне

відхилення, які не повною мірою відображають закономірності. у зазначених значеннях.

При плануванні маршруту та часу міжнародних перевезень завжди слід враховувати обмеження, що накладаються ЕУТР на час роботи водіїв автомобілів. Відповідно до цієї угоди, до якої Україна приєдналася 7 вересня 2005 р. [70, 71], робочий час водіїв вантажних транспортних засобів повною масою понад 3,5 т регулюється таким чином:

- період керування транспортним засобом не повинен перевищувати 9 годин;
- період управління може бути збільшений двічі протягом будь-якого тижня до 10 годин;
- період водіння не повинен перевищувати 56 годин на тиждень і 90 годин протягом будь-яких двох тижнів;
- після керування транспортним засобом протягом 4,5 години водій повинен зробити перерву не менше 45 хвилин, якщо він не приступає до відпочинку. Цю перерву можна розділити на окремі 15-хвилинні перерви, під час яких водій не повинен виконувати жодної іншої роботи;
- протягом кожних 24 годин водій повинен мати 11 годин безперервного щоденного відпочинку. Цей відпочинок може бути скорочений щонайменше до 9 годин поспіль не більше трьох разів протягом будь-якого одного тижня з обов'язковою компенсацією до кінця наступного тижня. У дні, коли тривалість відпочинку не скорочується, його можна поділити на два-три періоди протягом доби, один з яких має бути не менше ніж 8 годин поспіль. У цьому випадку тривалість відпочинку зростає до дванадцятої години;
- якщо транспортним засобом керують два водії, кожен з них повинен мати період відпочинку не менше 8 годин поспіль протягом кожних 30 годин керування;
- щотижневий відпочинок водія має становити 45 годин поспіль. Він може бути скорочений мінімум до 36 годин поспіль у місці реєстрації транспортного засобу або до мінімуму 24 години поспіль у будь-якому іншому місці. Будь-яке скорочення

тривалості відпочинку має бути компенсовано до кінця третього тижня, наступного за вказаним тижнем;

- будь-який відпочинок, що використовується як компенсація за скорочення щоденного або щотижневого відпочинку, повинен поєднуватися з іншим періодом відпочинку тривалістю не менше 8 годин;

- денний відпочинок можна використовувати на транспортному засобі, якщо воно має спальне місце та знаходиться на стоянці [70, 71].

В результаті аналізу методів вибору маршруту можна зробити висновок, що вони засновані на використанні як критерій вибору тільки дальності перевезення (вираженої у вигляді відстані або часу) та враховують лише випадковий характер елементів транспортного процесу у спрощеному вигляді при здійсненні поставок у міжнародному сполученні. Результатом спроб врахувати зазначену випадковість стала невелика кількість моделей, які, відповідно, мають спрощений характер, оскільки обмежені використанням лише стандартного відхилення тимчасових складових перевезення та припущенням нормальний їх розподіл.

Крім того, слід додати, що відомі моделі вибору маршруту не дають пряму оцінку того чи іншого маршруту перевезення з точки зору основної мети діяльності АТП. У зв'язку з цим виникає питання про аналіз інших критеріїв ефективності перевізного процесу та вибір напрямку перевезення, використання якого дозволило б підвищити рентабельність перевезення.

1.3 Особливості розв'язання задач організації вантажних перевезень на транспортних мережах

Завдання транспортного типу поширені практично. Крім того, до них зводяться багато інших завдань лінійного програмування - задачі про призначення, мережні завдання, задачі календарного планування. Транспортна задача як одне із завдань лінійного програмування в принципі може бути вирішена універсальним методом вирішення будь-якої задачі лінійного програмування, наприклад симплекс-методом, але цей метод не враховує специфіки умов транспортної проблеми.

У класичній постановці транспортного завдання, запропонованого Хічкоком [32, 72], забезпечується лише пряме транспортування з m пунктів A_i ($i = \overline{1, m}$) виробництва (або попереднього складування) товарів до n споживачам B_j ($j = \overline{1, n}$), які замовили ці товари. Більшість публікацій не розглядається ситуація, коли деякі пункти подачі ($ПП_i$) чи пункти споживання ($ПС_j$) товарів є проміжними, тобто у яких вантаж або взагалі не вивантажується, або вивантажується лише частково [73, 74]. У цьому випадку ми маємо не один, а чотири види зв'язку між $ПП$ та $ПС$ (рис. 1.3):

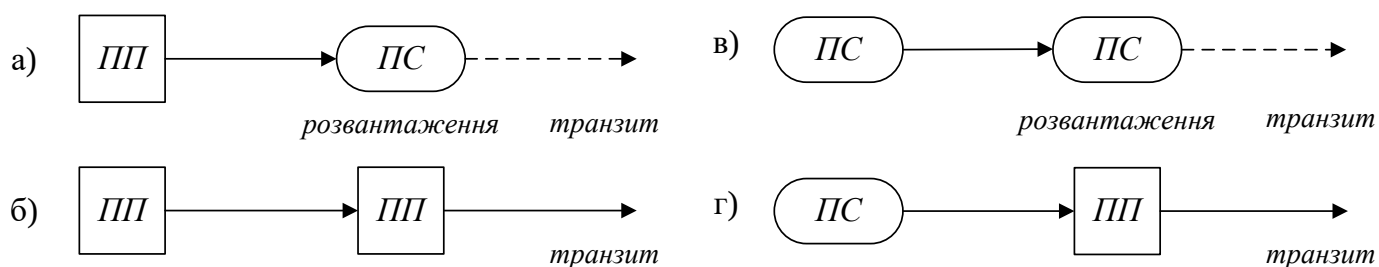


Рисунок 1.3 – Види зв'язку між пунктами постачання і пунктами споживання

При цьому з'єднання типу а) і в) допускають або часткове вивантаження товару і можливе транспортування товару, що залишився, в прилеглі пункти транспортної мережі (ця обставина виділено пунктирною лінією зв'язку), або повне вивантаження всього виробу, і з'єднання типу б) і г), призначені тільки для транспортування всього виробу через пункт. Якщо в проміжному пункті немає запасів вантажів, що перевозяться, і в ньому немає необхідності, тобто це суто транзитний пункт (ПТ), то до нього додаються ще п'ять видів сполук з аналогічним трактуванням їх призначення. існуючі чотири типи з'єднань (рис. 1.4):

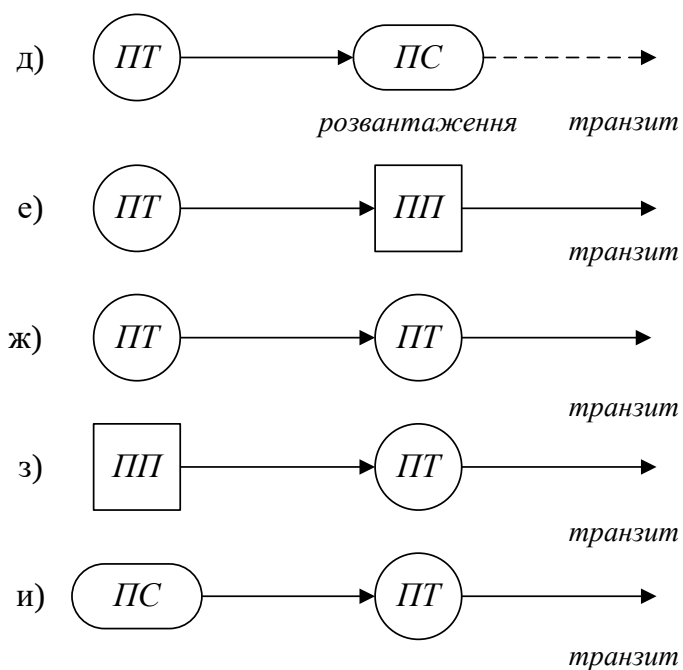


Рисунок 1.4 – Види зв'язку між пунктами постачання і пунктами споживання

Зазначимо, що перевезення може здійснюватися через кілька проміжних пунктів, у своїй використовується кожен із перелічених видів зв'язку, що дозволяє створювати складні транспортні комунікації. ТЗ у цій інтерпретації відносяться до класу мережових ТЗ [75, 76]. Адже передбачається, що перевезення між будь-якими двома пунктами завжди є «найдешевшим» за різними маршрутними показниками, а показником «дешевизни» може бути час, відстань чи транспортні витрати. Але, на жаль, існуючі методи вирішення мережових ТЗ [74, 77], по-перше, мають недостатнє алгоритмічне забезпечення, що ускладнює пошук оптимального транспортного плану мережі; по-друге, їхнє застосування обмежується лише невеликими мережевими завданнями. Крім того, існуючі методи вирішення подібних завдань не дозволяють автоматизувати процес їх вирішення засобами інформаційних технологій.

Вперше А. Орден [35, 78] запропонував узагальнену транспортну модель, у якій допускається перевезення через проміжні пункти. У цій моделі для кожної точки створюється рівняння матеріального балансу, яке виражає, що обсяг вантажу, що вивозиться за вирахуванням кількості ввезеного вантажу дорівнює чистому обсягу

виробленого в цій точці вантажу (якщо різниця позитивна) або чистому обсягу спожитого в ньому вантажу (якщо різниця негативна).

Перейдемо до розгляду узагальненої транспортної моделі, де допускається перевезення вантажів через проміжні пункти. По кожному пункту отримаємо рівняння матеріального балансу такого виду:

Загальний обсяг перевезення = імпорт + виробництво = експорт + споживання, або у вигляді рівняння:

$$\sum_{i \neq j} x_{ij} + a_j^* = \sum_{i \neq j} x_{ji} + b_j^* = x_{jj}^*, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n), \quad (1.8)$$

де n – сумарна кількість пунктів виробництва і споживання вантажу;

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

x_{ji} – загальний обсяг перевезення вантажу з j в i для $i \neq j$;

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

a_j^* – виробництво вантажу в пункті j ;

b_j^* – споживання вантажу в пункті j .

Якщо з моделі виключити місцеве виробництво для внутрішнього споживання, так що a_j^* , або b_j^* звертається в нуль, то ми будемо використовувати символи a_j і b_j без зірочок. У загальному випадку чиста продукція a_j та споживання b_j виражаються через a_j^* і b_j^* наступним чином:

$$\begin{aligned} a_j &= a_j^* - \min(a_j^*, b_j^*), \\ b_j &= b_j^* - \min(a_j^*, b_j^*) \end{aligned} \quad (1.9)$$

Назвемо a_j і b_j чистими обсягами виробництва та споживання.

Завдання перевезення з проміжними точками полягає у знаходженні $x_{ij} \geq 0$ і $\min z$, що задовольняють рівняння (1.8) та цільове рівняння

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} = z, \quad (1.10)$$

де c_{ij} – час, відстань або затрати на перевезення вантажу з пункту i в пункт j .

Після прирівнювання виразів для сумарного обсягу поставок, приведеного в (1.8), ми одержимо повну модель перевезень із проміжними пунктами для n пунктів.

Матриця коефіцієнтів цього завдання наочно виписана у табл. 2.3. За винятком фактора вартості, кожен стовпець містить лише два ненульові коефіцієнти $+1$ і -1 ; у випадку, якщо врахувати надлишок чи недолік, то рядки містять вільні змінні, а відповідні стовпці містять лише один ненульовий коефіцієнт $+1$ чи -1 .

Таблиця 2.3 – Модель із проміжними точками – мережне налаштування ТЗ (матриця коефіцієнтів)

<i>Обсяги перевезень</i>	$x_{12} \ x_{13} \dots x_{1n}$	$x_{21} \ x_{23} \dots x_{2n}$	...	$x_{n1} \ x_{n2} \dots x_{n, n-1}$	<i>Чисте виробництво чи споживання</i>
Пункт 1	1 1 1	-1 1	...	-1 -1	$a_1^* - b_1^*$
Пункт 2	-1	1	...	-1	$a_2^* - b_2^*$
...	...	...	...	...	...
Пункт n	-1 -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 з проміжними точками характеризується цільовою функцією і системою рівнянь з позитивними змінними, кожен стовпець якої містить не більше двох відмінних від нуля коефіцієнтів ($+1$ або -1 або обидва). Стандартна транспортна модель, ймовірно, є окремим випадком цього формулювання.

Матриця в таблиці. 2.3 містить $n (n - 1)$ стовпців, що відповідають кількості стовпців транспортування з кожної точки до будь-якої іншої. Однак якщо всі перевезення з одного пункту в інший здійснюються за допомогою ланцюжка, що складається з ланок між сусідніми пунктами, достатньо розглядати лише мережу, що складається з таких локальних ланок. Усі змінні, пов'язані з транспортом у несуміжні точки, можна ігнорувати.

Розглянемо приклад транспортної мережі, у якій дозволено перевезення через проміжні пункти. Для спрощення розуміння та роботи з ТМ представимо його у вигляді неорієнтованого графа (рис. 1.5), де вершини – вузли мережі, а ребра – відповідні шляхи, а вага ребер – вартість транспортування відповідних доріжок. При цьому необхідно відзначити відсутність «петель», оскільки транспортування від себе до нашого завдання не має сенсу. Тобто ми працюємо із простим чи звичайним графом (simple graph). Він також пов'язаний, оскільки між двома вершинами є шляхи.

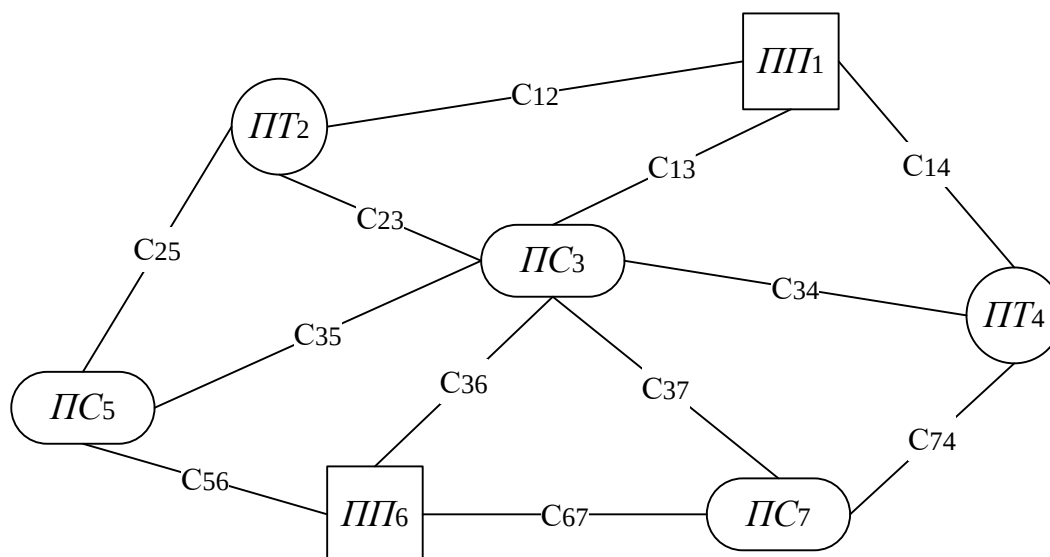


Рисунок 1.5– ТЗ у вигляді графа (мережі)

Способів вирішення ТЗ у візуальному графі достатньо [38, 39, 79, 80], але всі вони вимагають візуального застосування, практично неможливо використовувати для програмної реалізації те, що вони розуміють неявно.

1.4 Постановка задач дослідження по підвищенню ефективності організації вантажних перевезень

Використовуючи системний підхід, визначимо завдання вдосконалення методів організації міжнародних перевезень у транспортних мережах із системною метою якісного та ефективного покращення транспортного процесу [81-86].

Системну мету M_c можна розділити шляхом декомпозиції на локальні цілі M_{ik} , які враховують окремі сторони діяльності.

Звідси завдання дослідження ставляться і вирішуються комплексно з урахуванням функціональних взаємозв'язків за формулою системного аналізу:

$$M_c \rightarrow M_{ik} \{ \overset{\circ}{M}_{ik} : \overset{\circ}{M}_{ik} \in M_{ik}; i=1, 2...I; \kappa=1, 2...K \} \quad (1.11)$$

$$M_{ik} \rightarrow F_{ik} \{ \overset{\circ}{F}_{ik} : \overset{\circ}{F}_{ik} \in F_{ik}; i=1, 2...I; \kappa=1, 2...K \} \quad (1.12)$$

$$F_{ik} \rightarrow Z_{ik} \{ \overset{\circ}{Z}_{ik} : \overset{\circ}{Z}_{ik} \in Z_{ik}; i=1, 2...I; \kappa=1, 2...K \} \quad (1.13)$$

$$Z_{ik} \rightarrow R_{ik} \{ \overset{\circ}{R}_{ik} : \overset{\circ}{R}_{ik} \in R_{ik}; i=1, 2...I; \kappa=1, 2...K \} \quad (1.14)$$

$$R_{ik} \rightarrow A_{ik} \{ \overset{\circ}{A}_{ik} : \overset{\circ}{A}_{ik} \in A_{ik}; i=1, 2...I; \kappa=1, 2...K \} \quad (1.15)$$

$$A_{ik} \rightarrow \Pi_{ik} \{ \overset{\circ}{\Pi}_{ik} : \overset{\circ}{\Pi}_{ik} \in \Pi_{ik}; i=1, 2...I; \kappa=1, 2...K \} \quad (1.16)$$

$$\Pi_{ik} \rightarrow S_{ik} \{ \overset{\circ}{S}_{ik} : \overset{\circ}{S}_{ik} \in S_{ik}; i=1, 2...I; \kappa=1, 2...K \} \quad (1.17)$$

$$S_{ik} \rightarrow P_{ik} \{ \overset{\circ}{P}_{ik} : \overset{\circ}{P}_{ik} \in P_{ik}; i=1, 2...I; \kappa=1, 2...K \} \quad (1.18)$$

де M_c , M_{ik} – відповідно системна та локальна мета забезпечення ефективності покращення (k – кількість відповідних компонентів);

F_{ik} – набір функцій, які мають бути реалізовані на i -му інтервалі часу;

Z_{ik} – комплекс завдань для забезпечення необхідного рівня ефективності покращення;

R_{ik} – набір методів вирішення завдань;

A_{ik} – набір алгоритмів для вирішення завдань;

Π_{ik} – програмно-методичні засоби вирішення завдань;

S_k – системи (підсистеми), що реалізують набір завдань у заданому інтервалі часу;

P_{ik} – результати розв'язання комплексу завдань у заданий період часу.

Основні завдання досягнення поставленої мети можна класифікувати так:

1. Науково-методичні завдання.

2. Завдання, пов'язані з підвищенням ефективності організації вантажних перевезень, визначення їхнього поточного стану, перспектив розвитку та можливостей удосконалення.

3. Завдання, пов'язані з реалізацією заходів щодо покращення функціонування об'єкта дослідження.

На підставі (1.11–1.18) та представленої класифікації визначається структура взаємозв'язку та зміст основних завдань (рис. 1.6).

1.5 Висновки по розділу 1

На основі аналізу підходів до організації вантажоперевезень у міжнародному сполученні було отримано такі результати:

1. В Україні автомобільні перевезення є найбільш динамічним сегментом ринку міжнародних вантажних перевезень, який за обсягом експорту та імпорту займає його значну частину, а саме 7,6%. Міжнародні вантажоперевезення є найбільш складними з точки зору організації, оскільки порівняно з міськими або міжміськими перевезеннями мають як мінімум більшу кількість елементів перевізного процесу. Місцями їх організація потребує застосування великої кількості методів дослідження, призначених для вирішення різних завдань планування перевезень та транспортного обслуговування.

2. Якісне планування вантажоперевезень є гарантією отримання перевізником прибутку та забезпечення виконання ним своїх договірних зобов'язань перед

іншими учасниками перевізного процесу - відправниками вантажу, вантажоодержувачами, експедиторами тощо. певного ступеня випадковості, планування маршрутів перевезень та організація роботи на них транспортних засобів повинні сприяти зменшенню невизначеності в елементах доставки вантажів.

3. Можна виділити два класи маршрутних завдань – для випадку масових вантажоперевезень та для випадку дрібнопартійних вантажоперевезень. При маршрутизації перевезення сипких вантажів поставлено завдання перевезення відправлень автомобільним транспортом, коли на адресу окремих одержувачів відправляються окремі повністю завантажені автомобілі. Найбільш поширеними методами вирішення цього завдання є метод таблиць зв'язку та комбінований матричний метод. При перевезенні дрібних партій розміри партій не перевищують місткості автомобіля та завантажуються до нього для перевезення кільком одержувачам. Таким чином, збільшується використання місткості рухомого складу та усувається необхідність виділення окремого вагона для кожного одержувача. Найбільш поширеними методами маршрутизації при перевезенні дрібних вантажів є метод Кларка-Райта, метод найкоротшої з'єднувальної мережі та метод «суми».

4. За результатами прогнозування на 2022-2024 роки обсяг автомобільних перевезень становитиме: 2022 рік – 9584,5 тис. тонн, 2023 рік – 9869,0 тис. тонн, 2024 рік – 10111,0 тис. тонн. за прогнозами обсяг перевезень автомобільним транспортом почне стабілізуватися та зростатиме до 2024 р.

5. Виявлено особливості вирішення проблем організації вантажоперевезень транспортними мережами. Встановлено, що оптимальна організація вантажоперевезень є одним із основних засобів забезпечення оперативності та якості їхнього руху від постачальника до споживача. У розділі представлена узагальнена транспортна модель, запропонована А. Орденюком, у якій дозволено перевезення через проміжні пункти. У цій моделі для кожної точки створюється рівняння матеріального балансу, що виражає, що обсяг вантажу, що вивозиться за

вирахуванням кількості ввезеного вантажу дорівнює чистому обсягу вантажу, виробленого в цій точці (якщо різниця позитивна), або чистий обсяг спожитого в ньому вантажу (якщо різниця негативна).

6. Проведено системну постановку завдань дослідження щодо вдосконалення методів управління перевезеннями у транспортних мережах, які є основою для формування теоретико-методологічних аспектів ефективної роботи транспорту.



Рисунок 1.6 – Структура взаємозв'язку і зміст основних задач по удосконаленню методів організації вантажних перевезень на транспортних мережах

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ

2.1 Математична модель представлення не збалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах

При аналізі існуючих методів розв'язання транспортних завдань передбачалося, що це транспортні завдання збалансовані (закриті), тобто сума запасів, що належать всім постачальникам вантажу, дорівнює сумі потреб всіх замовників цього вантажу [32, 37, 42, 45]. Але практично часто виникають ситуації, у яких відсутня баланс між попитом і пропозицією на вантажоперевезення, тобто або попит перевищує пропозицію, або навпаки пропозиція перевищує попит. У першому випадку ми маємо незбалансоване (відкрите) транспортне завдання з нестачею запасів, а в іншому – незбалансоване або відкрите транспортне завдання з надлишком запасів [87-89].

Збалансована модель ТЗ, яка характеризується виконанням умови

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

де a_i – обсяг вантажу у i -му пункті відправлення A_i ($i = 1, m$);

b_j – обсяг вантажу у j -му пункті призначення B_j ($j = 1, n$).

Якщо умова (2.1) порушується, то говорять про незбалансовану (відкриту) модель ТЗ. Зрозуміло, що змінюється математична постановка завдання. Наприклад, якщо для першого випадку:

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

то ТЗ набирає вигляду:

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

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = a_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, \dots, n, \quad (2.5)$$

де c_{ij} – час, відстань або затрати на перевезення вантажу з пункту i в пункт j .

Аналогічно записується математична модель ТЗ для другого випадку, а саме:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j, \quad j = 1, \dots, n. \quad (2.7)$$

Зрозуміло, що у першому випадку не у всіх пунктах призначення B_j , буде задоволена потреба у продукції. Загальний об'єм незадоволеного попиту дорівнює

$$\Delta b = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i. \quad (2.8)$$

У другому випадку у деяких пунктах виробництва A_i , залишається не реалізована продукція загального обсягу

$$\Delta a = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j. \quad (2.9)$$

Однак у кожному з цих випадків можна побудувати транспортний план, який відповідає мінімальним транспортним витратам. Для цього в першому випадку вводиться фіктивна точка відправлення A_{m+1} з обсягом виробництва

$$a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i \quad (2.10)$$

одиниць продукції, витрати на перевезення з котрого рівні нулю, тобто $c_{m+1,j} = 0$. У другому випадку додається фіктивний споживач B_{n+1} з величиною попиту

$$b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j \quad (2.11)$$

одиниць продукції, витрати на перевезення до якого рівні нулю, тобто $c_{i,n+1} = 0$.

При знаходженні вихідного базового рішення розширеного ТЗ методом мінімального елемента (чи іншим методом, що враховує витрати на транспортування) в першу чергу необхідно виділити осередки для завантаження серед реальних виробників та споживачів, а осередки фіктивного стовпець (рядок) - останній. Це дозволить отримати план ближче до оптимального. Тієї ж мети можна досягти, поставивши $c_{m+1,j} > \max_{i,j} c_{ij}$, $c_{i,n+1} > \max_{i,j} c_{ij}$, відповідно до двох розглянутих випадків.

2.2 Загальні поняття і математичне формулювання задачі організації вантажних перевезень на транспортних мережах

Завдання організації вантажних перевезень можна вирішити як на матриці, а й у схемі дорожній мережі [90]. Методи рішення в обох випадках мають свої переваги та недоліки. Матричний метод досить простий і вимагає великої кількості обчислень. У міру збільшення розміру завдання кількість ітерацій збільшується приблизно лінійно залежно кількості рядків (стовпців). Цей метод слід використовувати в практичних завданнях, тому що простіше встановити часткові заборони на постачання окремим споживачам, а суто однорідних вантажів взагалі немає. Мережевий метод дозволяє враховувати пропускну здатність окремих ділянок мережі, тоді як ТЗ у матричній формі враховує лише пропускну здатність вузлів ТМ.

Упорядкування матриці відповідностей вимагає деякої підготовчої роботи: якщо критерієм оптимальності є мінімізація транспортних робіт, тобто. тонно-кілометрів, необхідно розрахувати відстані від кожної станції навантаження до кожної станції розвантаження по альбому найкоротших відстаней або скористайтесь програмою для пошуку найкоротших шляхів у транспортній мережі. Якщо критерієм оптимальності є вартість перевезення у грошах, то складання матриці відповідностей ускладнюється. Тарифні ставки неможливо знайти використані визначення цих показників. Однак підготовчі роботи окупляться одержаною економією транспортних витрат і, крім того, одного разу зібрану матрицю можна використовувати багаторазово.

Підготовчі роботи на транспортній мережі займають менше часу, якщо навантаження та розвантаження відбувається у вузлах. Тоді для вирішення всіх завдань необхідно один раз скласти модель мережі із зазначенням відстані (довжини кожної ділянки) або вартості перевезення нею. Якщо навантаження і розвантаження планується ще й у проміжних точках, кожна з них також відзначається як вузол. При цьому вузлів у мережі буде стільки, скільки точок, включаючи проміжні. Назвемо вузли вершинами мережі, а ділянки – ланками чи ребрами. Деякі вершини можуть бути пов'язані між собою посиленнями. Мережа, де вирішується ТЗ, може мати вигляд звичайної залізничної мережі, кожна ланка (ділянка) якої маркується своєю довжиною чи вартістю перевезення вантажів. Якщо остання на кожній ланці однакова в обох напрямках, мережа називається симетричною. При визначенні мінімального пробігу вантажу мережа завжди симетрична, тому що відстань від станції A до станції B дорівнює відстані від станції B до станції A . (Чого не можна сказати про авіаперевезення вантажу). Якщо вартість перевезення на кожній ланці мережі різна залежно від напрямку (туди чи назад), вершини A та B поєднуються двома орієнтованими дугами з одностороннім рухом. При цьому кожній дузі надається відповідна вартість перевезення.

Слід розрізняти поняття ланок (ребер) та дуг. Дуга завжди пов'язана з орієнтацією і рух нею можливий тільки в одному напрямку. Надалі, з'єднуючи дві вершини однією лінією, вважатимемо, що вони є двома дугами з одностороннім рухом — це особливо важливо в задачах з обмеженнями пропускної спроможності, де рівні вартості або відстані одного посилення можуть поступово переходити в різні.

Нехай задана транспортна мережа з n вершинами та m дугами. Позначимо безліч постачальників через A , споживачів через B , а багато проміжних вершин через C . Для кожної дуги ij задана вартість перевезення одиниці вантажу c_{ij} і пропускна здатність d_{ij} . Нехай a_i – потужність постачальника $i \in A$, b_j – попит споживача $j \in B$. Потрібно прикріпити споживачів до постачальників за таких умов:

$$\sum_m c_{ij} x_{ij} = \min, \quad (2.12)$$

$$\sum_k x_{ik} - \sum_l x_{li} = a_i \quad (i \in A), \quad (2.13)$$

$$\sum_l x_{lj} - \sum_k x_{jk} = b_j \quad (j \in B), \quad (2.14)$$

$$\sum_k x_{ik} - \sum_l x_{li} = 0 \quad (i \in C), \quad (2.15)$$

$$x_{ij} \leq d_{ij}, \quad (2.16)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad (2.17)$$

$$\sum_{i \in A} a_i = \sum_{j \in B} b_j, \quad (2.18)$$

де x_{ij} – обсяг вантажу, перевезеного по дузі ij ;

k – дути, що виходять із вузла $i(j)$ і входять в вузол k ;

l – дути, що йдуть до вузла $i(j)$ з вузла l .

Найбільш поширені два методи вирішення ТЗ у мережній формі: метод зменшення розбіжностей чи умовно-оптимальних планів О.Л. Лур'є [91]; метод послідовного поліпшення плану Л. В. Канторовича та М. К. Гавуріна [92], який ми розглянемо у поставленому завданні без урахування умови (2.16).

2.3 Організація вантажних перевезень на транспортній мережі одного виду вантажу без обмежень пропускної здатності

На рис. 2.1 зображена симетрична транспортна мережа з 12 вершинами і 18 ланками. На кожній ланці проставлене число, яке характеризує вартість перевезення по ній. У круглих дужках біля кожної вершини зазначено обсяги відправлення ($\square$) і прибуття ($\square$) вантажу (відповідно зі знаком „+” та „–”). У деяких вузлах ($\bigcirc$) (проміжних) навантаження або вивантаження може й не бути.

К р о к 1 – укладання початкового плану, в якому весь вантаж потрібно відправити й усі потреби вершин прибуття задовольнити. Стрілками показаний напрямок вантажопотоків, а числами – їхні обсяги.

Порахуємо вартість реалізації цього плану відповідно до (2.12):

$$Z_0 = 80 \times 250 + 30 \times 170 + 70 \times 110 + 50 \times 40 + 40 \times 100 + 80 \times 100 + 60 \times 75 + \\ + 50 \times 50 + 60 \times 60 + 40 \times 60 + 70 \times 40 = 62600 \text{ одиниць вартості (о.в.).}$$

Дуга	1–5	= 110 – 100 = 10 < 75;
– –	5–6	= 150 – 110 = 40 < 110;
– –	5–8	= 270 – 110 = 160 > 100 (на 60);
– –	5–10	= 190 – 110 = 80 < 120;
– –	6–7	= 330 – 150 = 180 > 70 (на 110);
– –	9–3	= 210 – 180 = 30 < 50;
– –	9–11	= 230 – 180 = 50 < 60.

Невідповідності напишемо навпроти відповідної дуги зі знаком «+». У нашій задачі умову (3.8) порушено на дугах 5–8 (+60) і 6–7 (+110).

К р о к 3 – вибираємо дугу 6–7 з найбільшим порушенням. Величина його позитивна, отже, необхідно направити вантажопотік у напрямку від меншого потенціалу до більшого. Знаходимо замкнутий контур, до якого входять дуги з потоком і обрана дуга з порушенням, причому це можна зробити єдиним способом. У нашому випадку цей єдиний контур складається з дуг 6–7, 8–7, 10–8, 10–11, 11–12, 3–12, 2–3, 1–2, 1–6. Просуваючись контуром від меншого потенціалу дуги з порушенням 6–7 до більшого (у нас проти годинникової стрілки), знаходимо дугу 8–7 з мінімальним зустрічним вантажопотоком 75 одиниць. Додаємо цю величину до всіх попутних потоків і віднімаємо її з усіх зустрічних. Поліпшений план показаний на рис. 2.2, а його реалізація становить:

$$Z_1 = 80 \times 175 + 30 \times 95 + 70 \times 35 + 50 \times 115 + 40 \times 175 + 80 \times 25 + 70 \times 75 + \\ + 50 \times 125 + 60 \times 60 + 40 \times 60 + 70 \times 40 = 54350 \text{ о.в.}$$

Вартість поліпшеного плану можна ще обчислити так: відняти від значення вартості попереднього плану добуток максимальної величини невідповідності умові оптимального плану (2.19) на одній з дуг мережі на величину мінімального зустрічного потоку на одній з дуг побудованого замкнутого контуру, тобто у нашому випадку:

$$Z_1 = Z_0 - 110 \times 75 = 62600 - 8250 = 54350 \text{ о.в.}$$

Кроки 2 і 3 почергово повторюють доти, доки не стане дуг з порушенням умови (2.19). Надалі, на кроці 2 не потрібно знову присвоювати потенціали всім вершинам мережі, а досить виправити їх лише в тих вершин, куди вантажопотік підійшов з іншого напрямку. У нашому випадку це стосується лише вершини 7 (див. рис. 2.2).

Після виправлення плану залишилося порушення на дузі 5–8. Замкнутий контур складається тепер з таких дуг: 5–8, 10–8, 10–11, 11–12, 12–3, 4–3, 5–4.

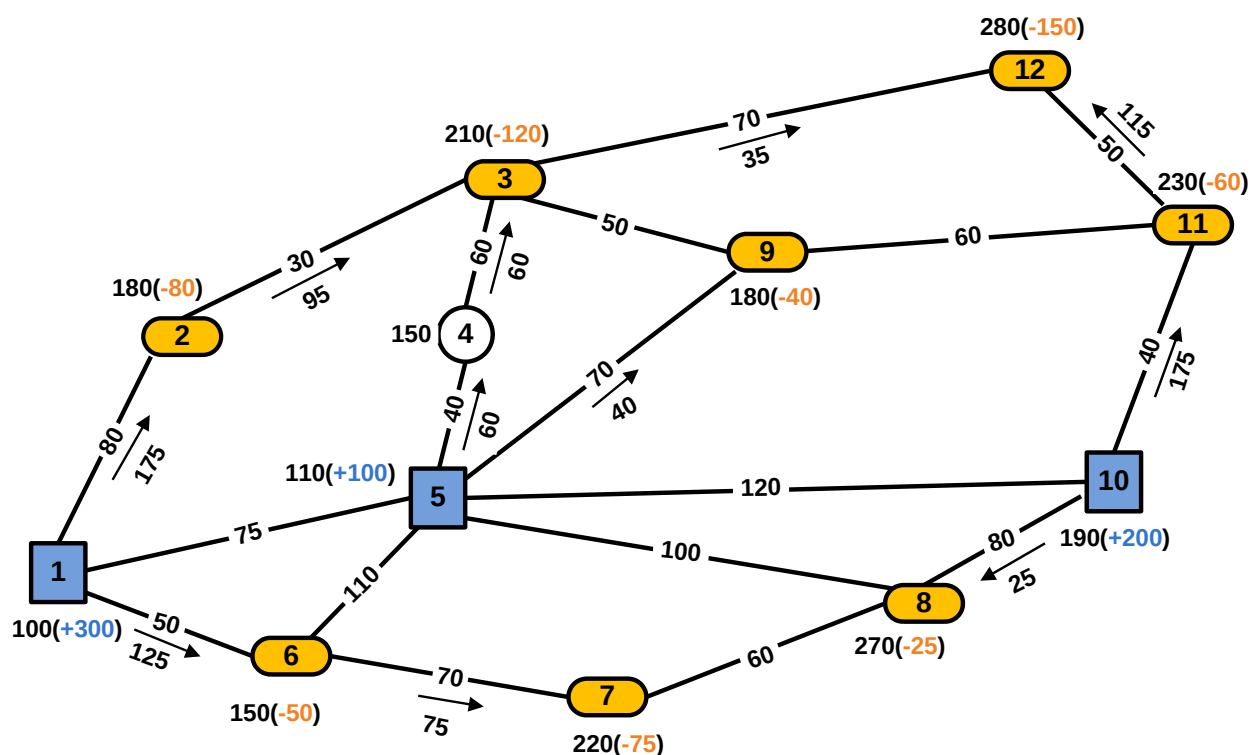


Рисунок 2.2 – ТМ без обмежень пропускної здатності
(поліпшений план перевезень одного вантажу)

Напрямок руху – проти годинникової стрілки. Мінімальний зустрічний потік дорівнює 25 о.в. на дузі 10–8. Новий план показаний на рис. 3.3 є оптимальним, тому що немає на жодній дузі порушень умови (2.19).

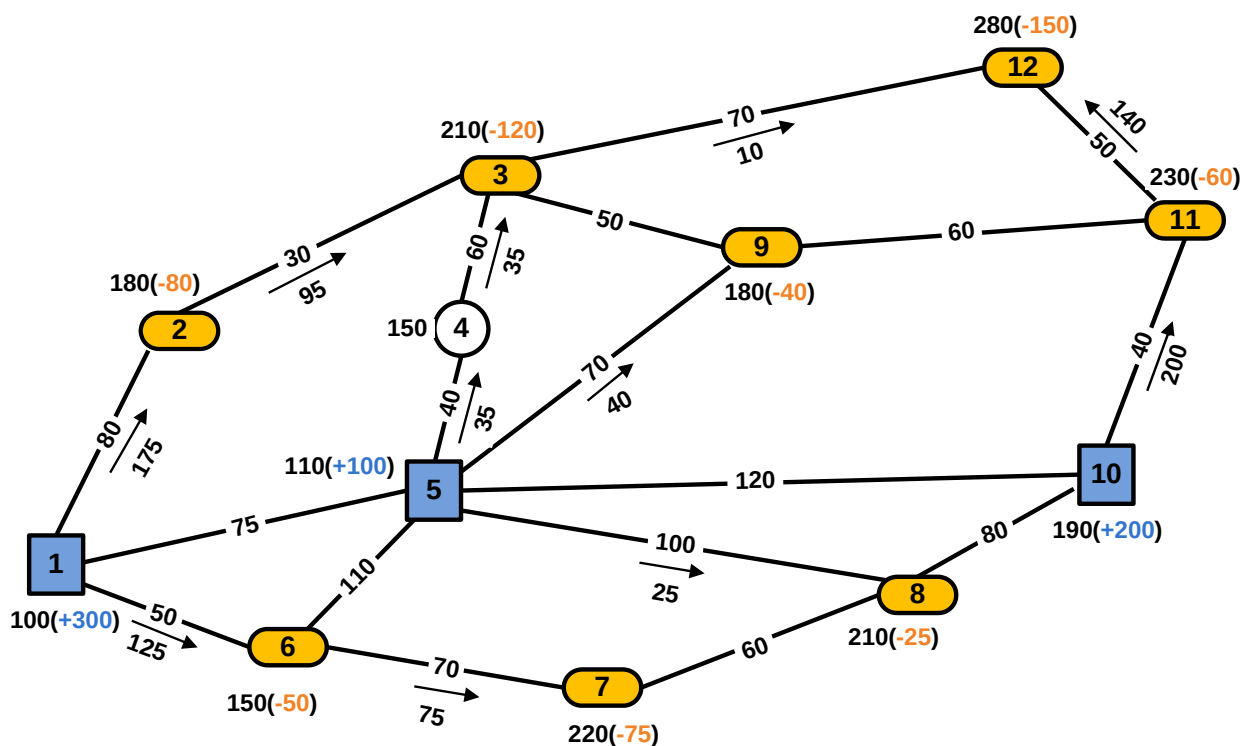


Рисунок 2.3 – ТМ без обмежень пропускної здатності

(оптимальний план перевезень одного вантажу)

Вартість його реалізації становить:

$$Z_2 = Z_1 - 60 \times 25 = 54350 - 1500 = 52850 \text{ о.в.}$$

За дві ітерації отримана економія порівняно з початковим планом в $110 \times 75 + 60 \times 25 = 9750$ о.в. (наприклад, ткм).

Зобразимо на рис. 2.4 тільки дуги, по яких проходять вантажопотоки. У цій частині мережі немає жодного замкнутого контуру і вона називається деревом.

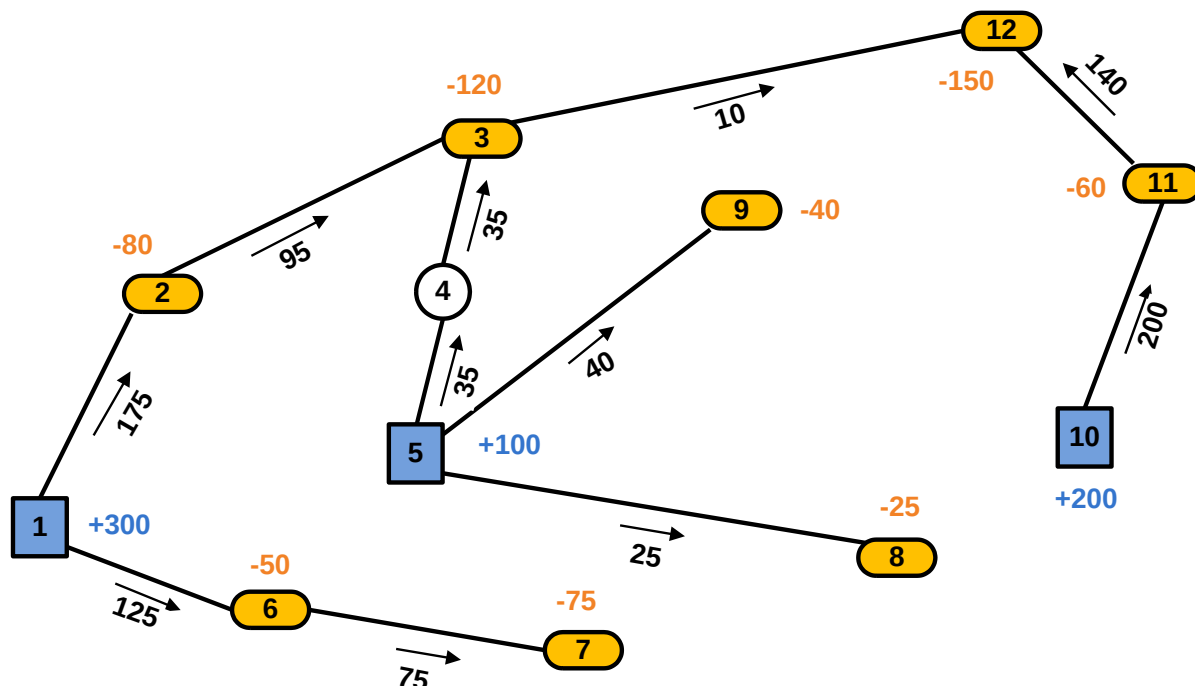


Рисунок 2.4 – Вантажопотоки оптимального плану перевезень

Необхідно навести два важливих правила:

– в оптимальному плані перевезень одного вантажу на мережі без обмежень пропускної здатності завжди утвориться дерево з кількістю ланок $n-1$, де n – число вершин на мережі;

– на мережі, яка є деревом, планувати перевезення досить просто: потрібно дотримуватися тільки однієї умови – не допускати зустрічних перевезень. Тому, розв'язуючи закриті транспортні задачі (тобто, задачі зі збалансованими пропозицією та попитом продукції), частину мережі, яка є деревом, можна замінити крапкою.

Дерево, утворене дугами з вантажопотоком, називатимемо базисом; дуги, з яких воно утворене, – базисними, а інші дуги – небазисними. Правило, аналогічне ТЗ в матричній формі: завжди можна знайти оптимальне рішення, що є базисним. Тому початковий план перевезень також повинен бути базисним і не мати замкнутих контурів.

Випадок виродження. У деяких задачах дуги з вантажопотоками можуть утворити два дерева, не з'єднаних один з одним. Тоді їх об'єднують дугою з нескінченно малим або нульовим потоком, яку додають до базису, і за нею визначають потенціали. Оптимальний план перевезень для такої ситуації показаний на рис. 2.5.

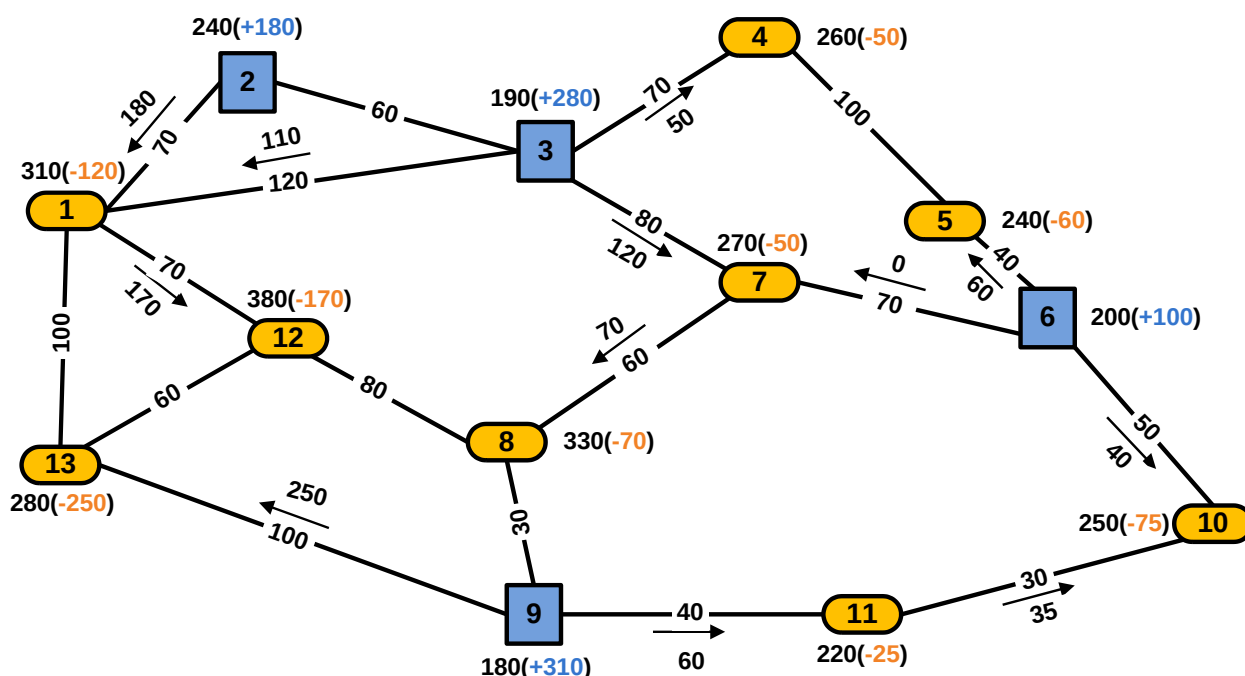


Рисунок 2.5 – Випадок виродження плану перевезень

Вартість його реалізації становить:

$$Z_{\text{opt}} = 70 \times 180 + 120 \times 110 + 70 \times 170 + 70 \times 50 + 80 \times 120 + 60 \times 70 + 40 \times 60 + 50 \times 40 + 30 \times 35 + 40 \times 60 + 100 \times 250 = 87850 \text{ о.в.}$$

Однак перевірити його на оптимальність можна лише присвоївши всім вершинам потенціали. Базисні дуги 6–5, 6–10, 11–10, 9–11, 9–13 утворюють дерево, непов'язане з іншим деревом, складеним також із базисних дуг 2–1, 3–1, 1–12, 3–4,

3–7, 7–8. Щоб об'єднати їх, спрямуємо нульовий потік по дузі 6–7 і почнемо присвоювати потенціали від вершини 6, якій призначимо потенціал 200.

Виявлено два порушення умови оптимальності (2.19) на небазисних дугах 13–12 і 9–8; ми обираємо останнє з максимальним значенням невідповідності (+120, див. рис. 2.5). У цьому випадку потік необхідно спрямувати від вершини 9 до вершини 8. Замкнутий контур укладатиметься, відповідно, з дуг 9–8, 7–8, 6–7, 6–10, 11–10 і 9–11. Мінімальний зустрічний потік дорівнює 0.

Переміщаємо нульовий потік з дуги 6–7 на дугу 9–8 і перераховуємо потенціали, як показано на рис. 2.6. Порушень умови (2.19) на мережі більше немає, отже, запропонований план перевезень оптимальний.

На небазисній дузі 4–5 різниця потенціалів вершин (240–140) дорівнює вартості перевезень на цій дузі (100), отже є ще одне альтернативне рішення зі здійснення перевезень вантажу. Ми знайдемо його, якщо побудуємо замкнутий контур, до якого входить ця небазисна дуга 4–5, а саме: 4–5, 6–5, 6–10, 11–10, 9–11, 9–8, 7–8, 3–7 і 3–4 і зробимо відповідний перерозподіл вантажопотоків (рис. 2.7).

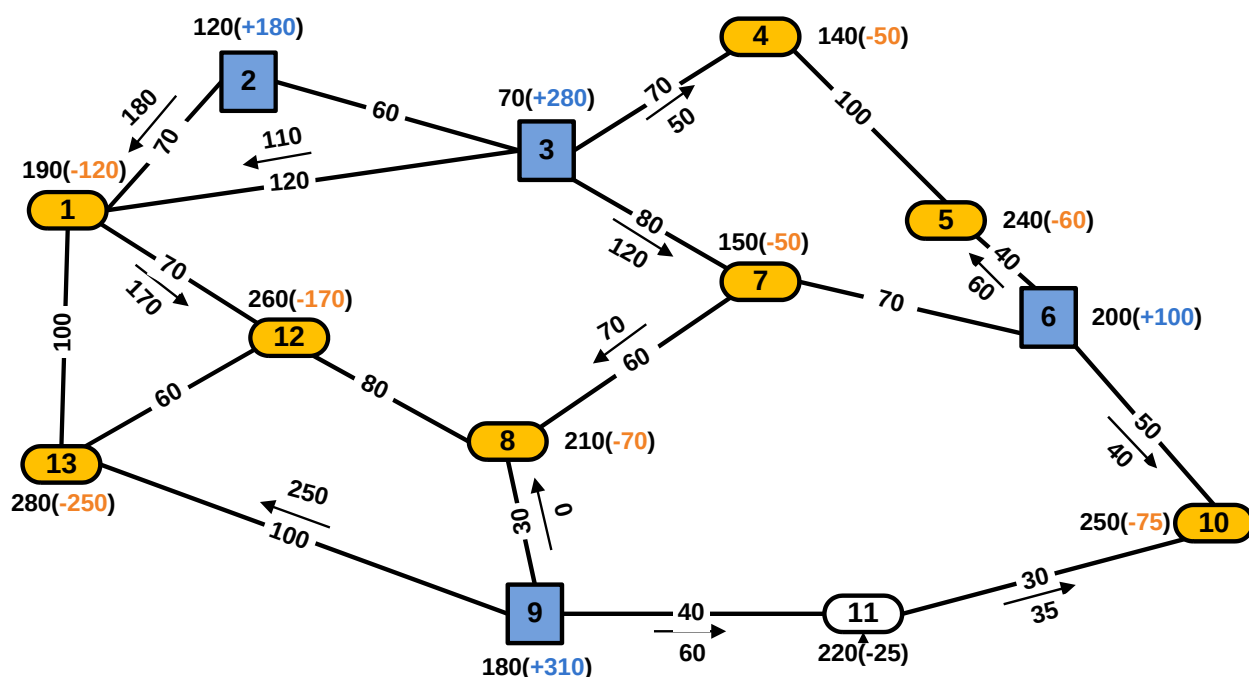


Рисунок 2.6 – Усунення випадку виродження плану перевезень

Вартість його реалізації також становить 87850 о.в.:

$$Z_{\text{opt}} = 70 \times 180 + 120 \times 110 + 70 \times 170 + 70 \times 85 + 80 \times 85 + 100 \times 35 + 40 \times 25 +$$

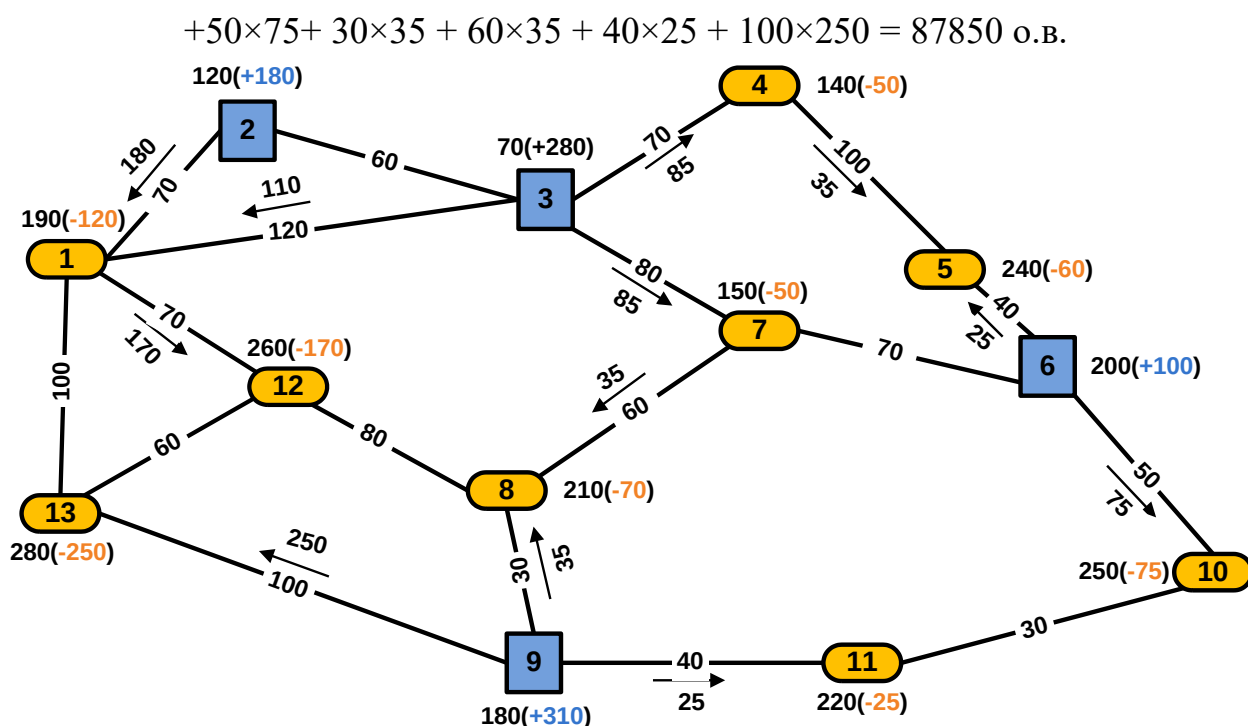


Рисунок 2.7 – Альтернативний оптимальний план перевезень

2.4 Організація вантажних перевезень на транспортній мережі одного виду вантажу з обмеженнями пропускної здатності

На транспортній мережі з обмеженнями пропускної здатності кожній дузі приписується два числа, що позначають вартість перевезення і пропускну здатність цієї дуги. Напишемо їх у вигляді дробу: у чисельнику – вартість перевезення c_{ij} , а в знаменнику – пропускна здатність d_{ij} . У цій задачі з'являється додаткова третя умова оптимальності:

$$v_j - v_i \leq c_{ij}, \quad \text{якщо } x_{ij} = 0; \quad (2.21)$$

$$v_j - v_i = c_{ij}, \quad \text{якщо } 0 < x_{ij} < d_{ij}; \quad (2.22)$$

$$v_j - v_i \geq c_{ij}, \quad \text{якщо } x_{ij} = d_{ij}. \quad (2.23)$$

Умову (3.12) краще переписати так:

$$v_j - v_i = c_{ij} + \delta_{ij}, \quad \text{якщо } x_{ij} = d_{ij}. \quad (2.24)$$

Величина δ_{ij} називається прокатною оцінкою. Її економічний зміст полягає в тому, що вона виражає додаткові витрати на одиницю перевезеного вантажу, який через недолік пропускної здатності іде круговим шляхом. Прокатну оцінку ще

можна інтерпретувати, як можливу економію на одиницю вантажопотоку від підвищення пропускної здатності даної дуги.

Дуги із заповненою пропускною здатністю для стислості назвемо перенасиченими. Кожна з них має свою індивідуальну прокатну оцінку, що може дорівнювати нулю, у тому випадку, якщо пропускна здатність хоча і заповнена повністю, але немає спрямування частини потоку кружним шляхом і ця дуга ввійшла до базису. Вона може також дорівнювати нулю й у випадку альтернативного рішення з однакової мінімальною вартістю перевезень.

На рис. 2.8 показаний наступний приклад: з вершини 1 до вершини 3 необхідно перевезти 30 о.в. Пропускна здатність дуги 1–3 дорівнює 20 одиницям. 10 о.в. направляють кружним шляхом по дугах 1–2 і 2–3. Легко підрахувати при цьому перевитрату на одиницю вантажу $7 + 8 - 10 = 5$. Оскільки, присвоюючи потенціали, ми використовуємо тільки базисні дуги з незаповненою пропускною здатністю, у вершини 3 буде потенціал 15, що автоматично виявляє прокатну оцінку:

$$(v_3 - v_1 = c_{13} + \delta_{13}) \text{ так: } 15 - 0 = 10 + 5.$$

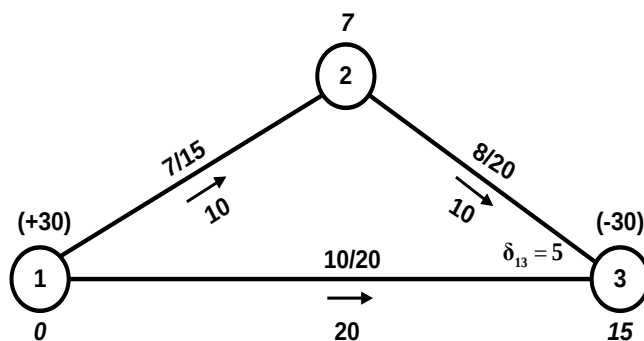


Рисунок 2.8 – Фрагмент ТМ з обмеженнями на пропускну здатність

Оскільки, величина прокатної оцінки характеризує перевитрату коштів на об'їзд, то чим вона вища, тим вище і перевитрата на одиницю потоку. Отже, щоб мінімізувати транспортні витрати, найперше, необхідно підвищувати пропускну здатність на дугах з максимальною прокатною оцінкою.

На рис. 2.9 розглянуто приклад перенасиченої дуги, коли кружного напрямку вантажопотоку немає. Пропускної здатності дуги 1–3 вистачило для проходження потоку з вершини 1 до вершини 3. На рис. 2.9, а) за базис взяті дуги – 1–3

(перенасичена) і дуга 1–2 (з нульовим потоком). Прокатна оцінка першої $\delta_{13} = 0$; потенціал вершини 3 дорівнює 10. Умову оптимальності плану (2.21) на небазисній дузі 2–3 виконано. На рис 2.9, б) за базис взяті дуги 1–2 і 2–3 з нульовими потоками. Прокатна оцінка дуги 1–3 $\delta_{13} = 5$. Умову оптимальності плану (2.21) на небазисній дузі 1–3 також виконано.

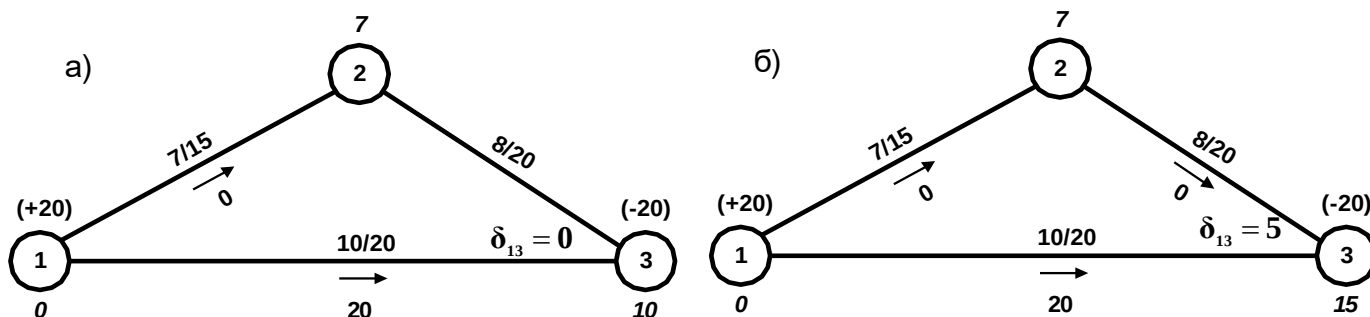


Рисунок 2.9 – Приклад перенасиченої дуги на ТМ

Усі умови оптимальності плану в цій задачі будуть виконані при значеннях

$$0 \leq \delta_{13} \leq 5 \text{ і } 10 \leq v_3 \leq 15.$$

У невивіржених задачах потенціали вершин і прокатні оцінки завжди є одним числом, у вироджених вони можуть характеризуватися числовим відрізком. Простежимо розв'язання задачі на рис. 2.10.

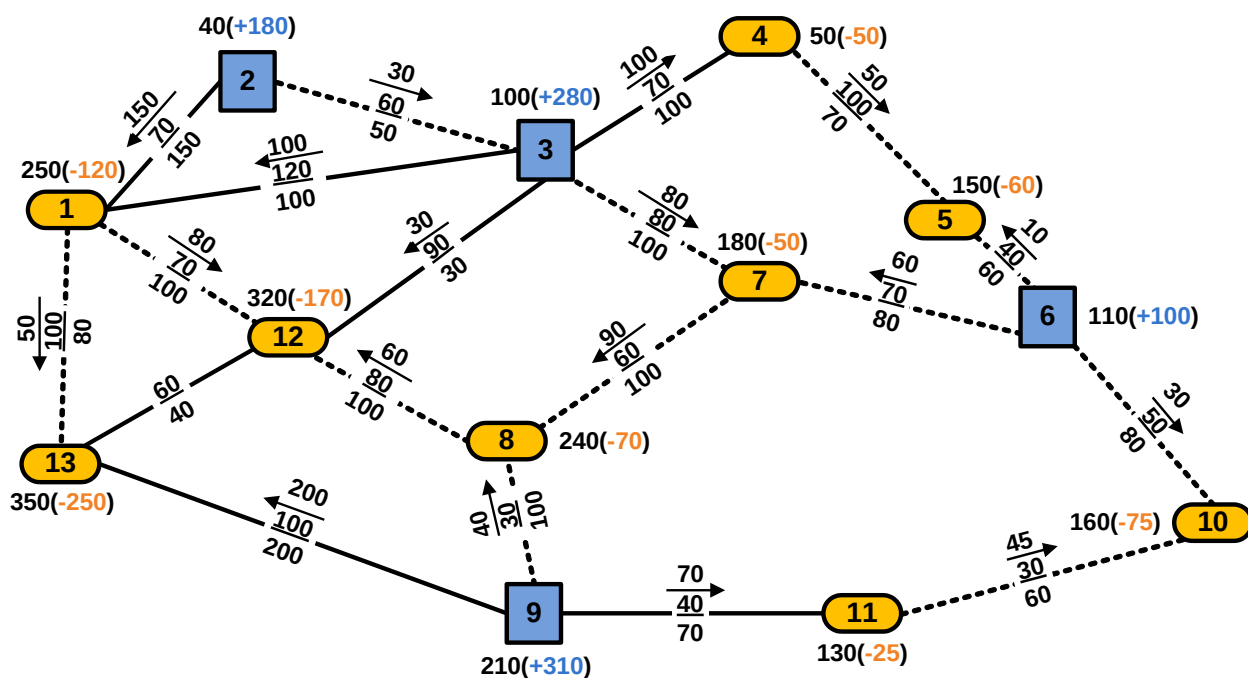


Рисунок 2.10 – ТМ з обмеженнями пропускної здатності (початковий план перевезень одного вантажу)

Тут виконані: крок 1 – побудовано початковий план і крок 2 – привласнено потенціали вершинам мережі по базисним дугам з незаповненою пропускною здатністю (на рисунку базисні дуги виділені пунктиром, а вершині 1 присвоєний початковий потенціал 250), виявлені порушення умови оптимальності (2.23) на небазисних дугах 3–4 і 9–11. Оскільки величина порушення негативна, то потрібно зменшити перевезення. Зазвичай обирають дугу з найбільшою (за модулем) величиною порушення. У нас порушення однакові (–120), отже, можна обрати будь-яку; обираємо дугу 3–4. Замкнутий контур складається з дуг 3–4, 4–5, 6–5, 6–7, і 3–7. Величину поліпшення

$$x_{пол} = \min \left| x_{ij}^{non}, (d_{ij} - x_{ij})^{зус} \right| \quad (2.25)$$

визначають за мінімальним перевезенням на попутних дугах або мінімальною різницею між пропускною здатністю і величиною перевезення на зустрічних дугах побудованого замкнутого контуру. У нашій задачі: $x_{пол} = \min \left| 50, (100 - 80) \right| = 20$.

Зменшуємо на цю величину всі попутні і збільшуємо всі зустрічні перевезення нашого контуру. Виправлений план показаний на рис. 2.11.

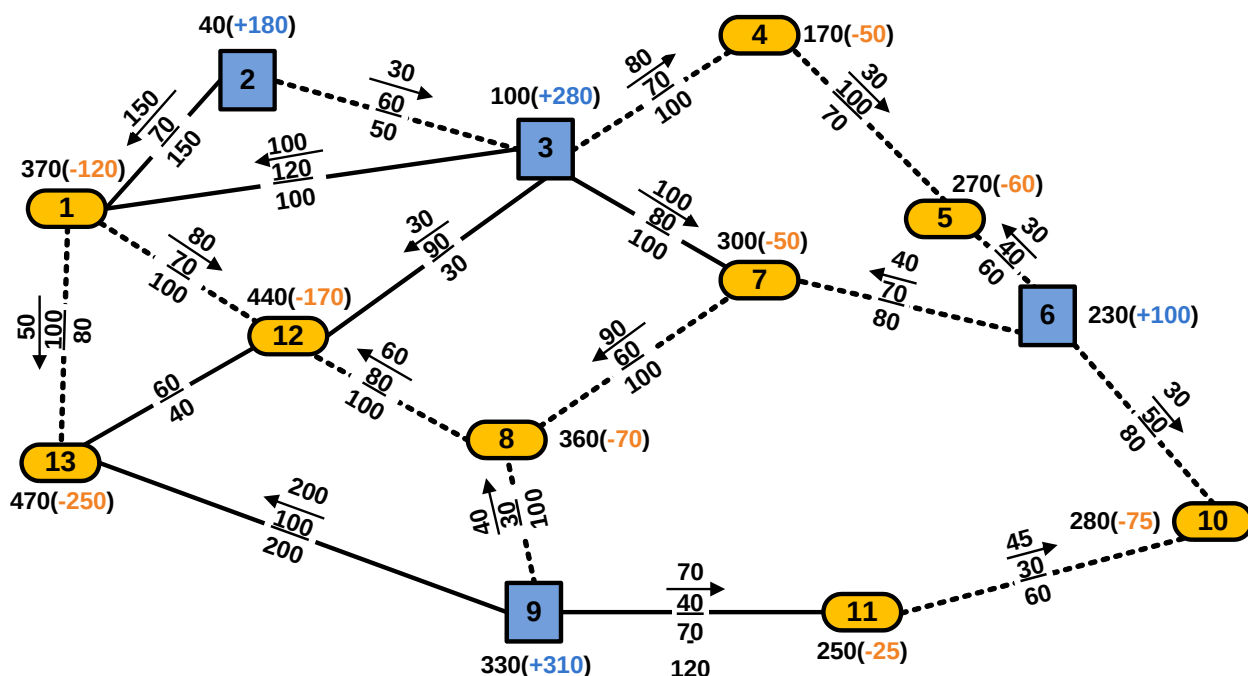


Рисунок 2.11 – ТМ з обмеженнями пропускної здатності (поліпшений план перевезень одного вантажу)

Після коригування потенціалів (за вихідну вершину взято 11 з початковим потенціалом 250) порушення залишилися лише на дузі 9–11.

Будуємо замкнутий контур, що складається з таких дуг: 9–11, 11–10, 6–10, 6–7, 7–8 і 9–8. У цьому випадку $x_{\text{нол}} = \min |40, (80 - 30)| = 40$. Аналогічно до попередніх дій зменшуємо на цю величину всі попутні й збільшуємо всі зустрічні перевезення в цьому контурі. виправлений план показаний на рис. 2.12. (Вершину 11 знову взяли як початкову з потенціалом 250). Поршень умов оптимальності тут немає, тобто отриманий план перевезень є оптимальним.

Вартість реалізації початкового плану перевезень становить:

$$Z_0 = 70 \times 150 + 120 \times 100 + 70 \times 80 + 100 \times 50 + 60 \times 30 + 90 \times 30 + 70 \times 100 + 80 \times 80 + 100 \times 50 + 40 \times 10 + 70 \times 60 + 50 \times 30 + 60 \times 90 + 80 \times 60 + 30 \times 40 + 100 \times 200 + 40 \times 70 + 30 \times 45 = 97650 \text{ о.в.}$$

Поліпшивши план першого разу, ми отримали: $Z_1 = Z_0 + 20 \times (-120) = 97650 - 2400 = 95250$ о.в., другого – $Z_2 = Z_1 + 40 \times (-120) = 95250 - 4800 = 90450$ о.в.

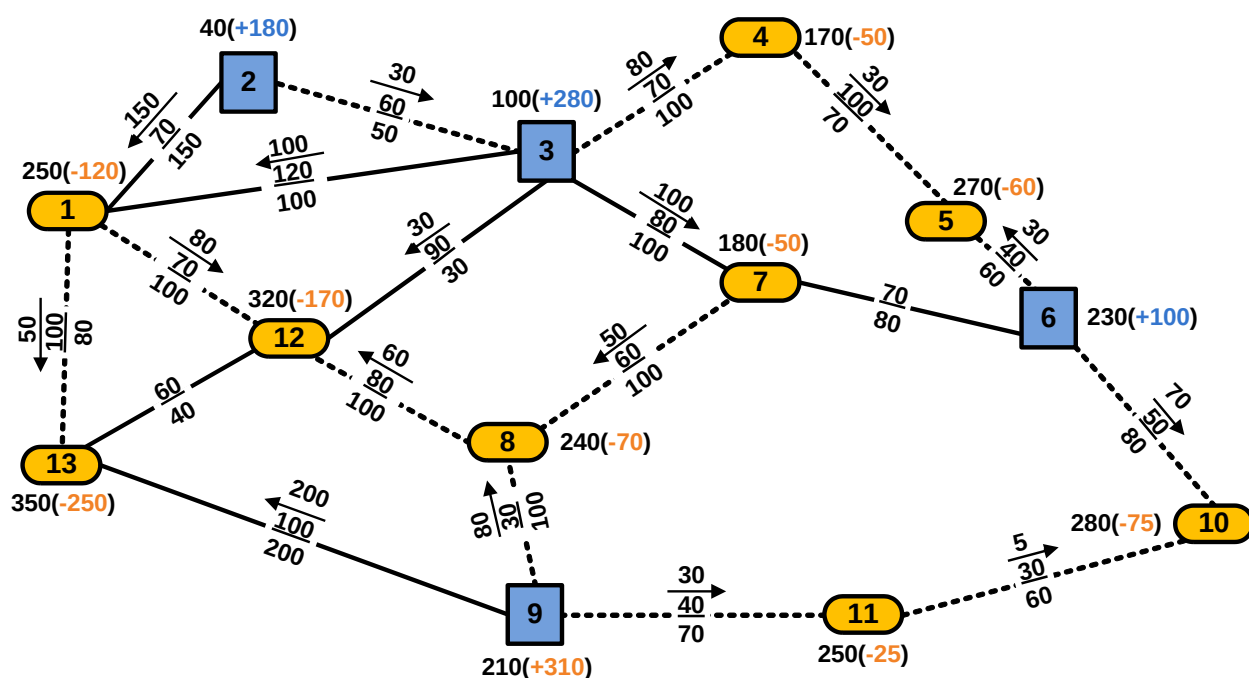


Рисунок 2.12 – ТМ з обмеженнями пропускної здатності (оптимальний план перевезень одного вантажу)

Перенасичені дуги мають такі значення прокатних оцінок:

$$\begin{aligned} \delta_{2,1} &= v_1 - v_2 - c_{2,1} = 250 - 40 - 70 = 140; & \delta_{3,1} &= v_1 - v_3 - c_{3,1} = 250 - 100 - 120 = 30; \\ (2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-10, 10-11, 11-9, 9-8, 8-12, 12-1) & & (3-4, 4-5, 5-6, 6-10, 10-11, 11-9, 9-8, 8-12, 12-1) & \\ \delta_{3,7} &= v_7 - v_3 - c_{3,7} = 180 - 100 - 80 = 0. & \delta_{3,12} &= v_{12} - v_3 - c_{3,12} = 320 - 100 - 90 = 130; \\ (3-4, 4-5, 5-6, 6-10, 10-11, 11-9, 9-8, 8-7) & & (3-4, 4-5, 5-6, 6-10, 10-11, 11-9, 9-8, 8-12) & \\ \delta_{9,13} &= v_{13} - v_9 - c_{9,13} = 350 - 210 - 100 = 40; & & \\ (9-8, 8-12, 12-13) & & & \end{aligned}$$

У базисі немає дуг з нульовим перевезенням і дуга 3-7 з нульовою прокатною оцінкою також не входить до нього. Останнє засвідчує, що існує альтернативне рішення задачі з таким же значенням вартості його реалізації. Недолік пропускної здатності окремих дуг на мережі викликає перевитрату ресурсів, отже збільшувати її необхідно в першу чергу тут.

Алгоритм для розв'язання мережевої ТЗ, де початковий план будується з використанням принципу найкоротшого шляху, розглянутий в [93]. Від пункту споживання з більшим обсягом попиту будується дерево, на окремих дугах якого можуть бути негативні потоки. У процесі розв'язання вони поступово зникають. Після того, як на мережі не залишиться жодної дуги з негативним потоком, задача буде розв'язана оптимально.

Мережева ТЗ служить перш за все для одержання оптимального плану вантажопотоків по дугам мережі. Прикріплення постачальників до споживачів є, так би мовити, додатковою вимогою до мережевої ТЗ після складення оптимального плану вантажних перевезень. У багатьох задачах, особливо тих, де на гілці дерева з потоком в одному напрямку знаходиться декілька постачальників і споживачів, можна отримати безліч оптимальних планів прикріплення постачальників до споживачів.

2.5 Організація вантажних перевезень на транспортній мережі кілька видів вантажів з обмеженнями пропускної здатності

Плануючи перевезення на мережі без обмежень пропускної здатності, як і розв'язуючи всі задачі в матричній формі, фактичну пропускну здатність окремих дуг не враховують, хоча можливо, що окремі з них матимуть навантаження, з яким не впораються. Якщо ж і з'являться перевантажені ділянки, то витрати на спрямування вантажопотоків повз них кружним шляхом будуть невеликими. Тому планування перевезень одного вантажу на мережі без обмежень пропускної здатності мають велике практичне значення, а на мережі з обмеженнями пропускної здатності – лише методичне. Дійсно, важко собі уявити, щоб один вантаж міг повністю заповнити пропускну здатність дуги. Отримати ж оптимальний план перевезень декількох вантажів, послідовно зменшуючи пропускну здатність дуг на

величину вже спланованих вантажопотоків, практично неможливо. Плануючи перевезення якогось одного вантажу, будемо щоразу одержувати різну вартість перевезень всіх інших. Пояснимо це на елементарному прикладі (рис. 2.13).

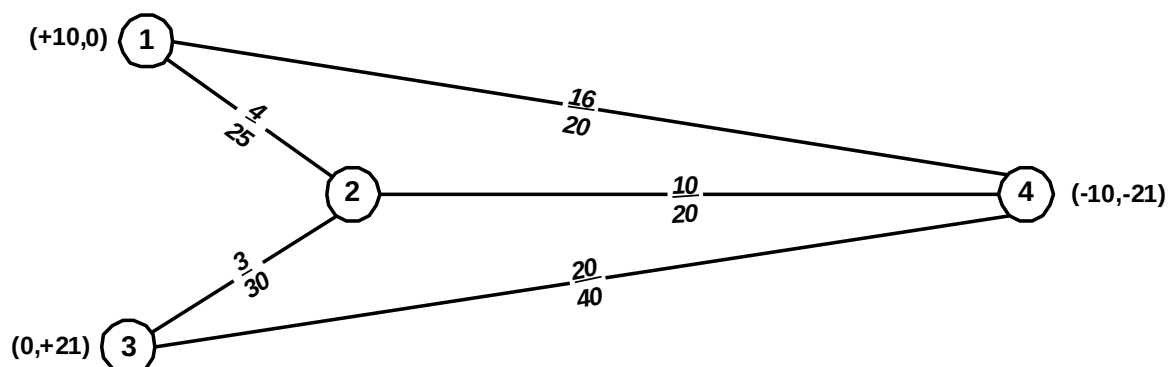


Рисунок 2.13 – Приклад ТМ з одним вантажем і обмеженнями на пропускну здатність

До вершини 4 з вершини 1 і 3 необхідно перевезти відповідно 10 одиниць першого і 21 одиницю другого вантажу. В обох випадках найліпший за вартістю шлях, зрозуміло, проходить через вершину 2. Якщо спочатку скласти оптимальний план для першого вантажу, пропускну здатність ланки 2–4 зменшиться на 10 одиниць і доведеться частину другого вантажу спрямувати по дорожчій дузі 3–4, яка вимагає, у свою чергу, збільшення витрат на $20 - (3 + 10) = 7$ о. в. для кожної одиниці перевезеного круглим шляхом вантажу. Якщо ж спочатку матимемо оптимальне рішення задачі для другого вантажу, спрямувавши його найкоротшим шляхом по дугам 3–2 і 2–4, а перший – по дузі 1–4, то втрати від об'їзду становитимуть тільки $16 - (4 + 10) = 2$ о.в. Оптимальний план ми отримали, змінивши порядок планування перевезення вантажів. Однак найчастіше у реальних задачах цього не можна досягти, який би порядок не застосовувався.

ТЗ з перевезення багатьох вантажів може бути сформульована таким чином. Потрібно знайти мінімум:

$$\sum c_{ij} \cdot x_{ij}^{(k)}; \quad (2.26)$$

за умови

$$|\sum_j x_{ij}^{(k)} - \sum_l x_{li}^{(k)}| = a_i^{(k)}; \quad (2.27)$$

$$x_{ij}^{(k)} \geq 0; \quad x_{li}^{(k)} \geq 0; \quad (2.28)$$

$$\sum_k x_{ij}^{(k)} \leq d_{ij}; \quad \sum_k x_{li}^{(k)} \leq d_{li}, \quad (2.29)$$

де k – номер вантажу;

$a_i^{(k)}$ – обсяг виробництва (або споживання) у вершині i для вантажу з номером k (у транзитних вузлах він дорівнює нулю);

d_{ij} – пропускна здатність дуги;

$x_{ij}^{(k)}, x_{li}^{(k)}$ – відповідно, обсяг k -го вантажу, який вивозиться з вершини i , та обсяг k -го вантажу, який ввозиться до вершини i .

Умови оптимальності плану перевезень декількох вантажів на мережі з обмеженнями пропускної здатності можна розділити на дві групи:

– для дуг, де сумарні перевезення не заповнюють пропускну здатність:

$$v_j^{(k)} - v_i^{(k)} \leq c_{ij}, \quad \text{якщо } x_{ij}^{(k)} = 0; \quad 0 < \sum_{k=1}^n x_{ij}^{(k)} < d_{ij}; \quad (2.30)$$

$$v_j^{(k)} - v_i^{(k)} = c_{ij}, \quad \text{якщо } x_{ij}^{(k)} > 0; \quad 0 < \sum_{k=1}^n x_{ij}^{(k)} < d_{ij}; \quad (2.31)$$

– для дуг, де сумарні перевезення заповнюють пропускну здатність, існують такі спільні для всіх вантажів прокатні оцінки, що:

$$v_j^{(k)} - v_i^{(k)} \leq c_{ij} + \delta_{ij}, \quad \text{якщо } x_{ij}^{(k)} = 0; \quad \sum_{k=1}^n x_{ij}^{(k)} = d_{ij}; \quad (2.32)$$

$$v_j^{(k)} - v_i^{(k)} = c_{ij} + \delta_{ij}, \quad \text{якщо } x_{ij}^{(k)} > 0; \quad \sum_{k=1}^{n-1} x_{ij}^{(k)} = d_{ij}. \quad (2.33)$$

Для прикладу, розглянутого на рис. 2.14, можна побудувати таку систему потенціалів і прокатних оцінок, що умови (2.30) – (2.33) будуть виконані для всіх дуг, тобто ми отримаємо оптимальний план перевезення двох видів вантажу. Щоб визначити потенціали вершин 1, 2, 3, введемо базисний нульовий потік (0). Потенціали вершин стоять у квадратних дужках, цифри ставляться відповідно до першого і другого вантажів.

Сформульовану вище задачу можна розв'язати класичним симплексним

методом лінійного програмування. Як застосовується для її розв'язання блоковий метод лінійного програмування, описано в працях вітчизняних [94] і американських авторів [96]. Однак розмір задачі там досить невеликий.

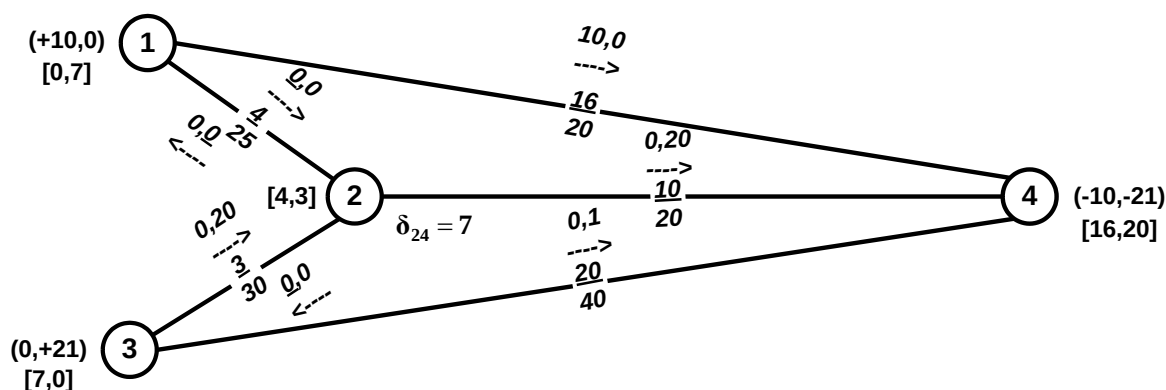


Рисунок 2.14 – Приклад розв'язання ТЗ на мережі з двома вантажами і обмеженнями на пропускні здатності

На конкретному прикладі розглянемо застосування одного з методів оптимізації перевезень декількох вантажів на ТМ з обмеженнями пропускнуї здатності окремих її ділянок. На рис. 2.15 зображена мережа, на котрої вартість перевезень і пропускна здатність її дуг однакові в обох напрямках.

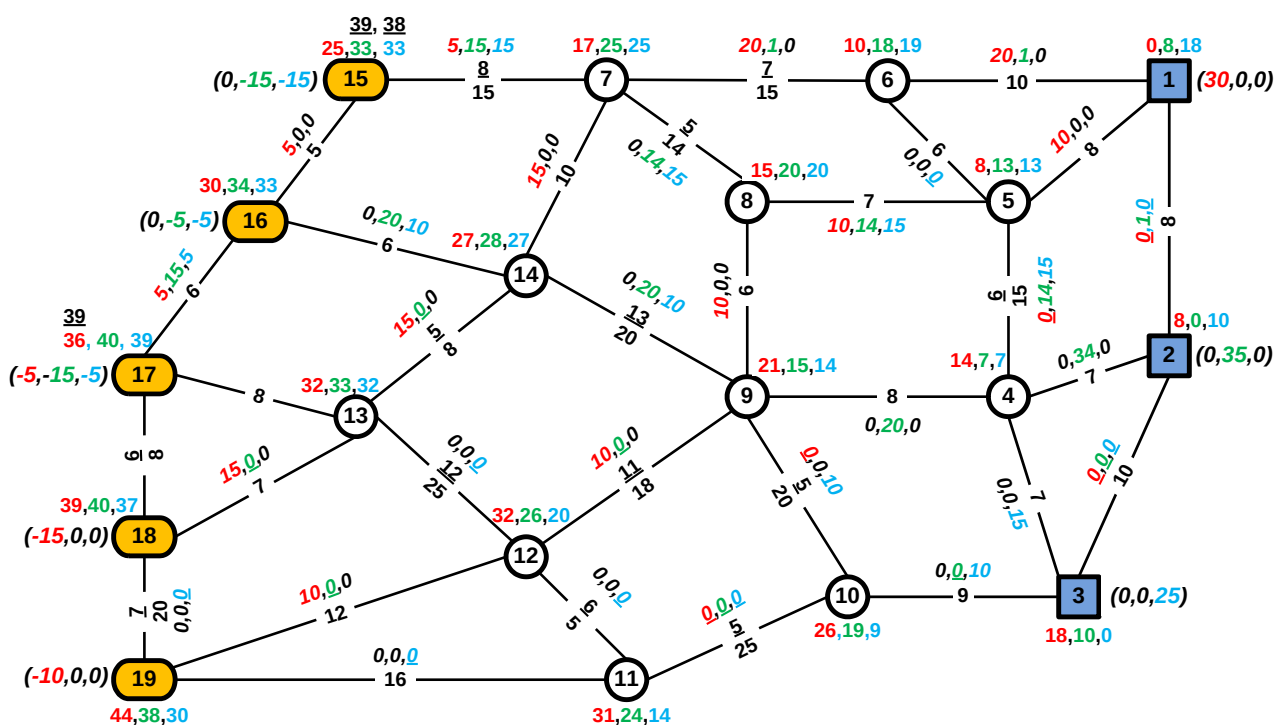


Рисунок 2.15 – ТМ з обмеженнями пропускнуї здатності (початковий план перевезень трьох вантажів)

У вершині 1 вантажать 30 одиниць першого вантажу, у вершині 2 – 35 одиниць другого, у вершині 3 – 25 одиниць третього. Вивантаження показане в дужках зі знаком мінус у порядку нумерації вантажів. Обумовлено, що на дугах, де пропускна здатність не позначена, вона практично необмежена.

Первинні оптимальні плани для всіх трьох вантажів будують самостійно, не враховуючи пропускної здатності. Потім знаходять перенасичені дуги. Таких дуг шість (6–7, 7–15, 8–7, 4–5, 9–14 і 14–13). Щоб визначити їхню перевантаженість, розділимо накладений на кожну перенасичену дугу сумарний потік трьох вантажів на її пропускну здатність і будемо закривати найперше ті дуги, де це відношення найбільше. У нашому випадку такою дугою є 7–15. Закриваємо її і будуємо нові дерева найкоротших шляхів на мережі, що залишилися.

Новий найкоротший шлях для 5 одиниць першого вантажу пройде від вершини 7 до вершини 17 через проміжні вершини 14 і 16. Зовсім інакші шляхи пророблять 15 одиниць другого і третього вантажів – вони змінять свій напрямок починаючи від місця відвантаження, а саме: 15 одиниць другого вантажу пройдуть такий найкоротший шлях $2 \rightarrow 4 \rightarrow 9 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 15$, а 15 одиниць третього вантажу – $3 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 15$. Потім порівняємо нові (значення у чисельнику дробу) і старі (значення розміщені у знаменнику дробу) потенціали в пунктах споживання вантажів, що перерозподіляються, визначаємо різниці між ними і шукаємо ті вантажі, які негайно необхідно усунути з перенасиченої дуги 7–15.

З отриманих значень робимо висновок, що з дуги 7–15 необхідно зняти перший вантаж, який іде призначенням до вершини 17 кількістю 5 одиниць. Різниця потенціалів на старому і новому деревах дорівнює $39 - 36 = 3$. Таким чином, знявши 5 о. в., ми додатково збільшуємо перевезення на 15 одиниць вартості. Новий маршрут цього вантажу, як зазначалося вище, пройде від вершини 7 через вершини 14 і 16 до 17. Потім знімемо третій вантаж, різниця потенціалів якого дорівнює $38 - 33 = 5$. Після того, як ми знімемо 15 одиниць третього вантажу, які підуть іншим маршрутом, потік на дузі 7–15 буде дорівнювати її пропускну здатності, а для третього вантажу сформувався новий маршрут, що проходить через вершини 3, 10, 9, 14, 16, 15.

– для третього вантажу пройдуть до вершини 15 по маршруту $3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 15$; до вершини 16 по маршруту $3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 14 \rightarrow 16$; до вершини 17 по маршруту $3 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 17$.

Обираємо найменшу різницю між новими і старими значеннями потенціалів у пунктах споживання другого і третього вантажів – це вершина 17, у якої ця різниця дорівнює 1. Знімаємо 5 одиниць третього вантажу з дуги 9–14 і перекидаємо їх на новий маршрут $10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 17$. Потім шукаємо другу найменшу різницю, вона дорівнює 6 для другого вантажу на тій самій вершині 17. Знімаємо 15 одиниць другого вантажу з дуги 9–14 і спрямовуємо їх за скороченим маршрутом $9 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 17$. Наступна різниця дорівнює 7 у пункті споживання 16 для другого вантажу; знімаємо ще 5 одиниць цього вантажу і спрямовуємо їх за маршрутом $4 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 14 \rightarrow 16$. Потік на дузі 9–14 став дорівнювати її пропускній здатності і для третього вантажу сформувався маршрут, що веде до вершин його споживання 16 і 15. Реальні вартості дуг 9–14 і 7–15 збільшуємо на 7 – величину, рівну максимальній різниці між новими і старими значеннями потенціалів у розглянутих пунктах споживання другого і третього вантажів. Таким чином, прокатна оцінка дуги 7–15 підвищується до 12, а дуги 9–14 стає рівною 7.

Перш ніж продовжувати розв'язання нашого прикладу, наведемо деякі визначення і правила.

1. Будемо називати *не переглянутими* перенасичені дуги, на яких величина потоку перевищує пропускну здатність, а *переглянутими* – перенасичені дуги, які отримали прокатну оцінку, й у яких величина потоку дорівнює пропускній здатності.

2. Перенасичена дуга ij (переглянута або не переглянута) буде називатися пов'язаною з переглянutoю дугою kl , якщо для одного з вантажів знайдеться пункт споживання, до якого ведуть два рівноцінних маршрути, які містять у собі по одній із цих дуг і протягом усього маршруту з дугою ij існує потік цього вантажу.

П р и м і т к а: рівноцінні маршрути можуть поєднуватися не тільки в пунктах споживання, але й у проміжних пунктах. Також можуть бути багатоступінчасті зв'язки, наприклад, дуга ij

пов'язана з дугою kl одним вантажем, а дуга kl з дугою mn іншим вантажем і так доти, доки останній рівноцінний маршрут не буде мати переглянутих перенасичених дуг. Наприклад, на рис. 3.16 дуга 9–14 пов'язана з дугою 7–15 третім вантажем, оскільки протягом усього маршруту $9 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 15$ цей вантаж наявний, а маршрут $9 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 15$ має таку ж вартість 24, що і перший. У той же час дуга 7–15 не пов'язана з дугою 9–15, оскільки по першій третій вантаж не переміщається.

3. Порядок регулювання потоків по рівноцінних маршрутах. Якщо в рівноцінному маршруті, що проходить через розглянуту дугу, немає переглянутих перенасичених дуг, можуть скластися дві ситуації:

- розглянута дуга або інша, пов'язана з нею, пропускає вантаж, для якого існує рівноцінний маршрут без переглянутих перенасичених дуг. У цьому випадку потоки перерозподіляються;

- на розглянутих дугах, а також на пов'язаних з ними дугах, не проходить жоден вантаж, для якого існує рівноцінний маршрут без переглянутих перенасичених дуг. У такому разі пов'язані дуги закривають. Для всіх вантажів, які ними проходять, будують нові дерева найкоротших шляхів, визначають різниці потенціалів у пунктах споживання і вилучають надлишковий потік з розглянутої дуги, регулюючи його, якщо це необхідно, по рівноцінних маршрутах.

4. У процесі зняття надлишкового потоку з розглянутої дуги зв'язки можуть губитися. Тому щораз треба перевіряти зв'язки між перенасиченими дугами і у випадку їхньої втрати відкривати відповідні дуги і будувати нові дерева найкоротших шляхів.

5. При закритті дуг нові дерева будують тільки для тих вантажів, які йшли ними до закриття.

6. По розглянутій дузі проходить вантаж, що має інший рівноцінний маршрут, до якого входять кілька переглянутих дуг. Останні дуги можна розділити на два класи:

- дуги, що пропускають вантаж, для якого є рівноцінний маршрут без переглянутих перенасичених дуг. У цьому випадку треба відрегулювати потоки, тобто один з вантажів перенести з розглянутої дуги на рівноцінний маршрут з переглянутою дугою, а з останнього на маршрут без переглянутих дуг;

– дуги, що пропускають вантаж, в якому єдиний рівноцінний маршрут містить розглянуту дугу. Тоді треба закрити разом з розглянутою і цю дугу, будувати нові дерева і шукати новий маршрут з мінімальною втратою засобів перевезення.

7. На маршруті, до якого входить розглянута дуга, для вантажу k існує одна або кілька переглянутих дуг. У такому разі можуть виникнути два випадки:

– вантаж k має інший рівноцінний маршрут до пункту споживання, який проходить частково через закриту дугу. Тоді потрібно знизити прокатну оцінку переглянутої дуги на один щабель і визначити нові потенціали пунктів споживання. Зниження оцінки треба зіставляти з різницею потенціалів;

– вантаж k не має іншого рівноцінного маршруту до пункту споживання. Тоді можна зменшити прокатну оцінку переглянутої дуги, якщо вона менша різниці потенціалів для інших вантажів (див. рис. 2.16, де знижена прокатна оцінка дуги 7–15).

Продовжимо розв'язання нашого прикладу. Після дуг 7–15 і 9–14 закривається дуга 14–13, яка з усіх не переглянутих перенасичених дуг, що залишилися, має найбільше відношення потоку, який проходить через неї першого вантажу до її пропускної здатності. Перевищення першого вантажу на цій дузі щодо її пропускної здатності в кількості 7 одиниць пускаємо круглим шляхом – $14 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18$. При цьому дуга 14–13 одержує прокатну оцінку, рівну 6. Новий план після другої і третьої ітерації показаний на рис. 2.17.

Найбільше навантаження має дуга 6–7. Закриваємо її, а також пов'язані з нею другим вантажем дуги 8–7 і 9–14. Нові потенціали проставлені зверху попередніх. Найменшу різницю, в 3 одиниці, має третій вантаж у вершинах 16 і 15. З дуги 8–7 перенесемо 5 одиниць другого вантажу (перевищення потоку над пропускною здатністю дуги) на дугу 9–14 по маршруту $2 \rightarrow 4 \rightarrow 9$, а з останньої – 5 одиниць третього вантажу на маршрут $10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 14$ без переглянутих перенасичених дуг.

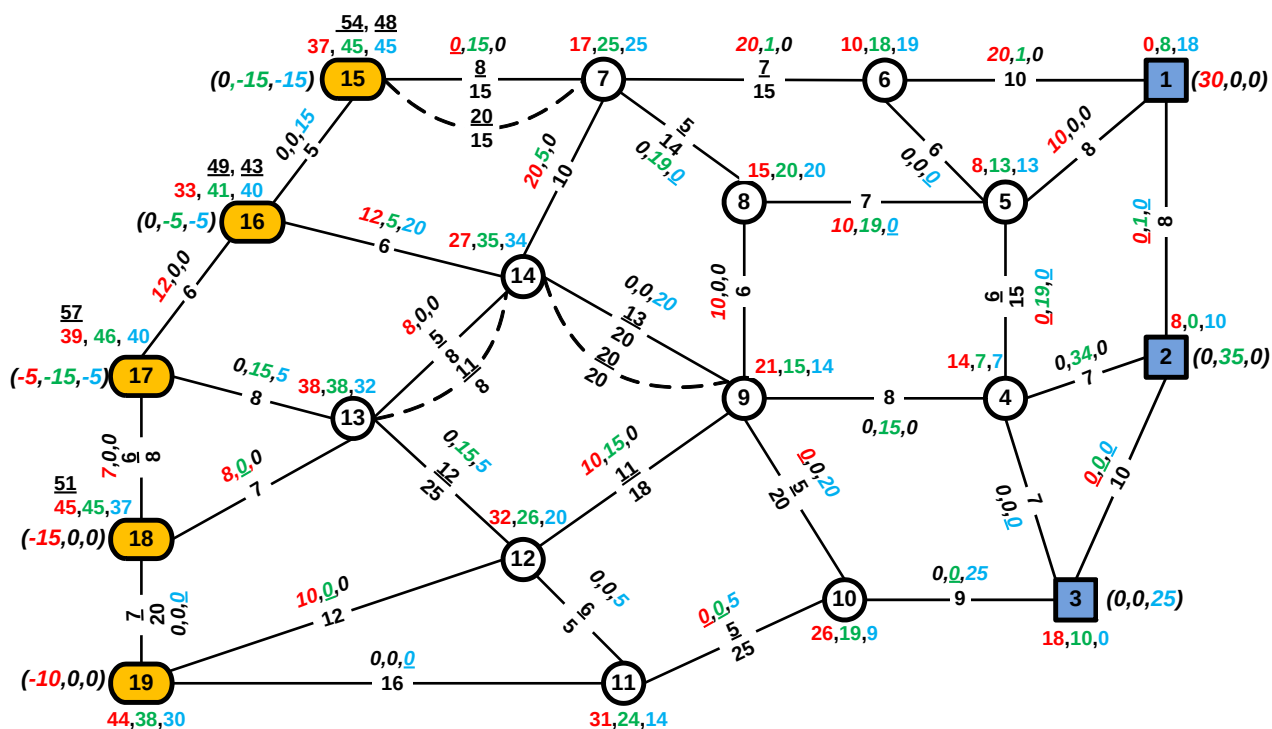


Рисунок 2.17 – ТМ з обмеженнями пропускної здатності (поліпшений план перевезень трьох вантажів після другої і третьої ітерації)

Зв'язок 6–7 і 8–7 з дугою 9–14 другим вантажем обірвався. Збільшуємо c_{6-7} , c_{8-7} і c_{9-14} на 3 (величину прокатної оцінки) і залучаємо дугу 9–14. Будуємо нові дерева найкоротших шляхів і визначаємо нові різниці потенціалів (щоб уникнути зайвої деталізації процесу рішення поставленої задачі деякі побудови і розрахунки свідомо опущені): для першого вантажу у вершині 18 різниця дорівнює 3. З дуги 6–7 знімаємо 6 одиниць першого вантажу і перекинемо їх на маршрут без переглянутих дуг $1 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 12 \rightarrow 19 \rightarrow 18$; збільшуємо c_{8-7} і c_{6-7} ще на 3 одиниці. Щоб зберегти співвідношення потенціалів другого вантажу у вершинах 16 і 15, прокатну оцінку дуги 7–15 зменшуємо теж на 3 одиниці. Новий план перевезень зображений на рис. 2.18.

Залишилися дві не переглянуті перенасичені дуги: 9–12 і 11–12. Закриваємо дугу 11–12 з найбільшим навантаженням, а також пов'язану з нею третім вантажем дугу 9–14. Для третього вантажу є ще рівноцінний маршрут $3 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 15$, але до нього входять дві переглянуті перенасичені дуги 8–7 і 7–15. Відповідно до правила 6 закриваємо дугу 7–15. Отже, закриваємо три дуги: 11–12, 9–14 і 7–15.

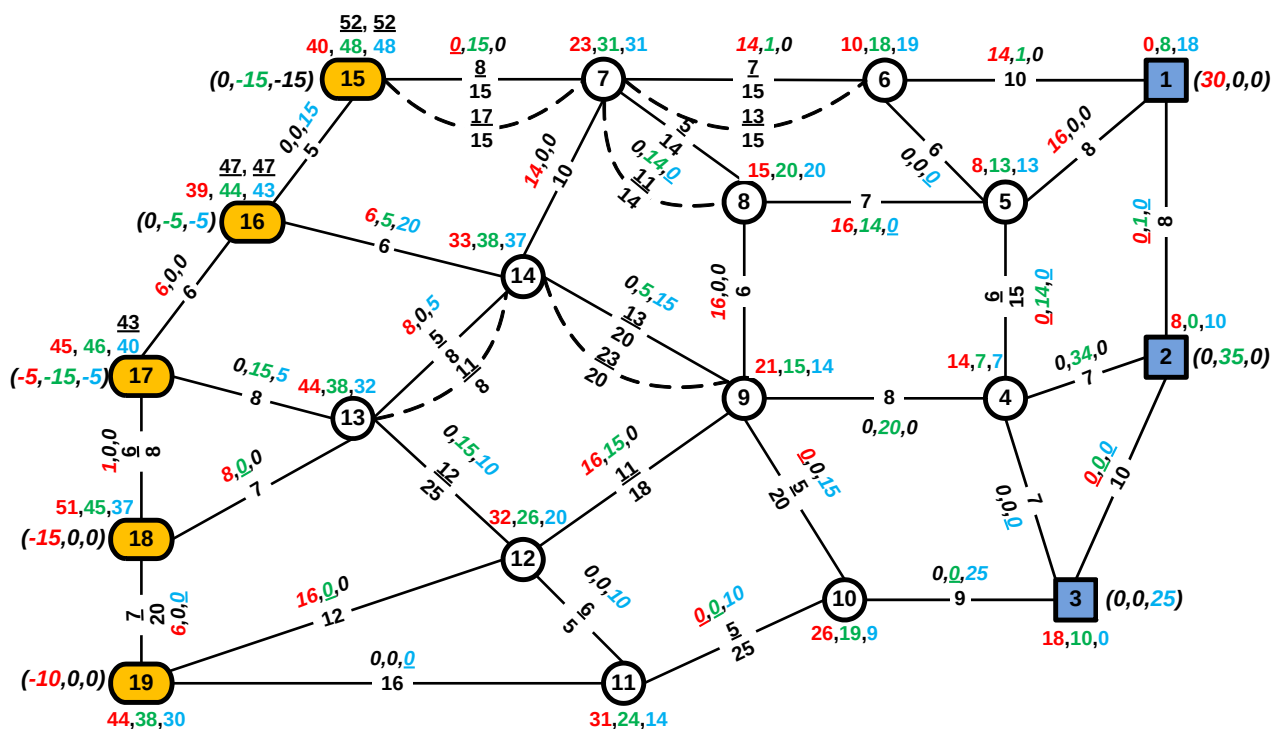


Рисунок 2.18 – ТМ з обмеженнями пропускної здатності
(поліпшений план перевезень трьох вантажів після четвертої ітерації)

Після побудови нових дерев мінімальні різниці будуть дорівнювати 3 відразу в двох вершинах: для третього вантажу – у вершині 17, для другого – у вершині 16. Вибираємо третій вантаж, оскільки для нього маршрут $3 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 19 \rightarrow 18 \rightarrow 17$ проходить по не переглянутих і не перенасичених дугах.

З дуги 11–12 знімаємо 5 одиниць третього вантажу і направляємо їх за маршрутом $11 \rightarrow 19 \rightarrow 18 \rightarrow 17$. Збільшуємо на 3 одиниці значення c_{11-12} , c_{9-14} і c_{7-15} . Залишається одна не переглянута перенасичена дуга 9–12. Закриваємо її, а також пов'язану з нею першим вантажем дугу 6–7 і пов'язану, у свою чергу, з останньою другим вантажем дугу 8–7. Будуємо нові дерева найкоротших шляхів для першого вантажу.

Мінімальна різниця для першого вантажу дорівнює 3 у вершинах 19 і 18. З дуги 9–12 знімаємо 13 одиниць першого вантажу і перекидаємо їх на маршрут $9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 19$ без переглянутих перенасичених дуг. Збільшуємо на 3 о. в. дуг 9–12, 8–7, 6–7 і зменшуємо на 3 одиниці, відповідно до правила 7, вартість дуги 7–15. Задачу розв'язано, оскільки на мережі не залишилося жодної не переглянутої перенасиченої дуги. Спільний оптимальний план перевезень трьох вантажів на

транспортній мережі з обмеженнями на пропускні здатності її комунікацій зображений на рис. 2.19. Вартість його реалізації становить 3692 о.в., що на 367 о.в. перевищує первинну вартість спільного перевезення трьох вантажів без врахування пропускних здатностей транспортних комунікацій мережі (див. план на рис. 2.15).

Ще варто зазначити такий факт, що в процесі розв'язування запропонованої задачі не переглянуті перенасичені дуги (10–9 на рис. 2.16; 4–5 на рис. 2.17 і т. д.) стають ненасиченими. Можуть стати ненасиченими і переглянуті насичені дуги. Іноді задача перевезення кількох вантажів на ТМ з обмеженнями пропускної здатності її дуг може виявитися такою, яку не можливо розв'язати. Тоді послідовність пов'язаних дуг буде утворювати мінімальний розріз мережі, що ділить її на дві частини. Коли буде виявлений цей мінімальний розріз, можна штучно залучити до мережі нові фіктивні дуги з необмеженою пропускною здатністю і нульовою вартістю перевезення, які з'єднають дві розрізані частини мережі. Тоді задачу можна розв'язати, і на нові дуги ляже потік, що не проходить по основній мережі. Надалі можна намітити заходи щодо реконструкції мережі, спрямовані на збільшення пропускної здатності дуг мінімального розрізу, і тим самим зробити все, щоб розв'язати основну первісну мережеву ТЗ.

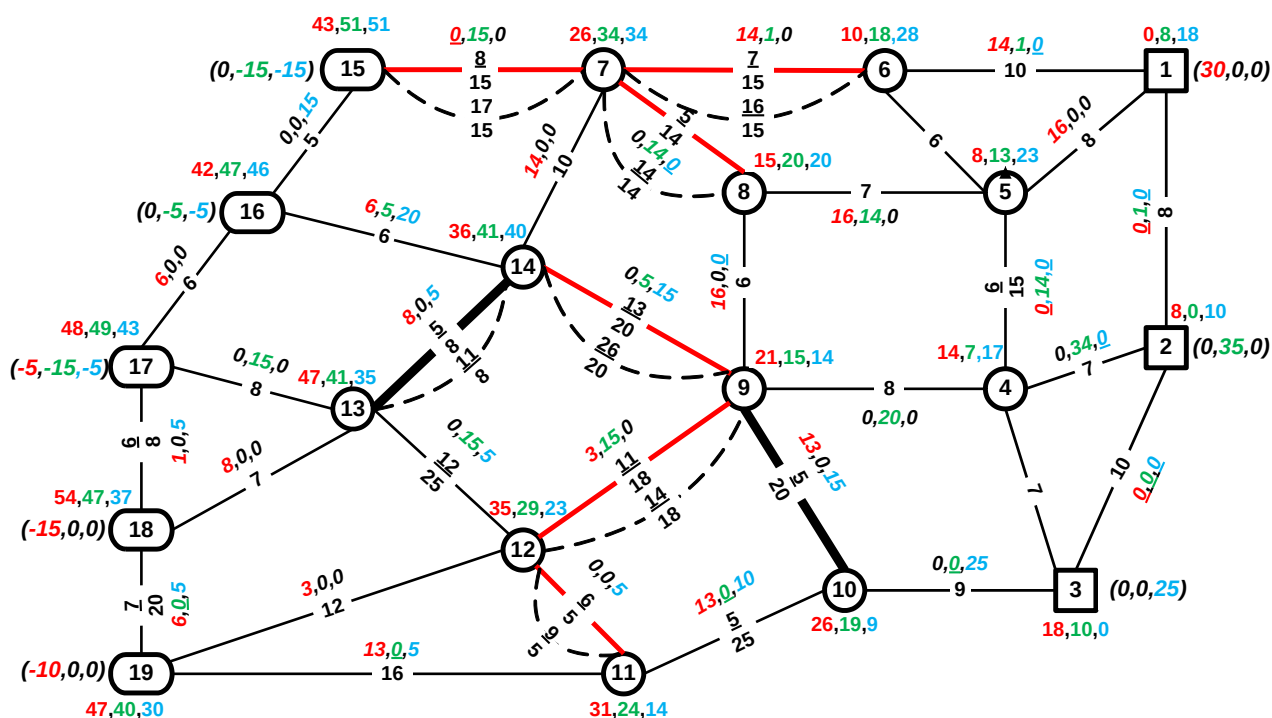


Рисунок 2.19 – ТМ з обмеженнями пропускної здатності
(оптимальний план перевезень трьох вантажів)

2.6 Висновки по розділу 2

На основі розгляду теоретичних засад організації вантажних перевезень на транспортних мережах отримані результати, які полягають в наступному:

1. Сформульована загальна математична модель подання незбалансованих вантажоперевезень на транспортних мережах передбачає два шляхи її вирішення, а саме запровадження додаткових точок постачання чи точок споживання вантажів. Причому при знаходженні вихідного базового рішення розширеного ТЗ в першу чергу потрібно вибрати осередки для завантаження серед реальних виробників і споживачів, а осередки фіктивного стовпця (рядки) - в останню чергу. Це дозволить отримати план ближче до оптимального. Тієї ж мети можна досягти, поставивши $c_{m+1,j} > \max_{i,j} c_{ij}$, $c_{i,n+1} > \max_{i,j} c_{ij}$, у відповідність два розглянуті випадки.

2. Завдання організації вантажних перевезень можна вирішити як на матриці, а й у схемі мережі доріг, т. е. на транспортної мережі. Методи рішення в обох випадках мають свої переваги та недоліки. Матричний метод досить простий і вимагає великої кількості обчислень. У міру збільшення розміру завдання кількість ітерацій збільшується приблизно лінійно залежно кількості рядків (стовпців). Цей метод слід використовувати в практичних завданнях, тому що простіше встановити часткові заборони на постачання окремим споживачам, а суто однорідних вантажів взагалі немає. Мережевий метод дозволяє враховувати пропускну здатність окремих ділянок мережі, тоді як ТЗ у матричній формі враховує лише пропускну здатність вузлів ТМ.

3. Організація вантажних перевезень на транспортної мережі одного виду вантажу без обмежень пропускну здатності включає наступні кроки:

крок 1 – укладання початкового плану, в якому весь вантаж потрібно відправити й усі потреби споживачів задовольнити;

крок 2 – присвоєння потенціалів вершинам;

крок 3 – вибираємо дугу з найбільшим порушенням умови оптимальності. Величина його позитивна, отже, необхідно направити вантажопотік у напрямку від меншого потенціалу до більшого. Знаходимо замкнутий контур, до якого входять дуги з потоком і обрана дуга з порушенням, причому це можна зробити єдиним

способом. Просуваючись контуром від меншого потенціалу дуги з порушенням до більшого, знаходимо дугу з мінімальним зустрічним вантажопотоком. Додаємо цю величину до всіх попутних потоків і віднімаємо її з усіх зустрічних.

Кроки 2 і 3 по чергово повторюють доти, доки не стане дуг з порушенням умови оптимальності.

4. При організації вантажних перевезень на транспортній мережі одного виду вантажу з обмеженнями пропускної здатності додатково додається поняття прокатної оцінки дуги ТМ. Її економічний зміст полягає в тому, що вона виражає додаткові витрати на одиницю перевезеного вантажу, який через недолік пропускної здатності іде круговим шляхом. Прокатну оцінку ще можна інтерпретувати, як можливу економію на одиницю вантажопотоку від підвищення пропускної здатності даної дуги.

5. Плануючи перевезення на транспортній мережі без обмежень пропускної здатності, фактичну пропускну здатність окремих дуг не враховують, хоча можливо, що окремі з них матимуть навантаження, з яким не впораються. Якщо ж і з'являться перевантажені ділянки, то витрати на спрямування вантажопотоків повз них круговим шляхом будуть невеликими. Тому планування перевезень одного вантажу на мережі без обмежень пропускної здатності мають велике практичне значення, а на мережі з обмеженнями пропускної здатності – лише методичне. Дійсно, важко собі уявити, щоб один вантаж міг повністю заповнити пропускну здатність дуги. Отримати ж оптимальний план перевезень декількох вантажів, послідовно зменшуючи пропускну здатність дуг на величину вже спланованих вантажопотоків, практично неможливо. Плануючи перевезення якогось одного вантажу, будемо щоразу одержувати різну вартість перевезень всіх інших. Тому умови оптимальності плану перевезень декількох вантажів на мережі з обмеженнями пропускної здатності можна розділити на дві групи:

- для дуг, де сумарні перевезення вантажів не заповнюють пропускну здатність:
- для дуг, де сумарні перевезення вантажів заповнюють пропускну здатність, існують такі спільні для всіх вантажів прокатні оцінки.

РОЗДІЛ 3

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

3.1 Технологія формування матрично-мережевої моделі організації вантажних перевезень на транспортних мережах

Найчастіше транспортна мережа задається у вигляді картосхеми розташування транспортних вузлів відправлення та призначення вантажу. Нижче розглянуто розроблену технологію формування матрично-мережевої моделі (МММ) оптимізації незбалансованих вантажних перевезень на ТМ, яка дозволяє звести мережне уявлення до матричного вигляду з подальшим знаходженням оптимального плану перевезень вантажу.

МММ організації перевезень вантажів на ТМ включає п'ять етапів [96]. Як демонстрацію цих етапів нижче розглянуто конкретну ТМ (рис. 3.1). ТС містить 3 пункти постачання – A_1 , A_2 , та 4 пункти споживання – B_1 , B_2 , B_3 і B_4 однорідного вантажу. Відстань між пунктами зазначена на відповідних ребрах, обсяги поставок та заявок вантажу проставлені у відповідних графічних об'єктах транспортних вузлів.

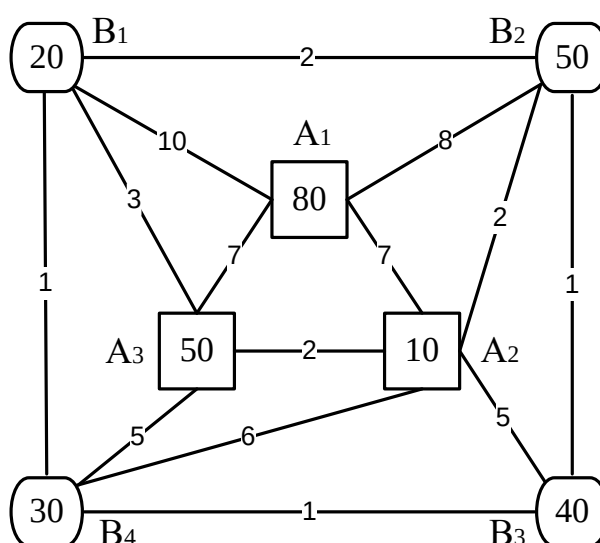


Рисунок 3.1 – Транспортна мережа перевезень вантажів

Першим етапом формування МММ буде складання масиву відстаней між сусідніми вузлами ТМ. Для цього достатньо вказати відстань від початку до кінця кожного ребра графа в одному напрямку, тому що відстань у зворотному напрямку передбачається тою самою (табл. 3.1). Слід зазначити те що, що це етап передбачає ручне складання масиву.

Таблиця 3.1 – Масив відстаней між сусідніми вузлами транспортної мережі

№ з/п	Початок	Кінець	Відстань	№ з/п	Початок	Кінець	Відстань
1	A ₁	B ₁	10	8	A ₂	A ₃	2
2	A ₁	B ₂	8	9	A ₃	B ₁	3
3	A ₁	A ₂	7	10	A ₃	B ₄	5
4	A ₁	A ₃	7	11	B ₁	B ₂	2
5	A ₂	B ₂	2	12	B ₁	B ₄	1
6	A ₂	B ₃	5	13	B ₂	B ₃	1
7	A ₂	B ₄	6	14	B ₃	B ₄	1

На *другому етапі* автоматично (з допомогою відповідної програми) з урахуванням масиву відстаней будується матриця транспортних відповідностей між усіма вузлами ТМ. Відстань між несуміжними (сусідними) транспортними вузлами (ТВ) приймається рівним нескінченності (табл. 3.2).

Отримана матриця симетрична щодо своєї головної діагоналі через неорієнтованість транспортних відповідностей. Слід зазначити, що значення нескінченності в програмі навмисно моделюється більше, ніж кожна з відстаней ТМ - зазвичай це значення може дорівнювати сумі всіх існуючих відстаней на ТМ.

Метод найкоротших маршрутів є методом *третього етапу* формування МММ. Цей метод (модифікований метод Дейкстри) за даними матриці відповідностей (табл. 3.2) знаходить як значення найкоротших відстаней на ТМ від кожної ПП до кожної ПС (табл. 3.3), так і маршрути, що відповідають цим відстані, які можуть містити проміжні точки на коліях руху вантажу (рис. 3.2).

Таблиця 3.2 – Матриця транспортних кореспонденцій між усіма вузлами транспортної мережі

Транспортні вузли	A ₁	A ₂	A ₃	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
A ₁	∞	7	7	10	8	∞	∞
A ₂	7	∞	2	∞	2	5	6
A ₃	7	2	∞	3	∞	∞	5
B ₁	10	∞	3	∞	5	∞	3
B ₂	8	2	∞	5	∞	1	∞
B ₃	∞	5	∞	∞	1	∞	1
B ₄	∞	6	5	3	∞	1	∞

Таблиця 3.3 – Матриця найкоротших відстаней на ТМ

ПП \ ПС	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
A ₁	10	8	9	10
A ₂	4	2	3	4
A ₃	3	4	5	4

$$\begin{aligned}
 A_1 &\xrightarrow{4} B_1 &= 10; & A_2 &\xrightarrow{2} B_2 \xrightarrow{2} B_1 &= 4; \\
 A_1 &\xrightarrow{4} B_2 &= 8; & A_2 &\xrightarrow{2} B_2 &= 2; \\
 A_1 &\xrightarrow{8} B_2 \xrightarrow{1} B_3 &= 9; & A_2 &\xrightarrow{2} B_2 \xrightarrow{1} B_3 &= 3; \\
 A_1 &\xrightarrow{8} B_2 \xrightarrow{1} B_3 \xrightarrow{1} B_4 &= 10; & A_2 &\xrightarrow{2} B_2 \xrightarrow{1} B_3 \xrightarrow{1} B_4 &= 4; \\
 \\
 A_3 &\xrightarrow{3} B_1 &= 3; \\
 A_3 &\xrightarrow{2} A_2 \xrightarrow{2} B_2 &= 4; \\
 A_3 &\xrightarrow{2} A_2 \xrightarrow{2} B_2 \xrightarrow{1} B_3 &= 5; \\
 A_3 &\xrightarrow{3} B_1 \xrightarrow{1} B_4 &= 4;
 \end{aligned}$$

Рисунок 3.2 – Маршрути найкоротших відстаней

Четвертий етап полягає у складанні за отриманими даними табл. 3.3 класичної ТТ (табл. 3.4) та знаходження оптимального плану перевезень вантажів, вартість реалізації якого складе 880 о.в., а саме:

$$Z_{\text{opt}} = 50 \times 8 + 30 \times 9 + 10 \times 3 + 20 \times 3 + 30 \times 4 = 880 \text{ о.в.}$$

Таблиця 3.4 – Оптимальний план перевезень вантажів

ПС ПП	В ₁	В ₂	В ₃	В ₄	Запаси
А ₁	10	8 X ₂ =50	9 X ₃ =30	10	80
А ₂	4	2	3 X ₇ =10	4	10
А ₃	3 X ₉ =20	4	5	4 X ₁₂ =30	50
Заявки	20	50	40	30	

Останнім *п'ятим етапом* формування МММ є представлення результатів знайденого оптимального плану перевезень вантажів на ТМ (рис. 3.3).

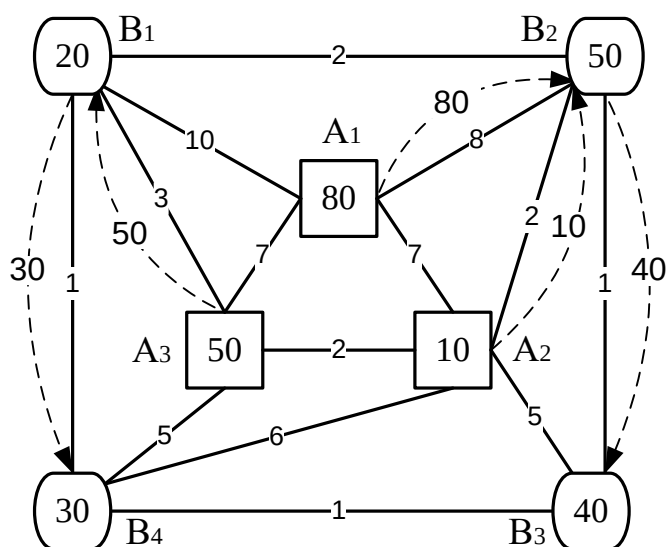


Рисунок 3.3 – Оптимальний план перевезень вантажів на транспортній мережі

Транспортні потоки на рис. 3.3 розподіляються таким чином: з 80 умовних вантажних одиниць (в.о.), які відправлені з А₁, 50 в.о. залишиться у В₂, а 30 в.о. транзитом вирушать до В₃; 10 в.о., які відправлені з А₂, транзитом через В₂

вирушать до B_3 ; з 50 в.о., які відправлені з A_3 , 20 в.о. залишиться у B_1 , а 30 в.о. транзитом вирушать до B_4 .

Розроблена технологія формування МММ оптимізації вантажних перевезень на ТМ є повним циклом знаходження оптимальних планів вантажних перевезень, починаючи від завдання вхідних даних ТМ до отримання кінцевого результату. Другий та третій етапи технології включають унікальне алгоритмічне та програмне забезпечення побудови матриці кореспонденцій та транспортної таблиці.

Технологія формування матрично-мережевої моделі організації вантажних перевезень на транспортних мережах пройшла експериментальну перевірку як для транспортних завдань малої та середньої розмірності (то 10 до 100 транспортних вузлів), так і для транспортних завдань великої розмірності (від 101 до 600 транспортних вузлів) – транспортної системи України, показав при цьому свою ефективність і оперативність.

3.2 Один із підходів розв’язання багатоетапної транспортної задачі за допомогою інформаційних технологій

У процесі вантажних перевезень часто виникає ситуація, коли обсяг поставок вантажу, що перевозиться, перевищує місткість складу замовника. У цьому випадку ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання зайвого вантажу та, як наслідок, багатоетапним транспортним завданням (БТЗ). Опишемо підхід, що вирішує задачу поетапного перевезення вантажів у її мережевому поданні в середовищі Excel. При цьому розглядаються випадки, коли сумарні складські потужності замовника і проміжних пунктів рівні більше або менше обсягу вантажу, що перевозиться.

Нехай у нас є m постачальників однорідного вантажу $A_1, A_2, \dots, A_m$, у яких він відповідно в обсягах $a_1, a_2, \dots, a_m$ і n його одержувачів $B_1, B_2, \dots, B_n$, які мають додатки до нього в тонах (рис. 3.4), відповідно, $b_1, b_2, \dots, b_n$. [97-99]. При цьому загальні обсяги постачання даного вантажу перевищують загальні обсяги 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 надлишкового вантажу, які можуть розмістити його в обсягах відповідно

$c_1, c_2, \dots, c_l$, одночасно три різні варіанти співвідношень $\sum_{i=1}^m a_i, \sum_{j=1}^n b_j$ і $\sum_{k=1}^l c_k$ можуть

виникати при обов'язковому виконанні умов (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 варіанти на конкретному прикладі вантажоперевезень (рис. 3.4), на якому:

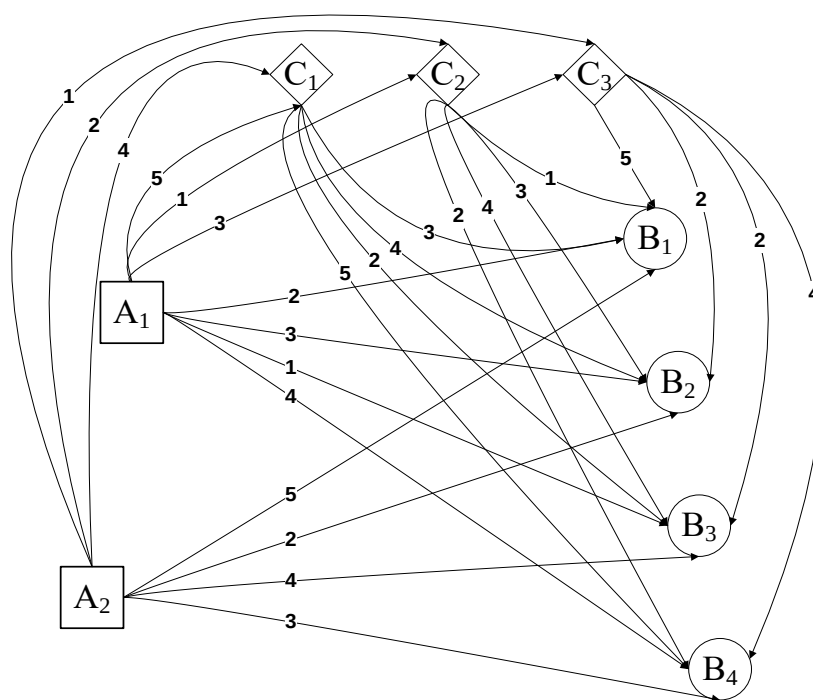


Рисунок 3.4 – Вихідна схема перевезення вантажу

– кількість постачальників вантажів $m = 2$; $a_1 = 35$ вантажних одиниць (о.в.), $a_2 = 35$ о.в.;

– кількість одержувачів вантажів $n = 4$; $b_1 = 10$ о.в., $b_2 = 10$ о.в.; $b_3 = 10$ о.в., $b_4 = 20$ о.в.;

– кількість місць проміжного зберігання вантажів $l = 3$; $c_1 = 5$ о.в., $c_2 = 5$ о.в., $c_3 = 10$ о.в.;

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

На рис. 3.5 представлена таблиця Excel на вирішення першого варіанта перевезення вантажу (3.2), а на рис. 3.6 – оптимальна схема його перевезення (обсяги перевезення вантажів між відповідними вузлами вказані на дугах, що їх з'єднують). Як видно з таблиці Excel (див. рис. 3.5), перший варіант перевезення вантажу може бути виконаний у два етапи (вантажоперевезення 1-го етапу зображено на рис. 3.6 окремими лініями, 2-го етапу – на пунктирними лініями).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси			B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси
2	A ₁	2	3	1	4	35		C ₁	3	4	2	5	5
3	A ₂	5	2	4	3	35		C ₂	1	3	4	2	5
4	Заявки	10	10	10	20			C ₃	5	2	2	4	10
5								Заявки	10	10	10	20	
6													
7		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси			B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси
8	A ₁	10	0	10	5	25		C ₁	0	0	5	0	5
9	A ₂	0	10	0	15	25		C ₂	5	0	0	0	5
10	Заявки	10	10	10	20			C ₃	0	5	5	0	10
11	115	20	20	10	65			Заявки	5	5	10	0	
12								35	5	10	20	0	
13											2-й етап		
14		C ₁	C ₂	C ₃	Запаси		190						
15	A ₁	5	1	3	10								
16	A ₂	4	2	1	10								
17	Заявки	5	5	10									
18													
19		C ₁	C ₂	C ₃	Запаси								
20	A ₁	5	5	0	10								
21	A ₂	0	0	10	10								
22	Заявки	5	5	10									
23	40	25	5	10									
24													

Рисунок 3.5 – Excel-таблиця розв'язання 1-го варіанту перевезення вантажу

На 1-ому етапі першого варіанту перевезення вантажу повністю задовольняють усі потреби його одержувачів ($A_1 \rightarrow B_1 = 10$ о.в., $A_1 \rightarrow B_3 = 10$ о.в., $A_1 \rightarrow B_4 = 5$ о.в., $A_2 \rightarrow B_2 = 10$ о.в., $A_2 \rightarrow B_4 = 15$ о.в.) і надлишки вантажу Δ перевозяться на проміжні

пункти для тимчасового їх зберігання ($A_1 \rightarrow C_1 = 5$ о.в., $A_1 \rightarrow C_2 = 5$ 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 ($C_1 \rightarrow B_3 = 5$ о.в., $C_2 \rightarrow B_1 = 5$ о.в., $C_3 \rightarrow B_2 = 5$ о.в., $C_3 \rightarrow B_3 = 5$ о.в.).

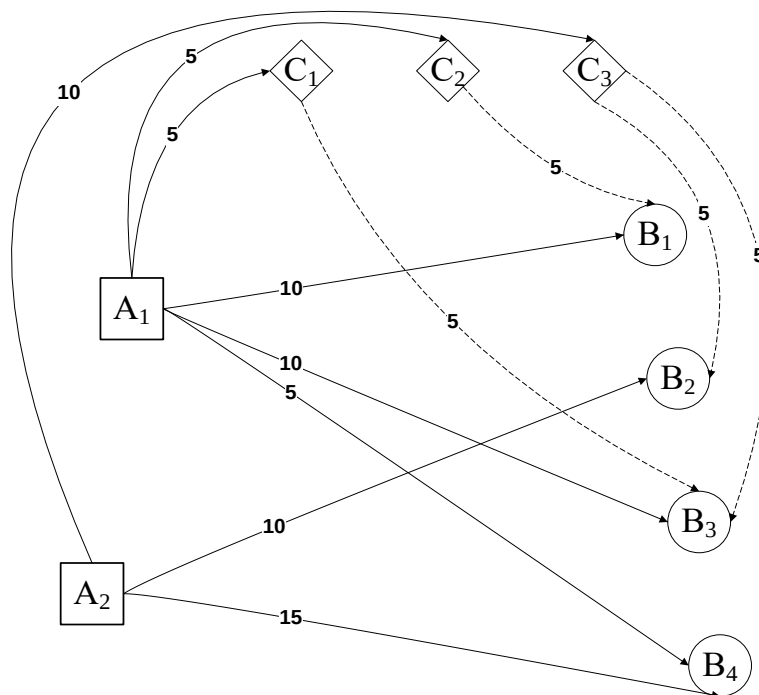


Рисунок 3.6 – Оптимальна схема розв’язання першого варіанту перевезення вантажу

На рис. 3.7 представлена таблиця Excel для вирішення другого варіанта перевезення вантажу (3.3) ($c_1 = 10$ о.в., $c_2 = 10$ о.в., $c_3 = 10$ о.в.), а на рис. 3.8 – оптимальна схема його перевезення (обсяги перевезення вантажів між відповідними вузлами вказані на дугах, що їх з’єднують). Як видно з таблиці Excel (див. рис. 3.7), перший варіант перевезення вантажу може бути виконаний у два етапи (вантажоперевезення 1-го етапу зображено на рис. 3.8 у вигляді окремих ліній, 2-го етапу показано пунктирними лініями).

На 1-му етапі другого варіанта перевезення вантажу всі його одержувачі повністю задоволені ($A_1 \rightarrow B_1 = 10$ о.в., $A_1 \rightarrow B_3 = 10$ о.в., $A_1 \rightarrow B_4 = 5$ о.в., $A_2 \rightarrow B_2 = 10$ о.в., $A_2 \rightarrow B_4 = 15$ о.в.), а зайвий вантаж вивозиться до проміжних пунктів тимчасового зберігання ($A_1 \rightarrow C_2 = 10$ о.в., $A_2 \rightarrow C_3 = 10$ о.в.). Потім, через певний час, на 2-му етапі ці надлишки транспортуються до відповідних одержувачів ($C_2 \rightarrow B_1 = 10$ од., $C_3 \rightarrow B_3 = 10$ о.в.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси			B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси
2	A ₁	2	3	1	4	35		C ₁	3	4	2	5	0
3	A ₂	5	2	4	3	35		C ₂	1	3	4	2	10
4	Заявки	10	10	10	20			C ₃	5	2	2	4	10
5								Заявки	10	10	10	20	
6													
7		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси			B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси
8	A ₁	10		10	5	25		C ₁					0
9	A ₂		10		15	25		C ₂	10				10
10	Заявки	10	10	10	20			C ₃			10		10
11	115	20	20	10	65			Заявки	10	0	10	0	
12								30	10	0	20	0	
13											2-й етап		
14		C ₁	C ₂	C ₃	Запаси		165						
15	A ₁	5	1	3	10								
16	A ₂	4	2	1	10								
17	Заявки	10	10	10									
18													
19		C ₁	C ₂	C ₃	Запаси								
20	A ₁		10		10								
21	A ₂			10	10								
22	Заявки	0	10	10									
23	20	0	10	10									
24													

Рисунок 3.7 – Ехсел-таблиця розв'язання другого варіанту перевезення вантажу

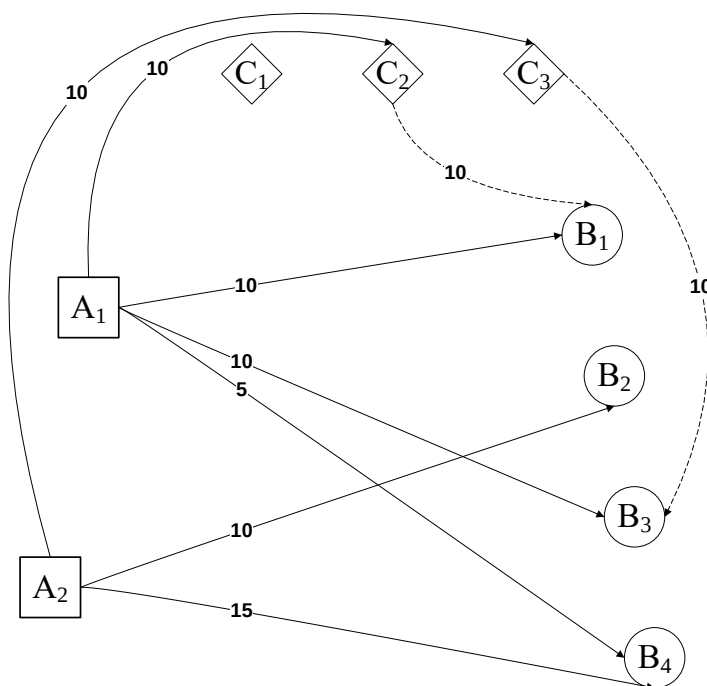


Рисунок 3.8 – Оптимальна схема розв'язання другого варіанту перевезення вантажу

На рис. 3.9 представлена таблиця Ехсел на вирішення третього варіанта перевезення вантажу (3.4) ($c_1 = 5$ о.в., $c_2 = 5$ о.в., $c_3 = 5$ о.в.), а на рис. 3.10 –

оптимальна схема його перевезення (обсяги перевезення вантажу між відповідними вузлами вказані на дугах, що їх з'єднують). Як видно з таблиці Excel (див. рис. 3.9), третій варіант перевезення вантажу може бути виконаний у три етапи (перевезення 1-го етапу зображені на рис. 3.10 у вигляді окремих ліній, 2-го етапу – пунктирними лініями, 3 етапу – штрих-пунктирними лініями).

На 1-му етапі третього варіанта перевезення вантажу всі його одержувачі повністю задоволені ($A_1 \rightarrow B_1 = 10$ о.в., $A_1 \rightarrow B_3 = 10$ о.в., $A_2 \rightarrow B_2 = 10$ о.в., $A_2 \rightarrow B_4 = 20$ о.в.), а надлишковий вантаж $\sum_{k=1}^l c_k$ транспортується до проміжних пунктів для їх тимчасового зберігання ($A_1 \rightarrow C_1 = 5$ о.в., $A_1 \rightarrow C_2 = 5$ 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	2	3	1	4	35		C1	3	4	2	5	5		A1	2	3	1	4	5
3	A2	5	2	4	3	35		C2	1	3	4	2	5		A2	5	2	4	3	0
4	Заявки	10	10	10	20			C3	5	2	2	4	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	10		10		20		C1			5		5		A1			5		5
9	A2		10		20	30		C2	5				5		A2					0
10	Заявки	10	10	10	20			C3			5		5		Заявки	0	0	5	0	
11	110	20	20	10	60			Заявки	5	0	10	0			5	0	0	5	0	
12								25	5	0	20	0								
13								2-й етап							3-й етап					
14		C1	C2	C3	Запаси		175													
15	A1	5	1	3	15															
16	A2	4	2	1	5															
17	Заявки	5	5	5																
18																				
19		C1	C2	C3	Запаси															
20	A1	5	5		10															
21	A2			5	5															
22	Заявки	5	5	5																
23	35	25	5	5																
24		1-й етап																		

Рисунок 3.9 – Excel-таблиця розв'язання третього варіанту перевезення вантажу

Потім, через певний час, на 2-му етапі ці надлишки транспортуються до відповідних одержувачів ($C_1 \rightarrow B_3 = 5$ о.в., $C_2 \rightarrow B_1 = 5$ о.в., $C_3 \rightarrow B_3 = 5$ о.в.). І,

нарешті, на третьому етапі залишки вантажу $\sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{k=1}^l c_k$ також транспортуються до своїх одержувачів ($A_1 \rightarrow B_3 = 5$ о.в.).

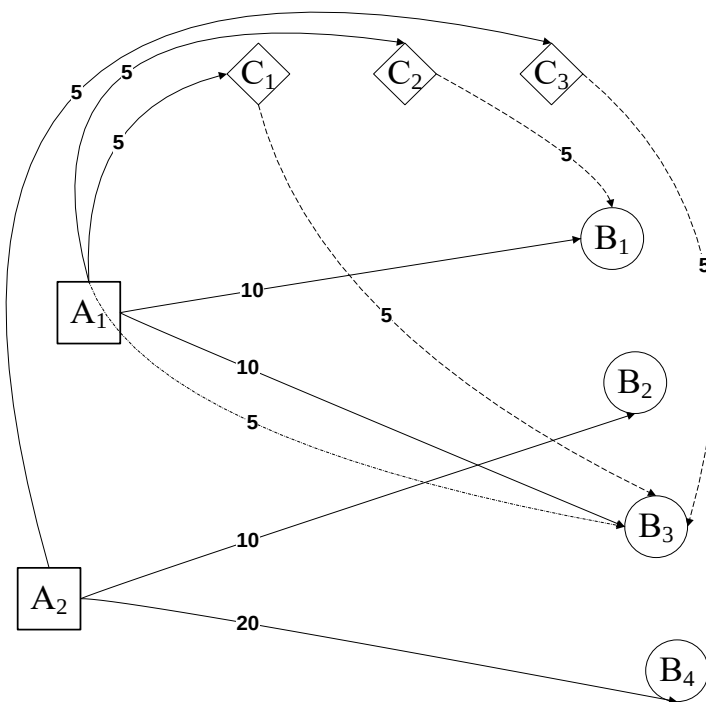


Рисунок 3.10 – Оптимальна схема розв’язання третього варіанту перевезення вантажу

Спробуємо також у середовищі табличного процесора Excel розв’язати БТЗ окремо по кожному з етапів на прикладі самого простішого першого варіанту перевезення вантажу. Почнемо з першого його етапу, а саме з перевезення вантажу від двох його постачальників A_1 та A_2 до чотирьох його споживачів – B_1 , B_2 , B_3 , та B_4 . Цей процес зображений на рис. 3.11.

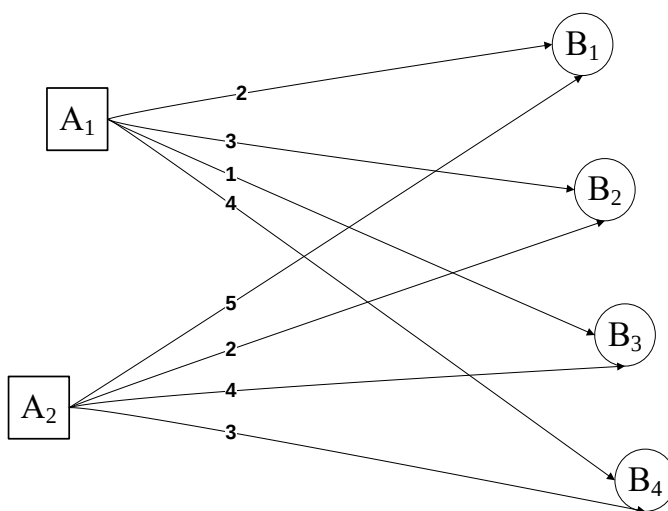


Рисунок 3.11 – Вихідна схема перевезення вантажу на 1-му етапі від двох його постачальників A_1 та A_2 до чотирьох його споживачів – B_1 , B_2 , B_3 , та B_4

На рис. 3.12 представлена таблиця Excel на вирішення схеми перевезення вантажу, яка зображена на рис. 3.11, а на рис. 3.13 – оптимальна схема його перевезення (обсяги перевезення вантажів між відповідними вузлами вказані на дугах, що їх з'єднують).

	A	B	C	D	E	F
1		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси
2	A ₁	2	3	1	4	35
3	A ₂	5	2	4	3	35
4	Заявки	10	10	10	20	
5						
6						
7		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси
8	A ₁	10		10		20
9	A ₂		10		20	30
10	Заявки	10	10	10	20	
11	110	20	20	10	60	
12		1-й етап (A→B)				

Рисунок 3.12 – Excel-таблиця розв'язання 1-го етапу перевезення вантажу від двох його постачальників A_1 та A_2 до чотирьох його споживачів – B_1 , B_2 , B_3 , та B_4

Як бачимо зі схеми (див. рис. 3.13) перевезення вантажу повністю задовольняють усі замовлення його одержувачів ($A_1 \rightarrow B_1 = 10$ о.в., $A_1 \rightarrow B_3 = 10$ о.в., $A_2 \rightarrow B_2 = 10$ о.в., $A_2 \rightarrow B_4 = 20$ о.в.).

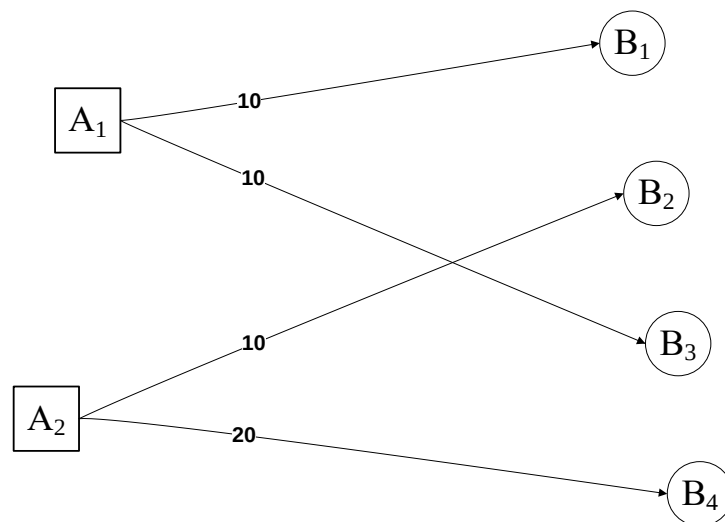


Рисунок 3.13 – Оптимальна схема розв'язання 1-го етапу перевезення вантажу від двох його постачальників A_1 та A_2 до чотирьох його споживачів – B_1 , B_2 , B_3 , та B_4

Далі також розглянемо перевезення вантажу на першому його етапу, але у частині перевезення вантажу від двох його постачальників A_1 та A_2 до трьох проміжних пунктів C_1 , C_2 , C_3 . Цей процес зображений на рис. 3.14.

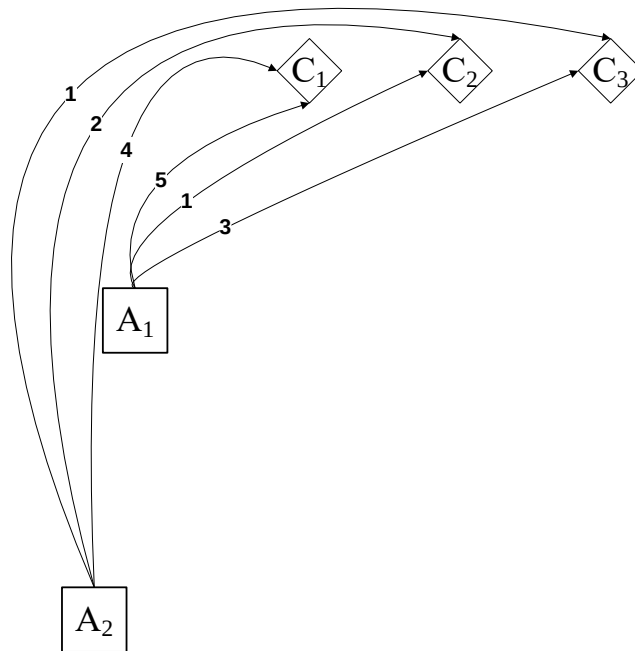


Рисунок 3.14 – Вихідна схема перевезення вантажу на 1-му етапі від двох його постачальників A_1 та A_2 до трьох проміжних пунктів C_1, C_2, C_3

На рис. 3.15 представлена таблиця Excel на вирішення схеми перевезення вантажу, яка зображена на рис. 3.14, а на рис. 3.16 – оптимальна схема його перевезення (обсяги перевезення вантажів між відповідними вузлами вказані на дугах, що їх з'єднують).

	A	B	C	D	E
1		C ₁	C ₂	C ₃	Запаси
2	A ₁	5	1	3	15
3	A ₂	4	2	1	5
4	Заявки	5	5	10	
5					
6					
7		C ₁	C ₂	C ₃	Запаси
8	A ₁	5	5	5	15
9	A ₂			5	5
10	Заявки	5	5	10	
11	50	25	5	20	
12	1-й етап (A→C)				

Рисунок 3.15 – Excel-таблиця розв'язання 1-го етапу перевезення вантажу від двох його постачальників A_1 та A_2 до трьох проміжних пунктів C_1, C_2, C_3

Як бачимо зі схеми (див. рис. 3.16) перевезення вантажу повністю завантажують усі складські приміщення проміжних пунктів зберігання вантажу ($A_1 \rightarrow C_1 = 5$ о.в., $A_1 \rightarrow C_2 = 5$ о.в., $A_1 \rightarrow C_3 = 5$ о.в., $A_2 \rightarrow C_3 = 5$ о.в.).

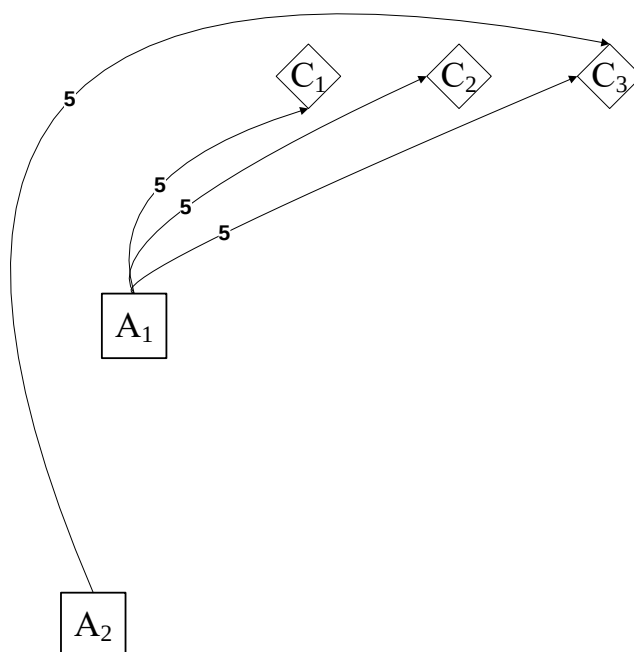


Рисунок 3.16 – Оптимальна схема розв’язання 1-го етапу перевезення вантажу від двох його постачальників A_1 та A_2 до трьох проміжних пунктів C_1 , C_2 , C_3

Далі розглянемо перевезення вантажу на другому його етапу, тобто перевезення вантажу від трьох його проміжних пунктів C_1 , C_2 та C_3 до чотирьох його споживачів – B_1 , B_2 , B_3 , та B_4 . Цей процес зображений на рис. 3.17.

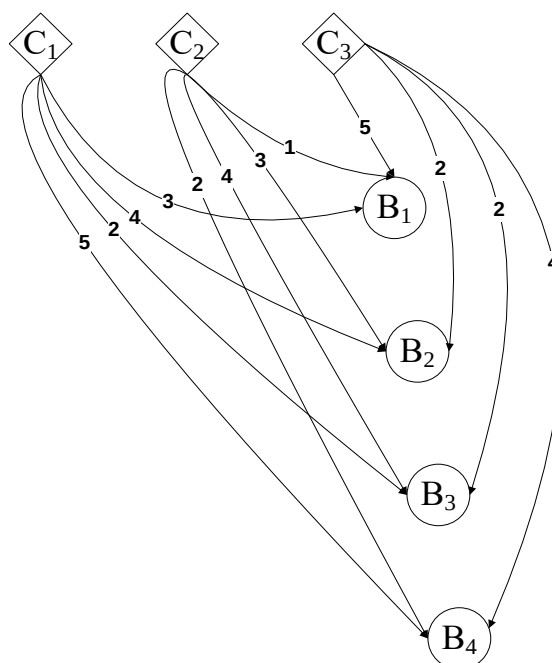


Рисунок 3.17 – Вихідна схема перевезення вантажу на 2-му етапі від трьох проміжних пунктів C_1 , C_2 , C_3 до чотирьох його споживачів – B_1 , B_2 , B_3 , та B_4

На рис. 3.18 представлена таблиця Excel на вирішення схеми перевезення вантажу, яка зображена на рис. 3.17, а на рис. 3.19 – оптимальна схема його перевезення (обсяги перевезення вантажів між відповідними вузлами вказані на дугах, що їх з'єднують).

	A	B	C	D	E	F
1		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси
2	C ₁	3	4	2	5	5
3	C ₂	1	3	4	2	5
4	C ₃	5	2	2	4	10
5	Заявки	10	10	10	20	
6						
7						
8		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Запаси
9	C ₁			5		5
10	C ₂	5				5
11	C ₃		5	5		10
12	Заявки	5	5	10	0	
13	35	5	10	20	0	
14		2-й етап (C→B)				

Рисунок 3.18 – Excel-таблиця розв'язання 2-го етапу перевезення вантажу від трьох проміжних пунктів C_1 , C_2 , C_3 до чотирьох його споживачів – B_1 , B_2 , B_2 , та B_4

Як бачимо зі схеми (див. рис. 3.19) перевезення вантажу здійснюються по найкоротшим шляхам від проміжних пунктів зберігання вантажу до його споживачів ($C_1 \rightarrow B_3 = 5$ о.в., $C_2 \rightarrow B_1 = 5$ о.в., $C_3 \rightarrow B_2 = 5$ о.в., $C_3 \rightarrow B_4 = 5$ о.в.).

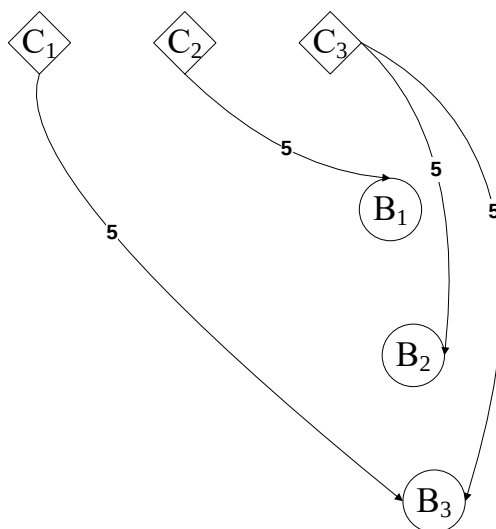


Рисунок 3.19 – Оптимальна схема розв'язання 2-го етапу перевезення вантажу від трьох проміжних пунктів C_1 , C_2 , C_3 до чотирьох його споживачів – B_1 , B_2 , B_2 , та B_4

Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

- по-перше, окремі розрахунки вартостей доставки вантажу: по схемі $A \rightarrow B$ (від постачальників вантажу до його споживачів) склав 110 умовних грошових одиниць вантажу (у.г.о.) – рис. 3.12; по схемі $A \rightarrow C$ (від постачальників вантажу до проміжних пунктів) склав 50 у.г.о. – рис. 3.15; по схемі $C \rightarrow B$ (від проміжних пунктів до споживачів вантажу) склав 35 у.г.о. – рис. 3.18, що у сумі складає 195 у.г.о.;
- по-друге, вартість доставки вантажу, яка розрахована у загальній сукупності усіх трьох схем доставки вантажу дорівнює 190 у.г.о. – рис. 3.5;
- при розв’язанні багатоетапних транспортних завдань при здійсненні незбалансованих вантажних перевезень з метою отримання більш економічно вигідного плану перевезень потрібно виконувати розрахунки у загальній сукупності усіх трьох схем доставки вантажу.

3.3 Управління незбалансованими вантажними перевезеннями на транспортній мережі України за допомогою системи підтримки прийняття рішень

Перш ніж зупинитися на розгляді способів оптимізації перевезення вантажів в умовах невідповідності обсягів їхньої пропозиції обсягам їх попиту, дамо деякі визначення транспортного процесу перевезення вантажів [32].

Припустимо, що з m пунктів постачання (ПП) $A_1, A_2, \dots, A_m$, у яких зосереджені запаси однорідного вантажу в кількості $a_1, a_2, \dots, a_m$ одиниць, необхідно перевезти цей вантаж до n пунктів споживання (ПС) $B_1, B_2, \dots, B_n$ згідно з заявками, що надійшли від них, на $b_1, b_2, \dots, b_n$ од. Також передбачається, що сума всіх заявок дорівнює сумі всіх запасів, а саме:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j. \quad (3.5)$$

Таблиця витрат на перевезення одиниці вантажу (о.в.) між кожним ПП та кожним ПС, а також таблиця відповідних обсягів перевезення X наведено у наступному вигляді:

$$C = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ \hline c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \\ \hline \end{array} \quad X = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \hline x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \\ \hline \end{array}$$

де c_{ij} – вартість перевезення *о.в.* з A_i до B_j , а x_{ij} – обсяг вантажу, перевезеного між транспортними вузлами. Необхідно перевезти вантаж так, щоб були задоволені всі заявки і при цьому загальна вартість (Z) всіх перевезень була мінімальною, тобто.

$$Z = c_{11} \times x_{11} + c_{12} \times x_{12} + \dots + c_{mn} \times x_{mn} = \min \quad (3.6)$$

Вантажні перевезення, що відповідають умові (3.5), називаються закритими або збалансованими [96].

Найбільш відомі три методи приведення відкритих вантажних перевезень до збалансованого виду [45, 75]:

- запровадження додаткового (фіктивного) транспортного вузла (або ПП, або ПС) вантажу – метод фіктивного постачальника/споживача;
- зменшення обсягу пропозиції (попиту) на величину невідповідності в одному з ПП (ПС) – різницевий метод;
- пропорційне обсягу запасів (заявок), зменшення пропозиції (попиту) обсягу вантажу по всіх без винятку ПП (ПС) – метод коефіцієнтів.

Перший метод має два варіанти використання:

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

потреба додаткової фіктивної ПС B_{n+1} становить $b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j$;

б) якщо $\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$, тобто попит перевищує пропозицію. І тут запаси

фіктивного ПП A_{m+1} рівні $a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i$.

При цьому в обох випадках у таблиці собівартості C з'являється додатковий стовпець або рядок, що означає нульові транспортні витрати. Вантажні перевезення стають збалансованими, але при цьому частково або повністю не вивозиться вантаж в окремих ПП при запровадженні додаткового ПС або частково або повністю не задовольняються заявки на приймання вантажу деякими ПС при введенні додаткового ПП.

При *другому способі* приведення вантажних перевезень до збалансованого виду різницевий модуль $\left| \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j \right|$ віднімається з ПП (при $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$), що має найбільше значення пропозиції, або з ПС (при $\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$), що має найбільше значення попиту. Цей метод незастосовний у тому випадку, коли найбільша величина пропозиції (попиту), яка зменшується, менша від модуля різниці $\left| \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j \right|$.

У основі *третього методу* лежить пропорційне скорочення пропозиції (попиту) всіх без винятку вантажів ПП чи ПС. У разі перевищення запасів вантажу над попитом на нього розраховується коефіцієнт зниження обсягів пропозиції:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j}{\sum_{i=1}^m a_i} \quad (3.7)$$

Після цього обсяги вантажоподачі всіх ПП ($i=1, m$) зменшуються до значень $a_i^* = (1-k) \cdot a_i$ і вантажні перевезення стають збалансованими з однаковими обсягами заявок b_j ($j=1, n$) і тією самою розмірністю.

Якщо попит на вантаж перевищує його пропозицію, за формулою (3.8) розраховується відповідний коефіцієнт зменшення обсягів заявок ПС ($j=1, n$). Потім ці обсяги попиту зводяться до значень $b_j^* = (1-k) \cdot b_j$ і вантажні перевезення стають збалансованими з тими ж обсягами запасів a_i ($i=1, m$) і тією ж розмірністю.

$$k = \frac{\sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i}{\sum_{j=1}^n b_j} \quad (3.8)$$

А так як вантажні перевезення, представлені у вигляді транспортного завдання, є окремим випадком загальної задачі лінійного програмування (ЗЛП), то до неї цілком можна застосувати найбільш відомий метод вирішення ЗЛП – симплекс-метод (це буде *четвертий метод*), попередньо адаптувавши транспортну задачу до форми завдання лінійного програмування та враховуючи її специфіку [33].

Розглянемо покрокову роботу системи підтримки прийняття рішень управління незбалансованими вантажними перевезеннями (СПРУВП) на транспортній мережі України [100-102]:

1-й крок: вибір ПП та ПС вантажу та призначення їх обсягів попиту та пропозиції (у даному прикладі загальна потреба у вантажі перевищує його загальну пропозицію на 10 о.в.):

Оптимізація вантажних перевезень

Міста-постачальники		Міста України	Міста-споживачі	
Місто	Пропозиція		Місто	Попит
Полтава	50	Вінниця Дніпро Донецьк Житомир Запорожжя Київ Кропивницький Луганськ Луцьк Львів Миколаїв Одеса Рівне Сімферополь Тернопіль	Івано-Франківськ	80
Суми	50		Хмельницький	40
Черкаси	50		Чернівці	40
Всього	150		Всього	160

Навігаційні кнопки: < >

2-й крок: знаходження найкоротших маршрутів перевезення вантажу:

899	Полтава -> Київ -> Житомир -> Хмельницький -> Тернопіль -> Івано-Франківськ
653	Полтава -> Київ -> Житомир -> Хмельницький
843	Полтава -> Київ -> Житомир -> Хмельницький -> Чернівці
908	Суми -> Київ -> Житомир -> Хмельницький -> Тернопіль -> Івано-Франківськ
662	Суми -> Київ -> Житомир -> Хмельницький
852	Суми -> Київ -> Житомир -> Хмельницький -> Чернівці
752	Черкаси -> Київ -> Житомир -> Хмельницький -> Тернопіль -> Івано-Франківськ
506	Черкаси -> Київ -> Житомир -> Хмельницький
696	Черкаси -> Київ -> Житомир -> Хмельницький -> Чернівці

3-й крок: отримання оптимального плану перевезення вантажу:

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 !!!

Rizn: 126929
Kof: 138468
Fikt: 132698
Simp: 115390

4-й крок: побудова оптимального плану перевезення вантажу у ТТ:

	Івано-Франківськ	Хмельницький	Чернівці
Полтава	0	40	10
Суми	30	0	20
Черкаси	50	0	0

В якості експерименту з метою виявлення пріоритетності перерахованих вище методів було вирішено 100 розбалансованих за обсягом вантажоперевезень практичних транспортних завдань з використанням СПРУВП управління вантажоперевезеннями для пошуку оптимальних планів вантажоперевезень. В результаті симплекс-метод був використаний у 48 випадках як метод приведення цих відкритих ТЗ до збалансованого вигляду та подальшого знаходження оптимального плану вантажоперевезень; метод коефіцієнтів у 27 випадках; метод фіктивних постачальників/споживачів у 16 випадках та різницевий метод у 9 випадках.

Наведені вище теоретичні відомості про існуючі методи приведення відкритих ТЗ до збалансованого виду та проведені на їх основі експериментальні дослідження з оптимізації вантажних перевезень, отримані за допомогою розробленого програмного комплексу, дозволяють зробити такі висновки:

по-перше, симплекс-метод показав свою ефективність та затребуваність при пошуку оптимальних планів вантажних перевезень як збалансованих, так і незбалансованих ТЗ;

по-друге, метод пропорційного зменшення обсягів попиту (пропозиції) вантажів серед учасників перевізного процесу, тобто метод коефіцієнтів, має більш «справедливий» характер, що проявляється у перерозподілі обсягів перевезень;

по-третє, різницевий метод зменшення обсягу пропозиції (попиту) на величину невідповідності в одному з ПП (ПС) не можна застосовувати в тому випадку, коли найбільша величина пропозиції (попиту) менша за величину цієї невідповідності;

по-четверте, аналіз результатів застосування всіх методів на багатьох практичних прикладах дозволяє зробити висновок, що жоден з них не має абсолютної переваги над іншими. Цей факт пояснюється тим, що кожен із методів в окремих випадках його застосування показав кращий результат порівняно з іншими;

по-п'яте, використання описаного вище програмного комплексу для підтримки прийняття рішень щодо здійснення вантажоперевезень у відкритих мережевих ТМ дозволить практично завжди вибирати найбільш вигідні, з економічної точки зору, рішення;

і, нарешті, *по-шосте*, всі перелічені вище методи приведення відкритих ТЗ до збалансованого вигляду можуть бути використані і для мережевих ТЗ. Це обов'язковий підготовчий (попередній) етап перед застосуванням процедур оптимізації транспортних вантажних перевезень на мережевих моделях транспортних систем.

Спільне використання описаних у роботі методів вирішення транспортних завдань на відкритій мережі, а саме методу знаходження найкоротших маршрутів на транспортній мережі та методів приведення відкритих ТЗ до збалансованого виду, дозволяє отримати високу економічну та організаційну та технічний ефект, що доведено під час пошуку оптимальних вантажних планів перевезень на автотранспортні підприємства Асоціації міжнародних автомобільних перевізників України.

3.4 Технологія застосування системи тягових плечей

Наразі транспортна система України не повною мірою готова забезпечувати перевезення у зростаючих обсягах. Внаслідок недостатнього розвитку нормативно-правової бази та низького інвестиційного потенціалу транспортно-дорожнього комплексу (ТДК) збільшується знос технічних засобів, погіршується їх структура, не забезпечується надійна безпека руху, посилюється негативний вплив транспортної діяльності на природне середовище та здоров'я людини. Все це в умовах жорсткої конкуренції призводить до витіснення українських перевізників із міжнародних ринків транспортних послуг, знижує якість обслуговування вітчизняних підприємств та населення, створює реальну загрозу економічній безпеці держави.

Основними проблемами, що стримують забезпечення зростаючого попиту на транспортні послуги за обсягом та якістю, є:

- недостатнє оновлення основних фондів усіх видів транспорту та дорожнього господарства, невідповідність їх технічного рівня перспективним вимогам;
- низький рівень міжгалузевої координації у розвитку транспортної інфраструктури;

- слабкий ступінь використання геополітичного становища України та можливостей її транспортних комунікацій для міжнародного транзиту вантажів через територію України;
- повільне вдосконалення транспортних технологій та недостатній їх зв'язок з виробничими, торговими, складськими та митними технологіями;
- неприпустимо низький рівень інформатизації транспортного процесу та інформаційної взаємодії транспорту з іншими галузями економіки;
- недостатня ефективність фінансово-економічних механізмів, що стимулюють залучення інвестицій для розвитку транспорту;
- відставання у реалізації державних та галузевих програм у галузі окремих видів діяльності, видів транспорту, транспортного машинобудування, розвитку державного кордону [103].

Прискорення вирішення цих завдань є надзвичайно важливим не тільки для транспортної галузі, а й для держави в цілому, ефективного функціонування її виробничої та соціальної сфер, що багато в чому забезпечується стабільною та надійною роботою транспорту. Роль транспорту у розвитку зовнішньоекономічних зв'язків та реалізації геополітичного потенціалу України як транзитної держави стає дедалі важливішою.

Усе це визначає необхідність реалізації комплексу організаційно-правових, економічних та техніко-технологічних заходів, розрахованих як на найближчу, так і на довгострокову перспективу, які б забезпечили розвиток транспортно-дорожнього комплексу в найбільш тісному поєднанні з процесами, що відбуваються у світовій та вітчизняній економіці. сприяли розвитку продуктивних сил країни, соціальної мобільності населення [42, 104].

За даними Асоціації міжнародних автомобільних перевізників (АсМАП) України, станом на 31.12.2021 р. автомобільний парк у перевізників-учасників на 43% складався з вантажівок класу «Євро-3» , 23% – «Євро-2», 22% – «Євро-5», автомобілі класу «Євро-4» складала всього 5%, а «Євро-6» – 0,2%. Повний якісний

склад автомобільного парку у перевізників-учасників АсМАП України наведено на рисунку 3.24.

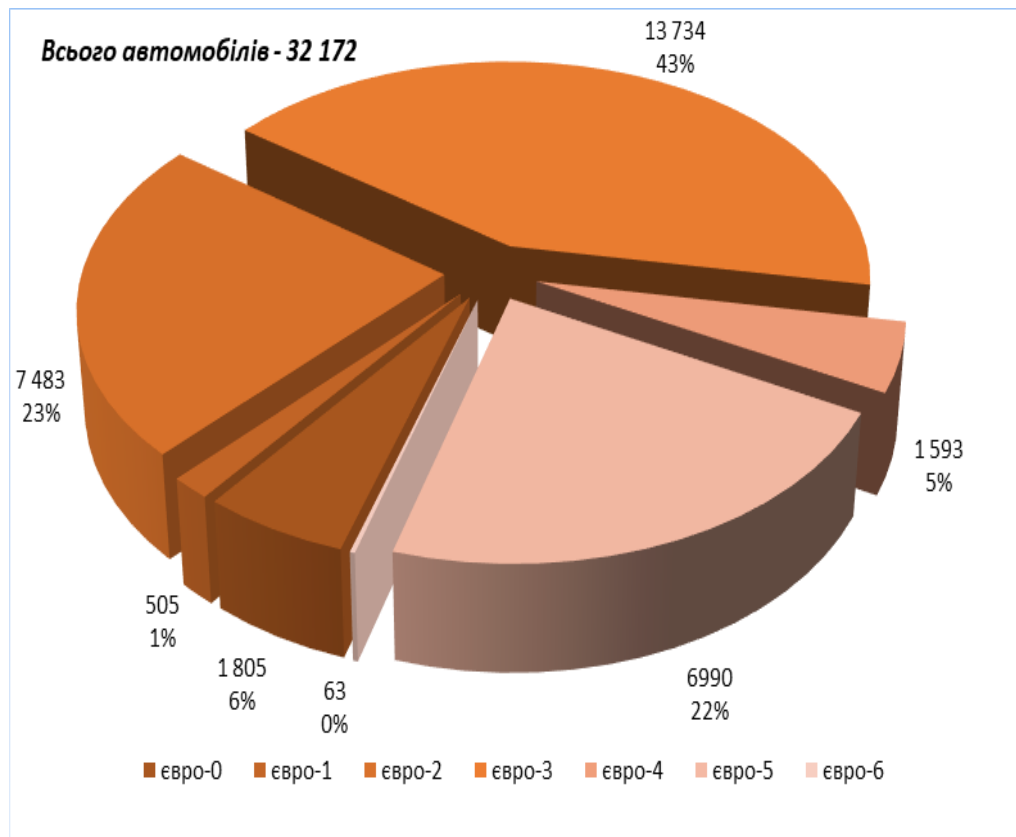


Рисунок 3.20 – Якісний склад парку рухомого складу України

Особливо відчутними дані проблеми стають зараз, коли в Європі провадиться політика зменшення шкоди, яка завдається навколишньому середовищу, шляхом обмеження можливості користування транспортною інфраструктурою в залежності від технічних характеристик транспорту, що, на думку експертів, повинно позитивно вплинути на екологічну ситуації в Європі. За таких висуває жорсткі вимоги до екологічного класу автомобілів, що заїжджають на її територію.

Відповідно до підписаної з Європейським Союзом угодою та вимог Закону України «Про деякі питання ввезення на митну територію України та реєстрації транспортних засобів», з 1 січня 2016 року в Україні введена заборона на ввезення і реєстрацію як нових, так і старих автотранспортних засобів нижчих за норми екологічного стандарту «Євро-5» (за винятком транспортних засобів, вироблених в Україні або ввезених на митну територію України до 31 грудня 2015 року включно) [71].

Європа є одним із найпріоритетніших напрямків зовнішньої торгівлі України, що зображено на рисунку 3.21. Тому, запитання з прийняття заходів щодо максимального залучення українських перевізників до міжнародних перевезень в напрямку Європи є таким важливим. Не зважаючи на жорстку конкуренцію з боку європейських перевізників, які мають вагомі переваги в парку рухомого складу, добитися максимальної продуктивності в європейському напрямку можливо навіть підприємствам-перевізникам, РС яких не може заїжджати на територію Європейського Союзу (ЄС).

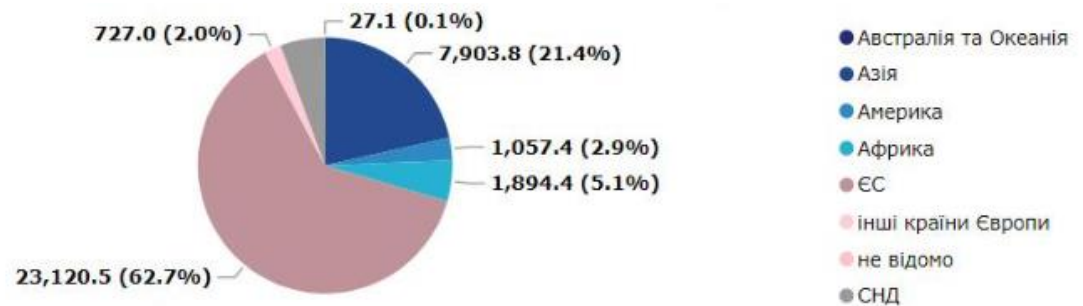


Рисунок 3.21 – Експорт України за регіонами світу в 2022р., млн USD

Залучити максимальну кількість українських вантажівок в перевезення вантажів у напрямку Європи можна розділивши той чи інший маршрут на ділянки та застосувавши систему тягових плечей [105].

Система тягових плечей на маршруті дозволяє скоротити час перевезення вантажів, уникнути подвійної роботи водіїв, підвищити оперативність диспетчерського управління та значно підвищити продуктивність рухомого складу за рахунок його завантаження у прямому та зворотному напрямках, а також створює кращі умови праці для водіїв, які мають можливість щодня повертатися на своє АТП, що виключає можливість їхнього відрядження. А у разі перевезення Україна-ЄС також дозволяє максимально використати українські тягачі [106].

При використанні системи тягових плечей лінійні тягачі повертають тільки на певних ділянках шляху, а напівпричепи переміщуються з вантажем протягом усього процесу його доставки, входячи в локальний розворот маневрений в кінцевих точках шляху, рух рухомого складу показаний на рис. 3.22.

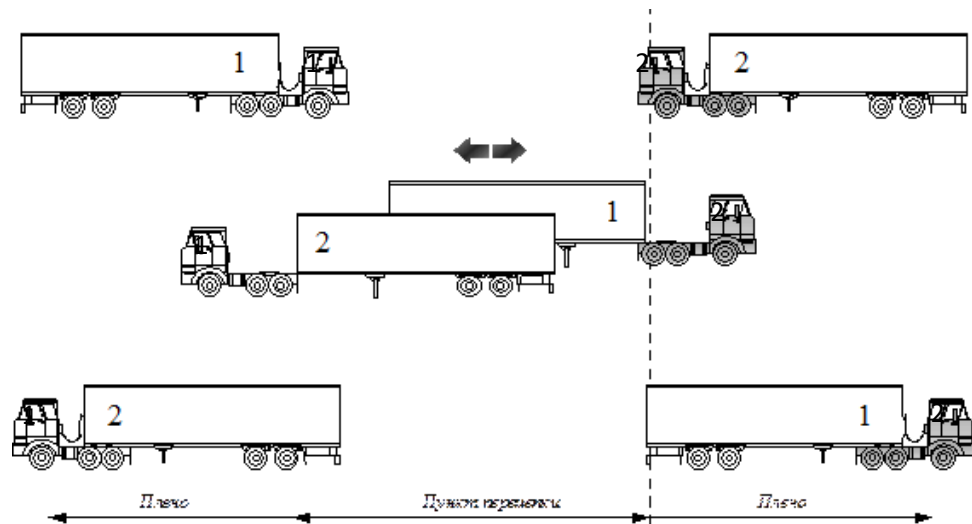


Рисунок 3.22 – Схема маршрутів та оборотів тягачів при застосування системи тягових плечей

Після вивантаження напівпричіп завантажується в тій самій точці маршруту або, якщо тут немає вантажу, прямує до іншої прилеглої точки, де є дефіцит порожніх вагонів. З прийому напівпричепом чергового вантажу починається новий цикл його обороту. У практиці оперативних розрахунків поняття «вантажопідйомність напівпричепа» замінено поняттям «вантажопідйомність напівпричепа замкнутим (кільцевим) маршрутом» з обов'язковою вимогою повернення його в точку перше завантаження [107].

У міжнародних перевезеннях Україна-ЄС та ЄС-Україна перевантажувальним пунктом може виступати вантажний термінал, розташований на українській стороні кордону. Саме цей метод забезпечить роботу українських перевізників, які поки що не можуть перетнути кордон з ЄС. Фактично тягачі європейських перевізників проїдуть частину маршруту, що припадає на територію ЄС, а українські тягачі виконуватимуть роботи на території України.

Оцінити ефективність системи тягових плечей порівняно з маятниковим маршрутом можна на прикладі вантажоперевезень маршрутами Житомир (Україна) – Гданськ (Польща) у прямому напрямку та Гданськ (Польща) – Житомир (Україна) у зворотному напрямку.

У разі використання системи тягових плечей зміни напівпричепів буде вантажний термінал біля КПП (п/п) Ягодин. Рух на відповідних ділянках

здійснюється з перевантаженням та поверненням автомобіля до місця завантаження, тому коловий маршрут.

На рис. 3.23 показано, що вантажоперевезення з використанням системи тягових плечей здійснюватимуться по тому самому маршруту, але поділеному на ділянки для кожного автомобіля, за умови виїзду автомобілів з Гданська та Житомира в один і той же час (з урахуванням відстані до залізничного вокзалу Ягодин)) і пересуватися кожен на своєму плечі.

У першому випадку загальна довжина маршруту Житомир (Україна) – Гданськ (Польща) (L_m) становить 1081 км. Розглянуто два маятникові маршрути, які виконуються одночасно різним рухомим складом у різних напрямках. При цьому коефіцієнт пробігу рухомого складу (β) дорівнює 0,5, тому що вантажі у напрямку Житомир – Гданськ та Гданськ – Житомир перевозяться у різних транспортних засобах та сумарний пробіг за два вагони з вантажем ($2 \cdot l_{\text{гр}}$) $2 \cdot 1081 = 2162$ км

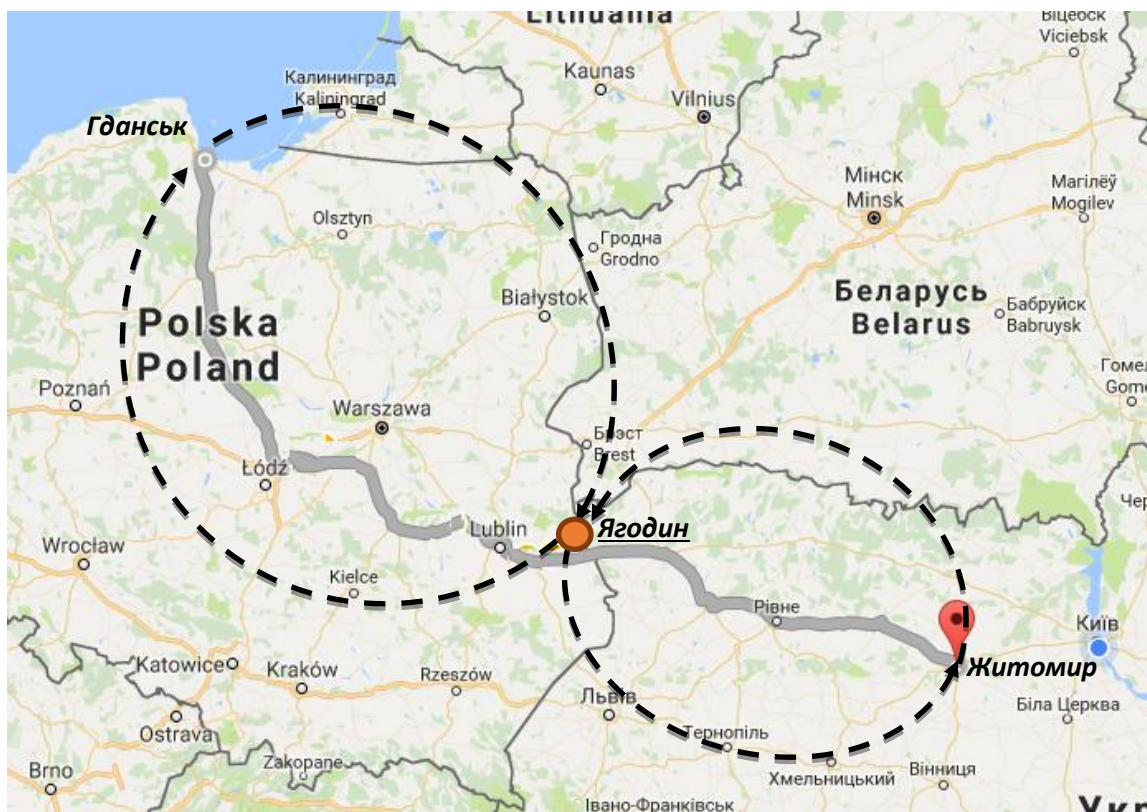


Рисунок 3.23 – Маятникові маршрути Житомир – п/п Ягодин та Гданськ – п/п Ягодин із зворотнім порожнім пробігом

За умови застосування системи тягових плечей на запропонованому маршруті, коефіцієнт використання пробігу рухомого складу (β) становить 1, тому що при

заміні напівпричепів зникають порожні пробіги. При цьому автомобілі здійснюють оберт на ділянці Житомир – п/п Ягодин – Житомир, де довжина плеча (l_{nl1}) складає 400 км, відстань навантаженої їздки (l_{ei1}) 800 км, та на ділянці Гданськ – п/п Ягодин – Гданськ, де довжина плеча (l_{nl2}) складає 681 км, відстань навантаженої їздки (l_{ei}) 1362 км і, відповідно, загальний пробіг для двох автомобілів з вантажем ($2 \cdot l_{ei}$) становить $2 \cdot 1081 = 2162$ км.

Також під час розрахунків враховується час відпочинку водіїв. Згідно з Європейською угодою про роботу екіпажів транспортних засобів, що здійснюють міжнародні автомобільні перевезення (ЕСТР), водій має право працювати не більше 9 годин на добу, крім того, кожні 4,5 години він повинен відпочивати 45 хвилин, а через кожні 9 годин робітник повинен відпочивати 11 годин [71]. Отже, на кожні 9 годин роботи водія припадає 11 годин. та 45 хв. Відпочинок.

У таблиці 3.5 наведено порівняльний аналіз різних способів організації руху під час перевезення вантажів у міжнародному сполученні.

Таблиця 3.5 – Порівняння економічної ефективності маятникової траси зі зворотним порожнім ходом та системою тягових плечей

	Умовне позначення, одиниці виміру	Маятниковий	Система тягових плечей	
		Житомир-Гданськ, Гданськ-Житомир	Гданськ-Ягодин-Гданськ	Житомир-Ягодин-Житомир
Відстань навантаженої їздки	$l_{ei}, \text{ км}$	2162	1362	800
Час їздки автомобільного транспортного засобу	$t_i, \text{ год}$	41,89	29,46	21,43
Годинна продуктивність роботи транспортного засобу	$P_{za}, \text{ т/год}$	1,14	1,08	
Собівартість перевезення для одного транспортного засобу	$S_{ka}, \text{ грн/конт}$	33020,21	31232,39	
Розрахункова ставка фрахту на перевезення одного транспортного засобу	$f_{ka}, \text{ грн/конт}$	42926,28	40602,11	
Витрати на виконання рейсу транспортним засобом	$C_{pa}, \text{ грн}$	33020,21	62464,78	
Доходи від виконаного рейсу	$V_{da}, \text{ грн}$	42926,28	81204,21	

Продовження таблиці 3.5

Валовий прибуток від автомобільного перевезення	$F_a, \text{ грн}$	4526,16	18739,43	
Час рейсу автомобіля (1 водій)	$t_{p1}, \text{ год}$	103,64	66,96	21,43
Час рейсу автомобіля (2 водії)	$t_{p2}, \text{ год}$	53,89	29,46	21,43

Аналіз показників ефективності, які наведені у таблиці 3.5 виявив, годинна продуктивність автомобіля (P_{ca}) на маршруті, що здійснюється із застосуванням системи тягових плечей є нижчою, ніж на маятниковому маршруті, що ми бачимо на рисунку 3.24. Але в даному випадку ключову роль грає те, що валовий прибуток (V_{da}) збільшується більше, ніж вдвічі за рахунок виконання рейсу у істотно скорочені терміни.

Застосування системи тягових плечей характеризується зменшенням загального часу рейсу майже на 50%, як для екіпажу з одним, так і з двома водіями, рисунок 3.25.



Рисунок 3.24 – Годинна продуктивність роботи транспортного засобу

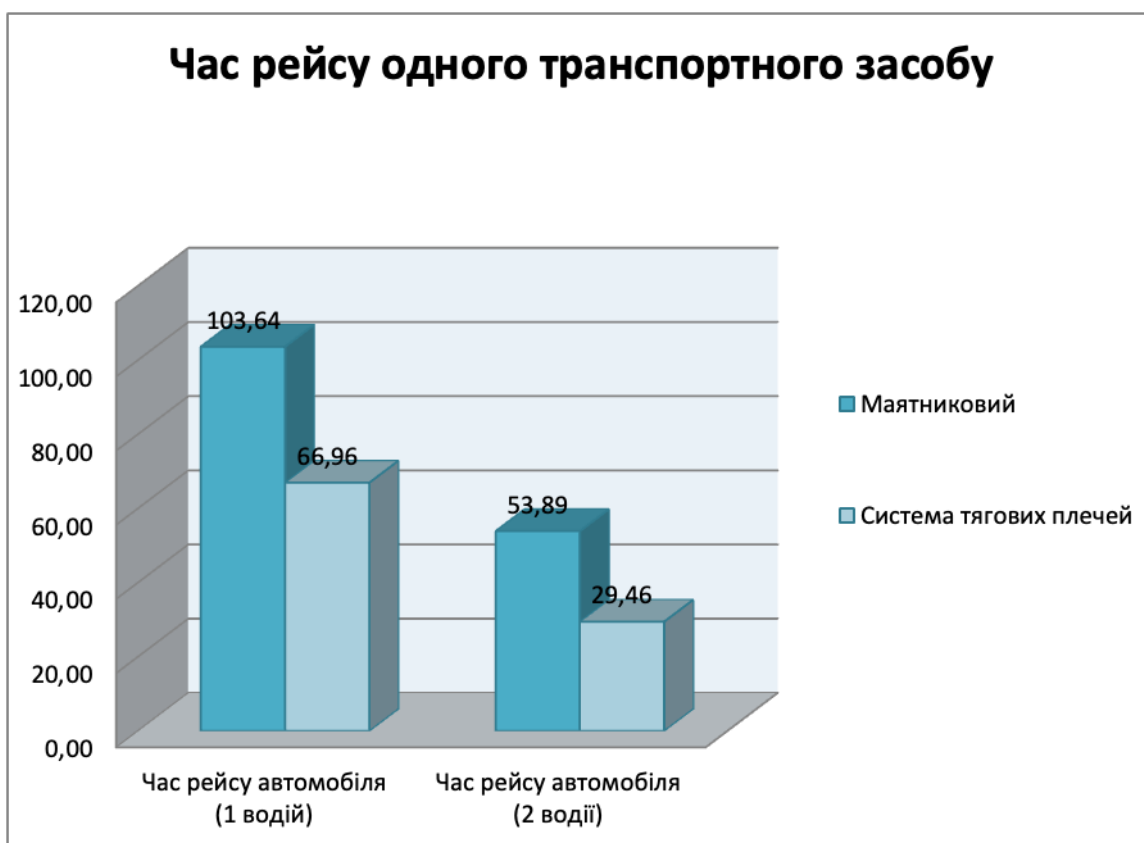


Рисунок 3.25 – Час рейсу одного транспортного засобу

Така різниця в часі в рейсі збільшує оборотність рухомого складу, а також дозволяє обходитися екіпажом, що складається з 1 водія, що знижує витрати фонду оплати праці, при цьому час польоту одного машиніста на маршруті з використанням системи тягових плечей становить 2 дні, а також для двох водіїв на маятниковому маршруті.

Щомісячний оборот рухомого складу також зростає. Таким чином, у разі роботи одного водія на маршруті згідно з ЕУТР при сумарному обліку робочого часу водія за календарний місяць час керування транспортним засобом не може перевищувати 56 годин на тиждень із шістьма періодами щоденне водіння, а щотижневий обов'язковий відпочинок становить 24 години [71].

В такому випадку, кількість обертів за місяць для автомобіля, що здійснює рейс за маятниковим маршрутом довжиною 2162 км. Житомир–Гданськ–Житомир дорівнює 6 обертів/місяць. Для автомобіля, що рухається по довшому плечу маршруту із застосуванням системи тягових плечей Гданськ–Ягодин–Гданськ, довжиною 1362 км – 3,35 обертів/місяць. Для автомобіля, що рухається по

коротшому плечу маршруту із застосуванням системи тягових плечей Житомир–Ягодин–Житомир довжиною 800 км – 7,6 обертів/місяць.

Переваги руху системою тягових плечей порівняно з наскрізним рухом по всьому маршруту полягають у скороченні часу на оберт автомобіля, можливості здійснювати поїздки виключно територією України, поліпшення умов праці водіїв. .

3.5 Висновки по розділу 3

На основі розгляду прикладів моделювання процесів організації міжнародних вантажних перевезень:

1. Розроблена технологія формування матрично-мережевої моделі оптимізації вантажних перевезень на транспортній мережі є повним циклом знаходження оптимальних планів вантажних перевезень, починаючи від завдання вхідних даних ТМ до отримання кінцевого результату. Другий та третій етапи технології включають унікальне алгоритмічне та програмне забезпечення побудови матриці кореспонденцій та транспортної таблиці.

Технологія формування МММ організації вантажних перевезень на транспортних мережах пройшла експериментальну перевірку як для транспортних завдань малої та середньої розмірності (то 10 до 100 транспортних вузлів), так і для транспортних завдань великої розмірності (від 101 до 600 транспортних вузлів) – транспортної системи України, показав при цьому свою ефективність і оперативність.

2. У процесі вантажоперевезень часто виникає ситуація, коли обсяг поставок вантажу, що перевозиться, перевищує місткість складу замовника. У цьому випадку ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання зайвого вантажу та, як наслідок, багатоетапним транспортним завданням. У розділі описаний підхід, який вирішує завдання поетапного перевезення вантажів у її мережевому поданні серед Excel. При цьому розглядаються випадки, коли сумарні складські потужності замовника і проміжних пунктів рівні більше або менше обсягу вантажу, що перевозиться.

3. Наведені вище теоретичні відомості про існуючі методи приведення відкритих ТЗ до збалансованого виду та проведені на їх основі експериментальні дослідження з оптимізації вантажних перевезень, отримані за допомогою розробленого програмного комплексу, дозволяють зробити такі висновки:

- симплекс-метод показав свою ефективність та затребуваність при пошуку оптимальних планів вантажних перевезень як збалансованих, так і неврівноважених транспортних засобів;

- спосіб пропорційного зменшення обсягів попиту (пропозиції) вантажів серед учасників перевізного процесу, тобто. метод коефіцієнтів, носить більш «справедливий» характер, що проявляється у перерозподілі обсягів перевезень;

- диференціальний метод зменшення суми пропозиції (попиту) на величину нев'язки в одному з ПП (ПС) не можна застосовувати у разі, коли найбільша величина пропозиції (попиту) менша за величину цієї суми невідповідності;

- аналіз результатів використання всіх методів на безлічі практичних прикладів дозволяє зробити висновок, що жоден з них не має абсолютної переваги над іншими. Цей факт пояснюється тим, що кожен із методів в окремих випадках його застосування показав кращий результат порівняно з іншими;

- використання описаної вище системи підтримки прийняття рішень щодо управління незбалансованими вантажоперевезеннями на транспортній мережі дозволить на практиці завжди обирати найвигідніші з економічного погляду рішення;

- всі перераховані вище методи приведення відкритих ТЗ до збалансованого виду можна використовувати і для мережових ТЗ. Це обов'язковий підготовчий (попередній) етап перед застосуванням процедур оптимізації транспортних вантажних перевезень на мережових моделях транспортних систем.

Спільне використання описаних у роботі методів вирішення транспортних завдань на відкритій мережі, а саме методу знаходження найкоротших маршрутів на транспортній мережі та методів приведення відкритих ТЗ до збалансованого виду, дозволяє отримати високу економічну та організаційну та технічний ефект, що доведено під час пошуку оптимальних вантажних планів перевезень на

автотранспортні підприємства Асоціації міжнародних автомобільних перевізників України.

4. Введення руху по системі тягових плечей при регулярних міжнародних перевезеннях вантажів дозволить збільшити кількість автомобілів українських АТП в рейсах, що включають європейські шляхи. При цьому, ця технологія дозволяє скоротити час рейсу автомобіля від 24% на довшому відрізку до 74% на коротшому відрізку маршруту. Відповідно, і показник місячної оборотності рухомого складу підвищується від 35% до 48%.

Також, технологія застосування тягових плечей дозволяє залучати екіпажі у складі лише одного водія, поліпшувати умови праці водіїв та економити кошти на виплату відряджень водіям, отримати позитивну різницю у підвищенні продуктивності рухомого складу, як за використанням вантажопід'ємності транспорту, так і за суттєвим підвищенням його оборотності при відносно рівній собівартості перевезень.

РОЗДІЛ 4

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Організація незбалансованих перевезень вантажів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні

Внаслідок соціально-економічних змін, що відбуваються в Україні, та під впливом явищ глобалізації зазнають змін логістичні ланцюжки поставок товарів та сировини на підприємствах. Вони стають довшими і складнішими за структурою. Під впливом інформаційних технологій, що супроводжують матеріальні та фінансові потоки, посилюється інтеграція окремих ланок ланцюгів поставок, що є самостійними господарськими одиницями. Розширюється і географія руху матеріальних потоків, що проявляється, зокрема, у збільшенні вантажоперевезень, як у міжміських, так і міжнародних автомобільних перевезеннях.

Сучасний підхід до організації перевезень вантажів вимагає використання сучасних засобів інформаційних технологій при оптимізації схем доставки вантажів. З урахуванням складу автопарку України за нормами Євро доцільно запроваджувати рух із використанням системи тягових плечей. У цьому випадку ми стикаємося із необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання зайвого вантажу. Розглянемо застосування багатоетапної транспортної задачі (БТЗ) розподілу вантажопотоків, що надходять на вантажні митні комплекси (ВМК), та використання інформаційних технологій для вирішення цих завдань.

Ефективність використання БТЗ за допомогою ВМК полягає у можливості приймання всіма складами, що є для організації цього виду перевезень, включаючи як ВМК, так і проміжні вантажні комплекси (ПВК). Беремо до уваги два варіанти вирішення поставленого завдання, а саме: 1) коли загальний обсяг вантажів від постачальників дорівнює, або менша сумарних вантажоприймальних можливостей ВМК та ПВК; 2) та за умови, що загальний обсяг вантажів від постачальників більший, ніж загальний обсяг вантажів, що приймаються, можливості ВМК та ПВК.

БТЗ вирішує завдання розміщення та напрямку вантажу для оптимальної організації роботи ланцюга, що працює з використанням системи тягових важелів та пропонує найбільш раціональні схеми відправлення вантажу на ВМК та ПВК.

При міжнародних перевезеннях вантажів з використанням системи тягових плечей за маршрутом Україна-ЄС та ЄС-Україна як перевалочний пункт може виступати вантажний термінал, розташований на українській стороні кордону [108, 109]. Західні області України, що межують із країнами-членами ЄС, за умови ефективної прикордонної співпраці дозволяють використати вигідний геополітичний потенціал держави [110]. Довгострокові проекти використання ВМК вздовж західного кордону є одним із варіантів раціоналізації вантажоперевезень, тому важлива оптимізація організації роботи та взаємодії транспортних компаній із терміналами та складами.

Організація міжнародних вантажних перевезень сьогодні потребує сучасних підходів до вирішення питань, тому використання сучасних засобів інформаційних технологій під час оптимізації схем доставки вантажів є необхідною складовою досліджень. Оскільки обсяги імпорту товарів з ЄС в Україну та експорту у зворотному напрямку різні, то проблема надходження зайвого вантажу на ВМК стоїть досить гостро, тому ми зіткнулися з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання зайвого вантажу та, як наслідок, з БТЗ що дозволить створювати оптимізовані графіки прибуття товарів на склади ВМК та ПВК.

Наведемо опис підходу, що вирішує задачу поетапного перевезення вантажів у її мережевому поданні в середовищі Excel [111] та інтеграцію задачі у програмування Delphi з використанням макросів VBA. При цьому розглянемо самий найскладніший варіант БТЗ, а саме, коли сумарні обсяги постачання вантажів постачальниками перевищують сумарні обсяги, які можуть бути прийняті складами та проміжними пунктами замовника.

Для цього варіанта БТЗ розглянемо, два ($m = 2$) постійних оптових постачальників однорідних вантажів (продуктів харчування) – пункти постачання (ПП) у містах Чернігів (A_1) та Умань (A_2), але у яких вона відповідно в обсягах: $a_1 = 300$ т/міс та $a_2 = 318$ т/міс та три ($n = 4$) ВМК – пункти споживання (ПС) у населених пунктах: Рава-Руська (B_1), Краківець (B_2), Шегіні (B_3) та Хирів (B_4), які розташовані вздовж кордону України у Львівській області, де здійснюватиметься перевалка експортних товарів. ВМК має заявки на цей вантаж в обсягах відповідно: $b_1 = 66$ т/міс, $b_2 = 44$ т/міс, $b_3 = 132$ т/міс та $b_4 = 88$ т/міс. При цьому сумарні обсяги поставок

цього вантажу (**618** т/міс) перевищують сумарні обсяги можливості ВМК прийому вантажу (**330** т/міс). Також існує два ($l = 3$) ПВК, що розташовані у наступних населених пунктах Львівської області: Червоноград (C_1), Радехів (C_2) та Броди (C_3) для тимчасового зберігання надлишкового вантажу, які можуть його розмістити в обсягах відповідно $c_1 = 66$ т/міс, $c_2 = 44$ т/міс та 88 т/міс (**198** т/міс).

Схема розміщення учасників транспортного процесу перевезення вантажів у міжнародному сполученні, а саме ПП, ПС (ВМК) та ПВК представлена на рис. 4.1. На транспортних комунікаціях вказані відстані між усіма транспортними вузлами цієї транспортної мережі (в км).

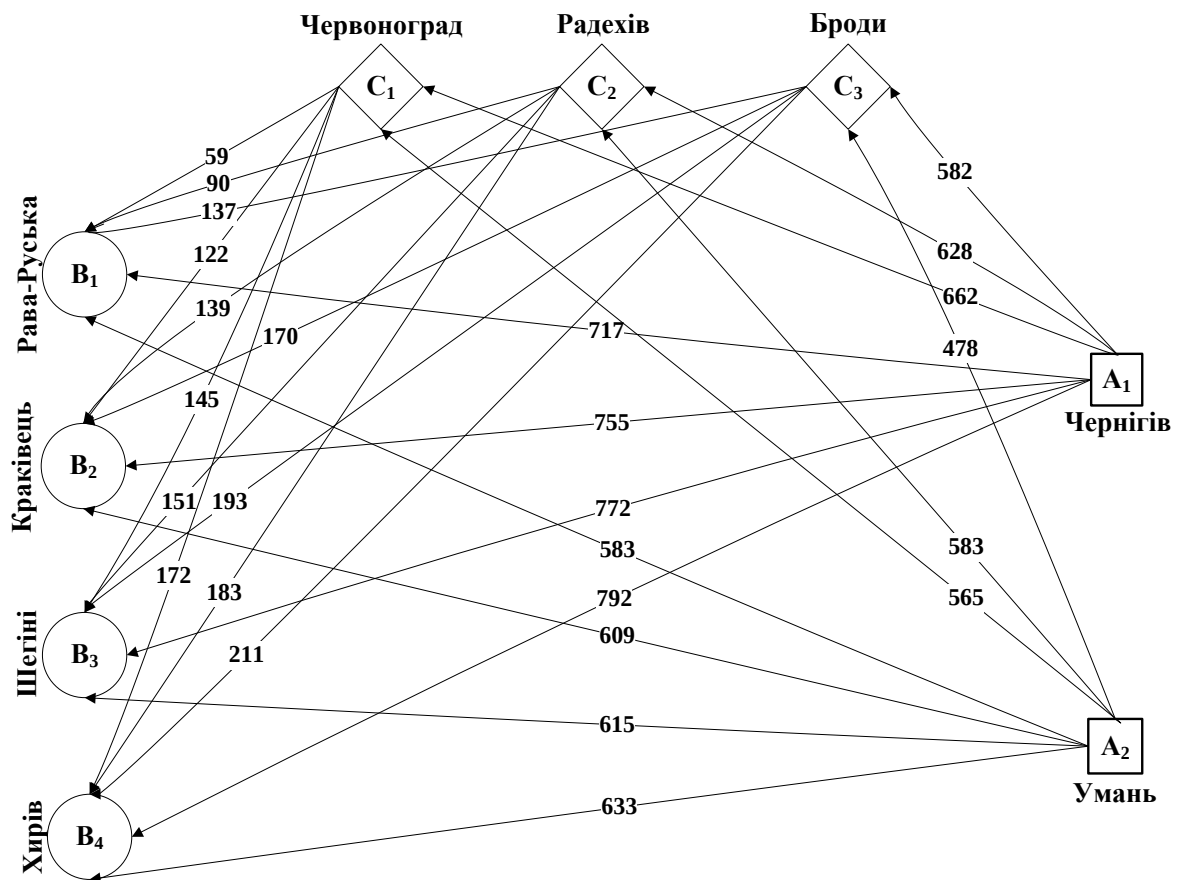


Рисунок 4.1 – Схема розміщення учасників транспортного процесу перевезення вантажів у міжнародному сполученні

З урахуванням вихідних даних $\sum_{i=1}^m a_i, \sum_{j=1}^n b_j$ і $\sum_{k=1}^l c_k$ виникає наступне

співвідношення:

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

Вибір цієї умови зумовлений необхідністю заздалегідь прогнозувати розміщення вантажу з урахуванням надлишків, які будуть відправлені на склади на кожному з етапів доставки для укладання довгострокових договорів на обслуговування постачальники.

На першому етапі розв'язання задачі здійснюється розподіл вантажів від постачальників (A_m) між ВМК (B_n) та ПВК (C_l). Витрати в кожному напрямку вимірюються у обсягах транспортної роботи, враховуючи віддаленість постачальників вантажів від ВМК і ПВК. Другий етап вирішення завдання розподіляє вантажі, що опинилися в проміжних пунктах між ВМК, для їхнього подальшого відправлення до Європи. На третьому етапі розв'язання задачі розподіляються залишки вантажів від постачальників до ВМК. Результати розв'язання БТЗ доставки вантажу з використанням середовища Excel представлені на рис. 4.2.

	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	717	755	772	792	300		C1	59	122	145	172	66
3	A2	583	609	615	633	318		C2	90	139	151	183	44
4	Заявки	66	44	132	88			C3	137	170	193	211	88
5								Заявки	66	44	132	88	
6													
7		B1	B2	B3	B4	Запаси			B1	B2	B3	B4	Запаси
8	A1	36				36		C1	66				66
9	A2	30	44	132	88	294		C2			44		44
10	Заявки	66	44	132	88			C3		44	44		88
11	206982	43302	26796	81180	55704			Заявки	66	44	88	0	
12								26510	3894	7480	15136	0	
13		1-й етап				417970				2-й етап			
14													
15		C1	C2	C3	Запаси				B1	B2	B3	B4	Запаси
16	A1	662	628	582	264			A1	717	755	772	792	66
17	A2	565	583	478	24			A2	583	609	615	633	24
18	Заявки	66	44	88				Заявки	66	44	132	88	
19													
20		C1	C2	C3	Запаси				B1	B2	B3	B4	Запаси
21	A1	66	44	88	198			A1	66				66
22	A2				0			A2		24			24
23	Заявки	66	44	88				Заявки	66	24	0	0	
24	122540	43692	27632	51216				61938	47322	14616	0	0	
25		1-й етап								3-й етап			

Рисунок 4.2 – Excel-таблиця розв'язання БТЗ

За результатами розрахунків отримуємо прогноз розміщення на 1-му та 2-му етапах перевезення вантажу, а також припущення про готовність усіх його отримувачів до розміщення даного вантажу в обсягах, що відповідають їхньому основному призначенню. Обсяги поставок першому і другому етапі рішення БТЗ представлені як оптимальних схем перевезення вантажу рисунку 4.3, третьому етапі – рисунку 4.4.

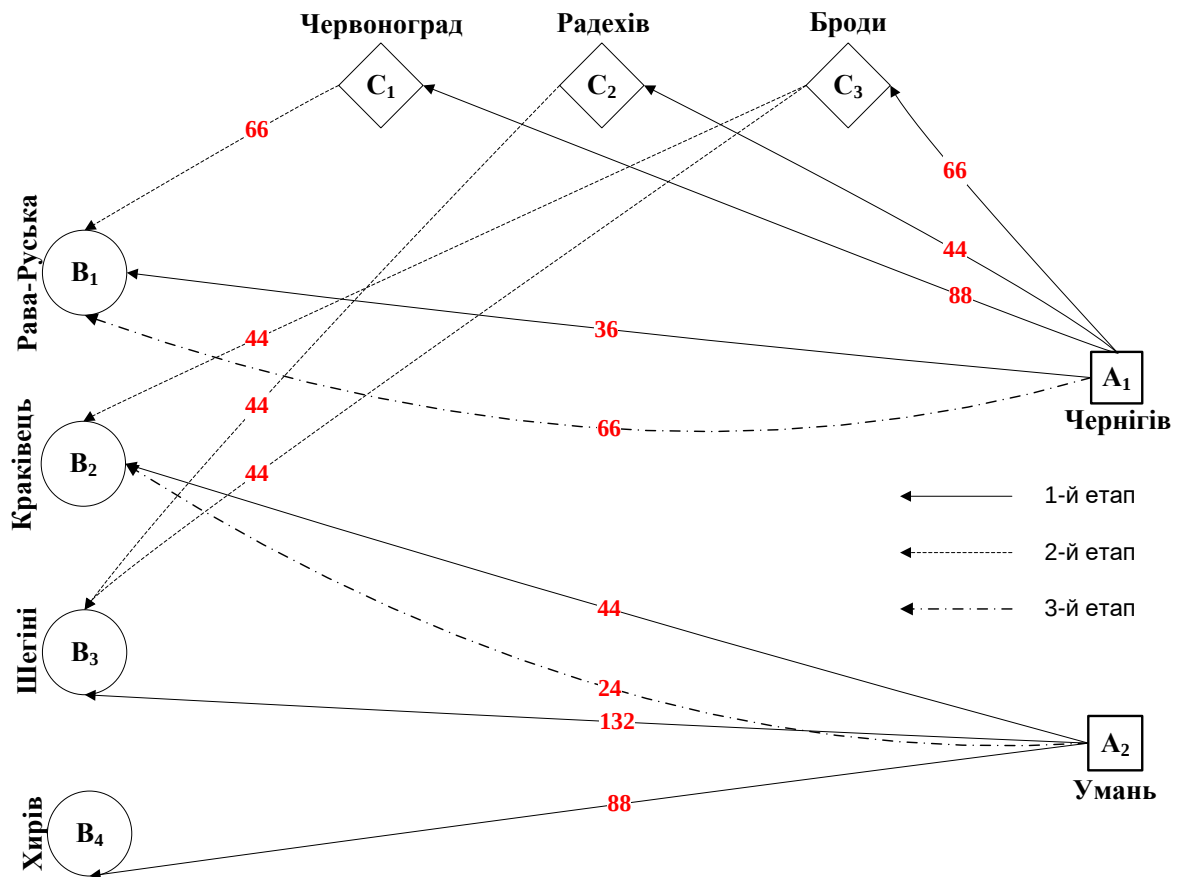


Рисунок 4.3 – Оптимальна схема перевезення вантажу(в тонах/місяць) за результатами 1, 2 та 3 етапів розв’язання БТЗ

Для вирішення завдання планування та подальшого здійснення масових вантажних перевезень на ДТМ було розроблено програмний комплекс (ПК) з використанням мови алгоритмічного програмування Delphi та макросів Visual Basic for Application для сумісної роботи з електронною таблицею Excel [112].

Процес функціонування ПК включає 4 етапи:

1. Діалогове вікно для введення структури ДТМ, тобто кількості ПП, ВМК та ПВК.
2. Діалогове вікно введення обсягів вантажоперевезень.
3. Діалогове вікно введення матриці транспортних комунікацій ДТМ, тобто найкоротших відстаней між ПП та ВМК, ПП та ПВК, ПВК та ВМК.
4. Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК, у якому схематично представлені результати його виконання (рисунок 4.4).

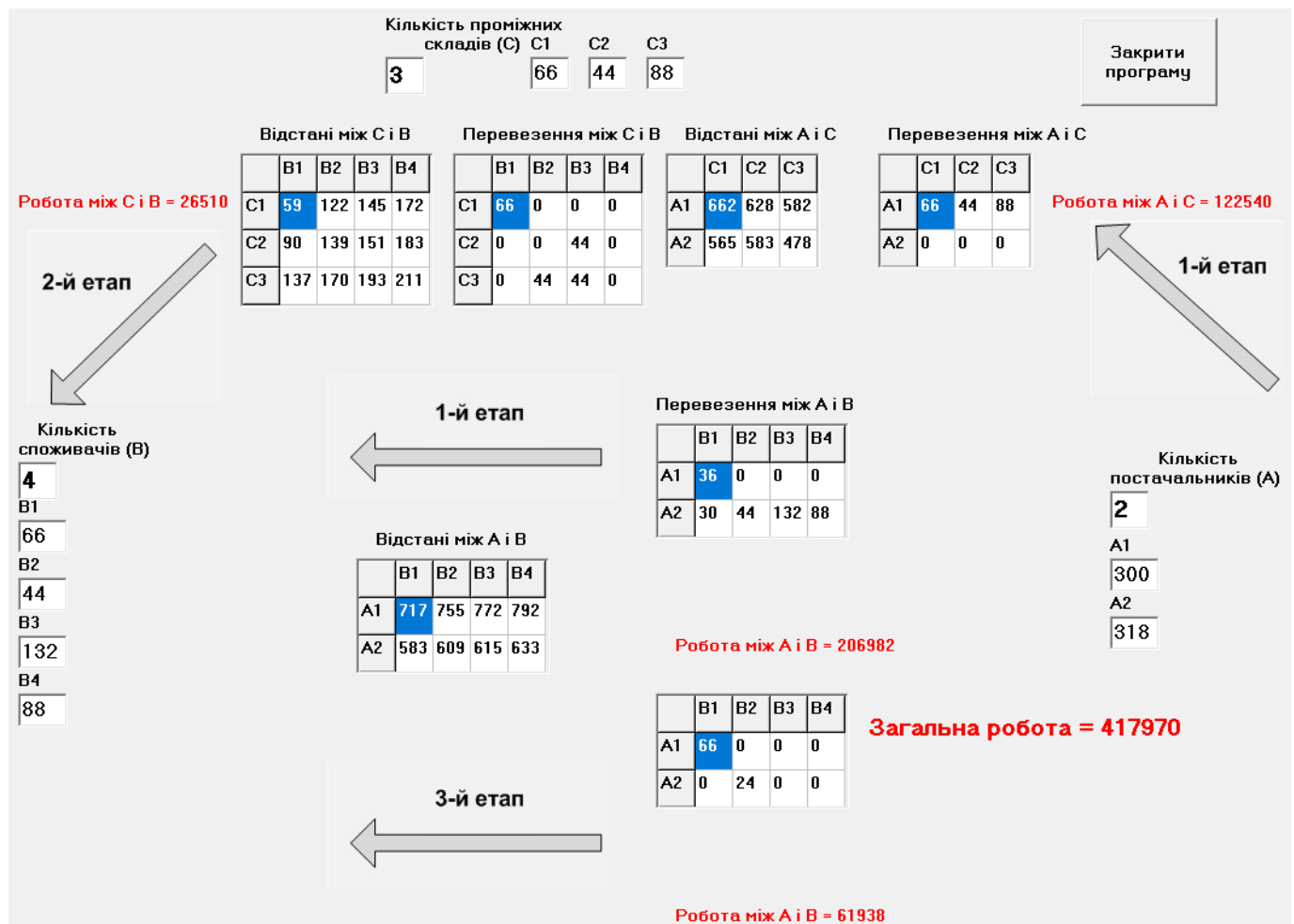


Рисунок 4.4 – Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК

В результаті роботи ПК отримуємо схематично представлені етапи його реалізації, а саме: обсяги вантажоперевезень між ПП A_1 , A_2 та ВМК B_1 , B_2 , B_3 , B_4 на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації **206982** ткм/міс) ; обсяги вантажоперевезень між ПП A_1 та ВМК C_1 , C_2 , C_3 також на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації **122540** ткм/міс); обсяги вантажоперевезень між

ПВК C_1, C_2, C_3 та ВМК B_1, B_2, B_3 на *другому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації **26510** ткм/міс); обсяги вантажоперевезень між ПП A_1, A_2 та ВМК B_1, B_2 на *третьому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації **61938** ткм/міс); та загальну (остаточну) вартість усіх етапів доставки вантажу, що становить **417970** ткм/міс.

Запропонований логістичний підхід до організації незбалансованих вантажоперевезень на транспортних мережах був реалізований у вигляді програмно-інструментального комплексу, що поєднує етап приведення мережевого представлення схеми доставки вантажу до табличної форми та етап планування та подальшого здійснення масових вантажних перевезень по ДТМ.

Даний підхід до оптимізації масових вантажних перевезень на ДТМ, заснований на використанні сучасних засобів інформаційних технологій, демонструє один із напрямків цього рішення, але має такі обмеження:

1) На 2-му етапі (і для інших варіацій БТЗ та наступних) робиться припущення про готовність усіх його одержувачів розмістити даний вантаж в обсягах, що відповідають їхньому початковому замовленню.

2) Для успішного застосування запропонованого підходу необхідно попередньо перетворити мережеву модель подання вантажоперевезень у табличний вигляд.

3) Програмний комплекс може бути використаний для ТМ малих та середніх розмірностей у зв'язку з обмеженнями програмного середовища його реалізації – табличного процесора Excel.

Ефективність БТЗ оптимізації використання ВМК полягає в обліку даних про можливість приймання всіма складами, що є для організації даного виду перевезень, включаючи як ВМК, так і проміжні термінали. Враховуючи дві умови вирішення задачі: коли загальна кількість вантажів від постачальників дорівнює сумарним вантажоприймальним можливостям ВМК та ПВК та за умови, що загальна кількість вантажів від постачальників більша за сумарні вантажоприймальні можливості ВМК та ПВК проілюстровано рішення транспортного завдання у два та три етапи. БТЗ вирішує завдання розміщення та напрямку вантажу для оптимальної організації роботи ланцюга, що працює з використанням системи тягових плечей та пропонує найбільш раціональні схеми відправлення вантажу на ВМК.

4.2 Система аналізу митної термінальної мережі масового обслуговування

Для розробки нового підходу до аналізу роботи ВМК проаналізуємо функціонування технологічної схеми перетину кордону (з держави А в державу В і навпаки) із зміною вантажних модулів (ВМ). Технологічна схема перетину кордону із зміною ВМ зображена на рис. 4.5, де: автопоїзд – АП; вантажний модуль – ВМ; сідільний тягач – СТ; держава А – дА; держава В – дВ.

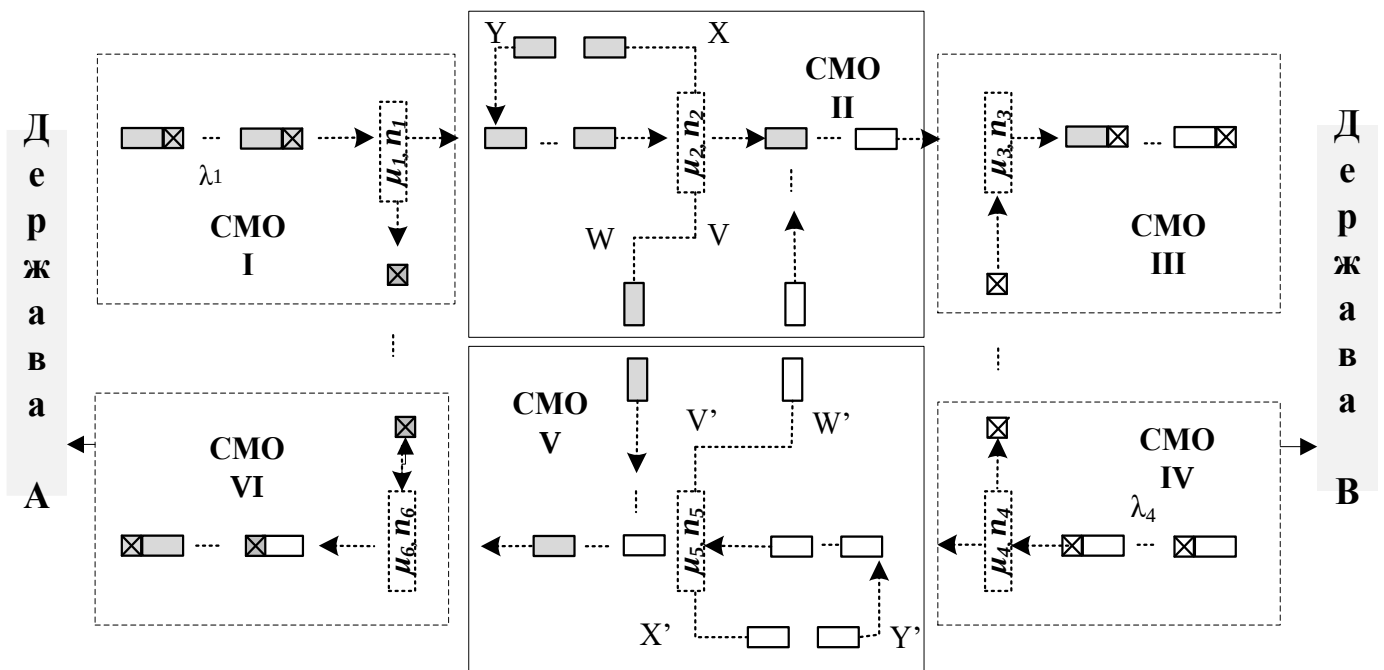


Рисунок 4.5 – Технологічна схема перетину кордону із зміною вантажних модулів

- | | | | | | |
|--|-------------------------|--|------------|--|------------|
| | – АП (СТ з дА+ВМ з дА); | | – ВМ з дА; | | – СТ з дА; |
| | – АП (СТ з дВ+ВМ з дА); | | – ВМ з дВ; | | – СТ з дВ; |
| | – АП (СТ з дА+ВМ з дВ); | | | | |
| | – АП (СТ з дВ+ВМ з дВ). | | | | |

СМО I, СМО IV – системи масового обслуговування (СМО), до яких надходять вимоги, що являють собою автомобілі-тягачі зі змінними ВМ. Потоки попиту характеризуються відповідними інтенсивностями λ_1 та λ_4 . У СМО I та СМО IV ВМ відчіплюються від власних тягачів, які надалі мають бути причеплені до ВМ, які прибули з іншого боку кордону та готові до транспортування до місця призначення.

Іншими потоками вимог, сформованими в СМО I та СМО IV, є потоки змінних ВМ, які після , спрямованих на митний контроль, позначені як СМО II та СМО V.

СМО II, СМО V – СМО проходження митного контролю, що включають здійснення митних операцій. На цьому етапі можуть виникнути збої. Якщо незначні дефекти, які можна усунути на місці, то вантажний модуль відправляється на повторний досмотр (відповідно ділянки X-Y і X'-Y'). Якщо вантаж може бути пропущений через кордон, він утворює потік втрат (відповідно ділянки V-W і V'-W').

СМО III, СМО VI – СМО на яких до вільних автомобілів-тягачів приєднуються ВМ, що вже пройшли митний контроль.

Кожна СМО характеризується своєю інтенсивністю обслуговування (μ_i) та кількістю каналів обслуговування (n_i).

При обробці вхідних потоків на обслуговування, митні термінали представляють собою складні системи, в яких вимога послідовно проходить обслуговування на декількох етапах. Складність формалізації процесів обслуговування подібного прикордонного пункту пояснюється змістом самого обслуговування, оскільки воно складається з кількох етапів.

З точки зору теорії масового обслуговування таку систему необхідно формалізувати, представляючи її у вигляді узагальненої структури. Дана структура може представляти собою або багатофазну СМО, або мережу СМО.

Для визначення напрямку, в якому досліджуватиметься структура, зазначимо, що як багатофазні СМО, так і мережі масового обслуговування складаються з кількох типових вузлів, тобто являють собою сукупність декількох систем [113]. Але, багатофазні системи – це СМО, що складаються з кількох типових вузлів, розташованих послідовно та всі заявки, що обслужені в одному вузлу направляються до наступного. Іншими словами, вихідний потік одного вузла є вхідним потоком для наступного.

Якщо говорити про мережі масового обслуговування, то вони також складаються з кількох типових вузлів, але порядок проходження вузлів може бути різний для різних вимог. Для частини заявок необхідне обслуговування в усіх

вузлах, а для інших – лише в деяких. Представлена схема перетину кордону є дуже ефективною, тому що багато в чому спрощується сама процедура (водії і автомобілі-тягачі з обох сторін кордону не проходять митного контролю), але має деякі суттєві недоліки, а саме:

- передбачається наявність однакових по потужності зустрічних вантажопотоків, тобто λ_1 повинна бути приблизно рівною λ_4 ;
- вантажні модулі також повинні бути уніфіковані.

Можемо зробити висновок, що формалізуючи роботу митного терміналу, в рамках теорії систем масового обслуговування, структура об'єкту представляє собою мережу масового обслуговування.

Важливим засобом удосконалення системи доставки вантажів є створення ефективного транспортного процесу, який включає раціональну організацію і координацію всіх його елементів [114]. Вирішення цієї задачі можливе на основі комплексного дослідження доставки вантажів. За методологічну основу комплексного підходу до дослідження прийнято системний аналіз, який отримав широке розповсюдження як інструмент вирішення складних задач у різноманітних сферах діяльності.

Метою системного аналізу є пошук шляхів підвищення ефективності роботи транспорту [115]. Така постановка задачі вимагає визначення проблем функціонування транспорту, місця їх виявлення, їх змісту та факторів впливу.

Згідно методології системного аналізу його основними етапами є: опис і аналіз об'єкту дослідження; конкретизація мети дослідження; розробка і аналіз альтернатив та вибір раціональної організації.

Основним завданням опису та аналізу об'єкту дослідження є його представлення в системному вигляді, зручному для подальшого дослідження. У результаті виконання цього етапу повинні бути визначені: мета функціонування систем; організаційно-функціональна структура; показники та критерії ефективності; проблеми і оцінка їх впливу на кінцеві результати.

Першим кроком декомпозиції є конкретизація об'єкту дослідження як єдиної системи. Він полягає у визначенні системи доставки вантажів і її елементів;

виділенні зовнішнього середовища, яке уявляє собою сукупність усіх систем, з якими система, що розглядається вступає у певні відносини в процесі функціонування; формулювання вимоги зовнішнього середовища до об'єкту дослідження, визначення його мети і основних задач.

Другий крок декомпозиції системи на “виробництво” і “управління” виконується шляхом представлення у вигляді об'єкту управління і системи управління. Опис об'єкту управління полягає у виділенні елементів транспортного процесу і їх взаємодії. При опису системи управління визначаються методи і фактори, за допомогою яких можливо здійснювати управління транспортним процесом. Основними результатами цього етапу є створення моделі транспортного процесу і визначення показників оцінки роботи системи для подальшого дослідження шляхів підвищення ефективності перевезень.

Для розробки математичного апарату мережі масового обслуговування представимо її можливі стани (рис. 4.6).

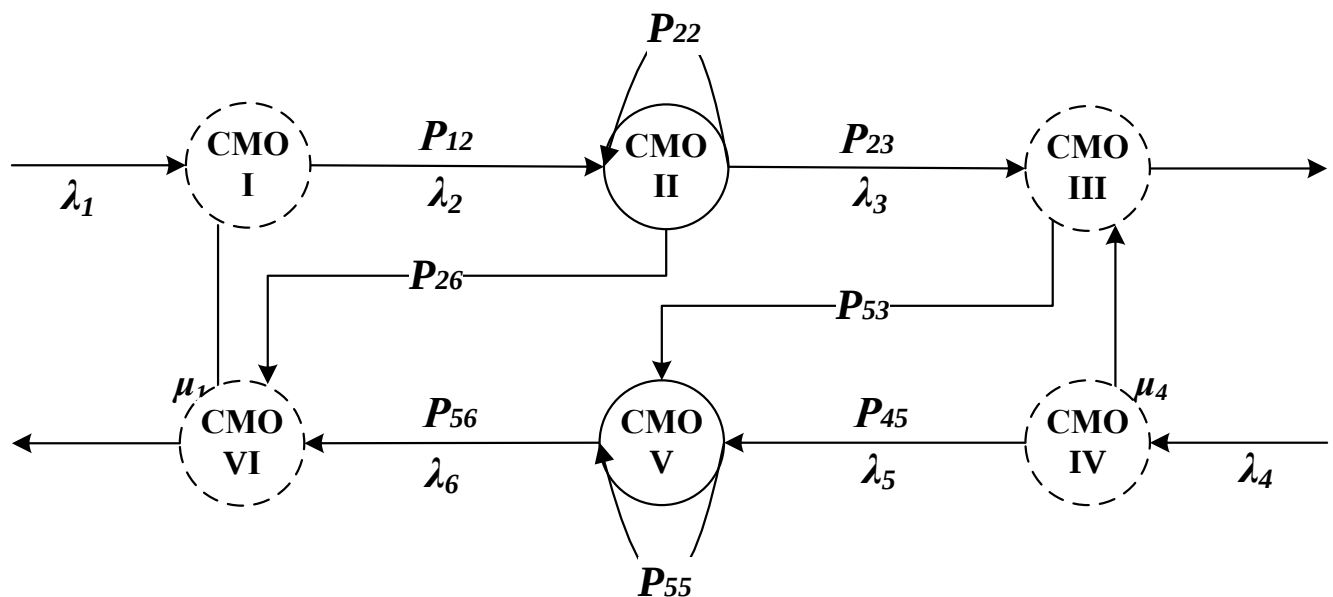


Рисунок 4.6 – Граф станів мережі масового обслуговування

З метою спрощення моделі [116], вхідні потоки змінних вантажних модулів, що надходять з обох боків кордону на митний термінал, з'єднуються в одне зовнішнє

джерело (0), що дозволяється згідно (рис. 4.7). На основі рисунку 4.7 представлено матрицю передач (4.5), що дозволяє визначити інтенсивності внутрішніх потоків.

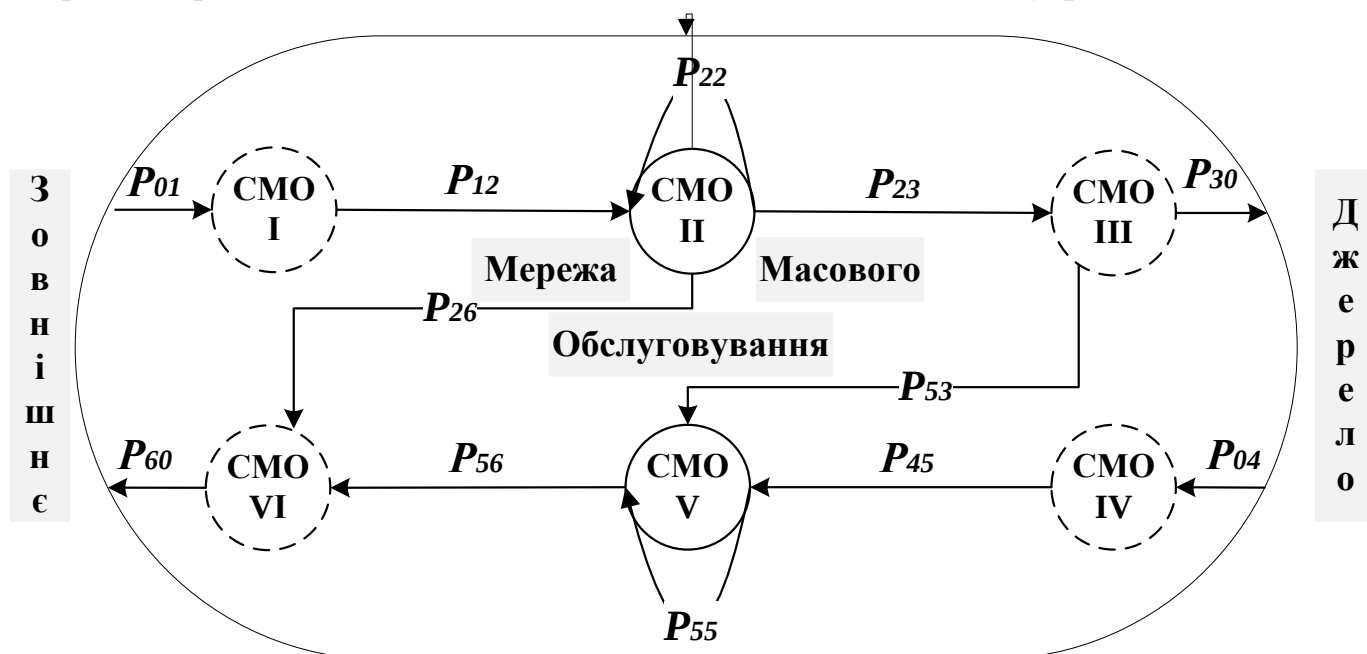


Рисунок 4.7 – Граф передач мережі масового обслуговування

$$T = \begin{vmatrix} \lambda_0 & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 & \lambda_5 & \lambda_6 & \\ 0 & P_{01} & 0 & 0 & P_{04} & 0 & 0 & \lambda_0 \\ 0 & 0 & P_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & 0 & P_{22} & P_{23} & 0 & 0 & P_{26} & \lambda_2 \\ P_{30} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{45} & 0 & \lambda_4 \\ 0 & 0 & 0 & P_{53} & 0 & P_{55} & P_{56} & \lambda_5 \\ P_{60} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_6 \end{vmatrix} \quad (4.2)$$

де P_{ij} – імовірність виходу вимоги з i -ої та надходження її до j -тої системи.

Очевидно, має місце:

$$\sum_{j=0}^M P_{ij} = 1, \quad i = 0, 1, 2, \dots, M. \quad (4.3)$$

Інтенсивність вхідного потоку становить

$$\lambda_0 = \lambda_1 + \lambda_4, \quad (4.4)$$

причому $\lambda_1 \approx \lambda_4$, що забезпечить наявність сталого режиму. Межі коливань значень імовірності λ_1 і імовірності λ_4 становлять 15-20%. Ці межі інтенсивності вхідних потоків забезпечуються інформаційним потоком, що супроводжує вантаж в процесі доставки. На підставі (4.5–4.7) одержуємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{01} = 0.5 \\ P_{04} = 0.5 \\ P_{12} = 1 \\ P_{30} = 1 \\ P_{45} = 1 \\ P_{60} = 1 \end{array} \right. \quad (4.5)$$

Нехай сумарна інтенсивність потоку вимог у системі становить j , тобто середнє число вимог, що надходять у цю систему за одиницю часу в сталому режимі. Середнє число вимог, що залишають цю ж саму систему, дорівнює середньому числу вимог, що надходять до неї. З іншої сторони передбачається, що ймовірність того, що вимога, що залишає систему i , направиться в систему j , не залежить від попереднього шляху цієї вимоги й стану мережі в цілому. Отже, якщо існує сталий режим, то

$$\lambda_j = \sum_{i=0}^M \lambda_i P_{ij}, \quad j = 0, 1, 2, \dots, M. \quad (4.6)$$

У цьому виразі λ_0 позначає сумарну інтенсивність джерела. Звідки одержуємо:

$$\begin{cases}
\lambda_1 = \lambda_0 P_{01} \\
\lambda_2 = \lambda_1 P_{12} + \lambda_2 P_{22} \text{ а } \lambda_2 - \lambda_2 P_{22} = \lambda_1 P_{12} \text{ а } \lambda_2 (1 - P_{22}) = \lambda_1 P_{12} \text{ а } \lambda_2 = \lambda_1 P_{12} / (1 - P_{22}) \quad [1] \\
\lambda_3 = \lambda_2 P_{23} + \lambda_5 P_{53} \quad [2] \\
\lambda_4 = \lambda_0 P_{04} \\
\lambda_5 = \lambda_4 P_{45} + \lambda_5 P_{55} \text{ а } \lambda_5 - \lambda_5 P_{55} = \lambda_4 P_{45} \text{ а } \lambda_5 (1 - P_{55}) = \lambda_4 P_{45} \text{ а } \lambda_5 = \lambda_4 P_{45} (1 - P_{55}) \quad [3] \\
\lambda_6 = \lambda_2 P_{26} + \lambda_5 P_{56} \quad [4]
\end{cases} \quad (4.7)$$

Оскільки λ_1 та λ_4 відомі, можемо через систему рівнянь знайти значення інших інтенсивностей (у квадратних скобках проставлена черговість перетворень). Розрахувавши відповідні значення $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_6$, можна, при відповідних інтенсивностях $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_6$ (пропускних здатностях механізмів обслуговування) одержати такі основні характеристики мережі масового обслуговування, як загальний час перебування заявки в системі, час чекання заявки в i -тій системі, середню кількість заявок, що знаходяться в мережі та інше.

При одержанні даних характеристик, можливе збільшення чи зменшення кількості каналів або кількості місць у чергах очікування різних систем масового обслуговування з метою поліпшення функціонування мережі.

У світлі вищезгаданої структури мережі масового обслуговування на прикладі митного терміналу зрозуміло, що вхідна інтенсивність i -тої системи дорівнює абсолютній пропускній здатності СМО _{$i-1$} , тобто $\lambda_i = A_{i-1}$.

Універсальною характеристикою СМО є її відносна пропускна здатність:

$$q_i = \frac{A_i}{\lambda_i} = \frac{\mu_i \cdot n_i}{\lambda_i}. \quad (4.8)$$

Тоді, згідно формулі 4.12 сумарна відносна пропускна здатність для СМО I, СМО II та СМО III визначається:

$$q_{1,2,3} = \frac{A_1}{\lambda_1} \cdot \frac{A_2}{\lambda_2} \cdot \frac{A_3}{\lambda_3} = \frac{\mu_1 \cdot n_1}{\lambda_1} \cdot \frac{\mu_2 \cdot n_2}{\lambda_2} \cdot \frac{\mu_3 \cdot n_3}{\lambda_3}. \quad (4.9)$$

і, відповідно з іншого боку для СМО IV, СМО V та СМО VI:

$$q_{4,5,6} = \frac{A_4}{\lambda_4} \cdot \frac{A_5}{\lambda_5} \cdot \frac{A_6}{\lambda_6} = \frac{\mu_4 \cdot n_4}{\lambda_4} \cdot \frac{\mu_5 \cdot n_5}{\lambda_5} \cdot \frac{\mu_6 \cdot n_6}{\lambda_6}. \quad (4.10)$$

Визначивши значення відносної пропускної здатності для кожної системи мережі масового обслуговування та знаючи їх характер взаємодії, можемо визначити її загальну відносну пропускну здатність:

$$q_0 = (q_{1,2,3} + q_{4,5,6}) / 2. \quad (4.11)$$

Тоді абсолютна пропускна здатність A_0 мережі масового обслуговування визначатиметься як:

$$A_0 = q_0 * \lambda_0 \quad (4.12)$$

При цьому можливо врахувати як структуру кожної системи, так і її можливі втрати в процесі обслуговування. Для цього застосуємо відповідні формули.

Середній час перебування вимог в мережі масового обслуговування визначатиметься:

$$\overline{t_m^0} = \sum_{i=1}^m \overline{t_{сист}^i}, \quad (4.13)$$

$$\overline{t_{сист}^i} = \overline{t_{чек}^i} + \overline{t_{обс}^i}, \quad i = \overline{1, M} \quad (4.14)$$

де $\overline{t_{сист}^i}$, $\overline{t_{чек}^i}$, $\overline{t_{обс}^i}$ - відповідно, середній час перебування вимоги в i -тій системі, середній час чекання в черзі та середній час її обслуговування.

Величини $\overline{t_{сист}^i}$ визначаються наступним чином:

- 1) Для СМО I та СМО IV – одноканальних систем без обмежень на чергу:

$$\overline{t_{сист}^i} = \overline{t_{чек}^i} + \overline{t_{обс}^i} = \frac{1}{\mu_i(1 - \rho_i)}, \quad \rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}, \quad i = 1, 4; \quad (4.15)$$

де ρ_i - приведена інтенсивність вимог в i -тій системі;

- 2) Для СМО I та СМО IV – багатоканальних систем без обмежень на чергу:

$$\overline{t_{сист}^i} = \overline{t_{чек}^i} + \overline{t_{обс}^i} = \frac{\overline{\tau_i}}{\lambda_i} + \frac{1}{\mu_i}, \quad \overline{\tau_i} = \frac{\rho_i^{n_i+1}}{n_i \cdot n_i! (1 - \chi_i)^2}, \quad i = 1, 4; \quad (4.16)$$

$$P_0 = [1 + \frac{\rho_i}{1!} + \frac{\rho_i^2}{2!} + \dots + \frac{\rho_i^{n_i}}{n_i!} + \frac{\rho_i^{n_i+1}}{n_i! (n_i - \rho_i)}]^{-1}, \quad (4.17)$$

де $\chi_i = \frac{\rho_i}{n}$ – приведена інтенсивність вимог 1 каналу в i -тій системі;

n – кількість каналів;

P_0 – імовірність відсутності у системі вимог.

Слід зауважити, що для систем без обмеження черги чекання наявність граничного режиму забезпечується за умови:

$\rho_i < 1$ – для одноканальних СМО; $\rho_i < n$ – для багатоканальних СМО.

3) Для СМО II, СМО III, СМО V та СМО VI – одноканальних систем з обмеженою кількістю місць для очікування:

$$\overline{t}_{сист}^i = \overline{t}_{чек}^i + \overline{t}_{обс}^i = \frac{\overline{\tau}_i}{\lambda_i} + \frac{q_i}{\mu_i}, \quad \overline{\tau}_i = \frac{\rho_i^2 [1 - \rho_i^l (l_i + 1 - l_i \rho_i)]}{(1 - \rho_i^{l_i+2})(1 - \rho_i)}, \quad i = 2, 3, 5, 6; \quad (4.18)$$

де l – кількість місць для очікування в черзі.

4) Для СМО II, СМО III, СМО V та СМО VI – багатоканальних систем з обмеженою кількістю місць для очікування:

$$\overline{t}_{сист}^i = \overline{t}_{чек}^i + \overline{t}_{обс}^i = \frac{\overline{\tau}_i}{\lambda_i} + \frac{q_i}{\mu_i}, \quad \overline{\tau}_i = \frac{\rho_i^{n_i+1}}{n_i \cdot n_i!} P_0 \frac{1 - (l_i + 1)\chi_i^{l_i} + l_i \chi_i^{l_i+1}}{(1 - \chi_i)^2}, \quad i = 2, 3, 5, 6; \quad (4.19)$$

$$P_0 = \left[1 + \frac{\rho_i}{1!} + \frac{\rho_i^2}{2!} + \dots + \frac{\rho_i^{n_i}}{n_i!} + \frac{\rho_i^{n_i}}{n_i!} \frac{\rho_i / n_i - (\rho_i / n_i)^{l_i+1}}{1 - \rho_i / n_i} \right]^{-1}. \quad (4.20)$$

Середня кількість вимог, що знаходиться в мережі, визначається за формулою Літтла як

$$\overline{z} = \overline{t}_m^0 * \lambda_0. \quad (4.21)$$

Розроблена методика аналізу мережі масового обслуговування забезпечує адекватне реагування на ситуації, що виникають у процесі її експлуатації, та дозволяє коригувати значення деяких параметрів та характеристик мережі (кількість каналів, інтенсивність обслуговування та ін.) з метою покращення роботи мережі та забезпечення оптимального процесу обслуговування вимог [117].

Для реалізації аналітичної моделі роботи митного терміналу при управлінні змінними вантажними модулями була розроблена у середовищі *Excel* система аналізу митної термінальної мережі масового обслуговування (САМТМО), яка

складається з двох частин – частини по вводу вихідних даних (рис. 4.8) і розрахункової частини (рис. 4.9).

Зокрема на рис. 4.8 представлені: структура САМТМО; клітинки В19 та Р19 для задання λ_1 , λ_4 ; інтервали клітинок В21:В23 та L21:L23 для задання часу обслуговування заявки в кожному з каналів СМО I, СМО II, СМО III, СМО IV, СМО V, СМО VI та ймовірності переходу системи з одної СМО в іншу (див. рис. 4.19), а саме Р01, Р04, Р12, Р30, Р45, Р60, Р22, Р26, Р23, Р55, Р53, Р56.

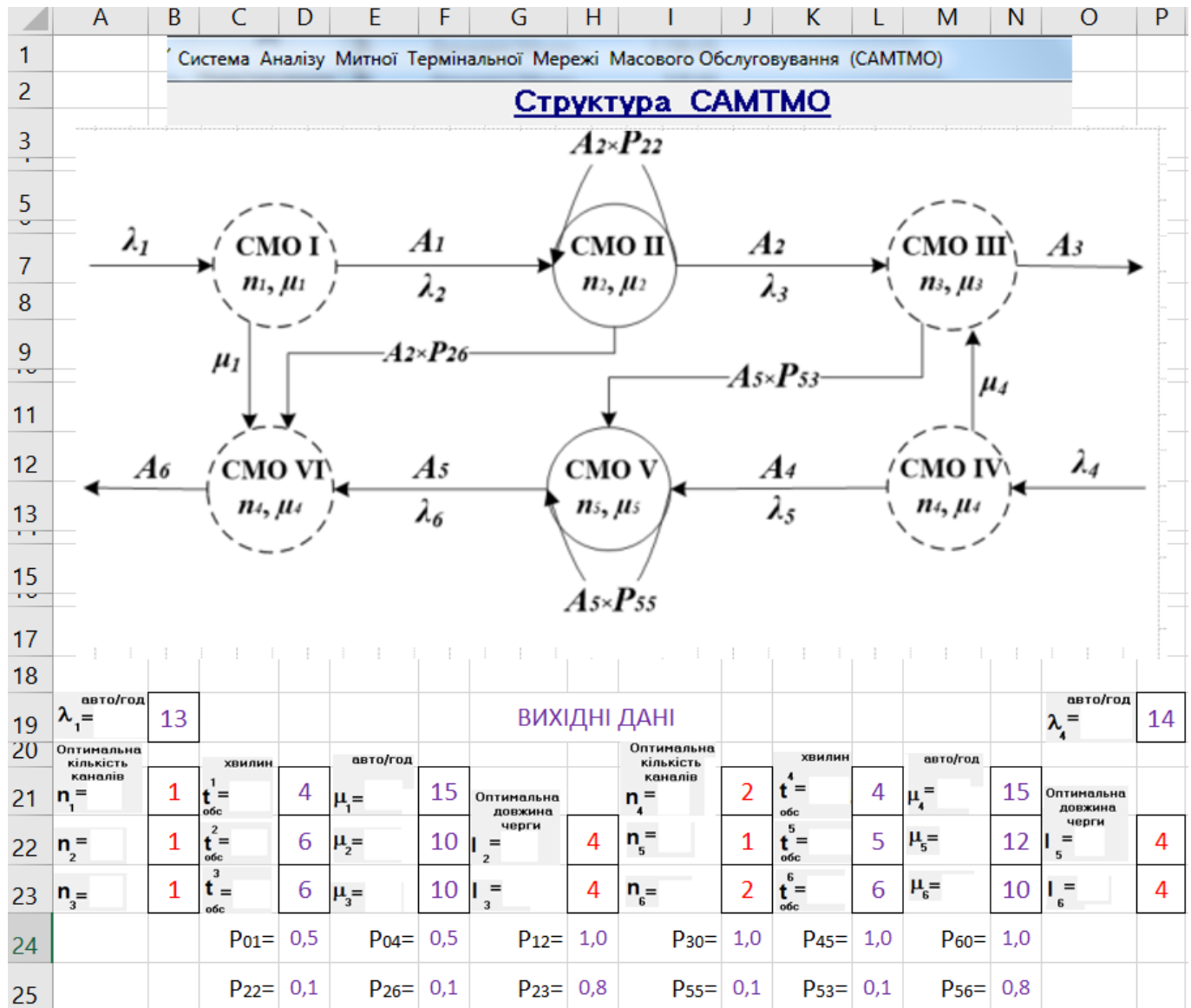


Рисунок 4.8 – Частина по вводу вихідних даних у САМТМО

На рис. 4.9 також представлені клітинки для розрахунку:

P_0 – ймовірностей відсутності у СМО вимог (вантажних модулів) (клітинки Y15, AA15, AC15, AE15, AG15, AI15);

$\chi_i = \frac{\rho_i}{n_i}$ – приведених інтенсивностей вимог 1 каналу в i -тій СМО (клітинки

Y17, AA17, AC17, AE17, AG17, AI17);

$\bar{t}_i$ – середніх часів перебування вимоги у черзі чекання в i -тій СМО (клітинки Y18, AA19, AC18, AE18, AG17, AI18);

середніх часів перебування вимоги в i -тій СМО, тобто $\overline{t_{cисм}^i}$:

$\overline{t_{cисм}^1}$ – в клітинці S13; $\overline{t_{cисм}^4}$ – в клітинці V13; $\overline{t_{cисм}^2}$ – в клітинці S15;
 $\overline{t_{cисм}^5}$ – в клітинці V15; $\overline{t_{cисм}^3}$ – в клітинці S17; $\overline{t_{cисм}^6}$ – в клітинці V17.

Слід зазначити, що при розрахунку ймовірностей відсутності у системі вимог P_0 , а саме автопоїздів або вантажних модулів (клітинки Y15, AA15, AC15, AE15, AG15, AI15), для багатоканальних СМО у формулі наводяться окремо розрахунки для 2 каналів і 3 каналів обслуговування вимог, що відображається за допомогою функції ЕСЛИ. Наведемо це на прикладі СМО₄, якщо вона багатоканальна СМО без обмежень на чергу чекання:

=ЕСЛИ(J21=2;1/(1+AA13+AA13*AA13/2+AA13*AA13*AA13/(2*(J21-AA13)));1/(1+AA13+AA13*AA13/2+AA13*AA13*AA13/6+AA13*AA13*AA13*AA13/(6*(J21-AA13)))).

R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI
РОЗРАХУНКОВІ ДАНІ						q1 =	1,00										
		авто/год				q2 =	0,69										
$\lambda_2 =$	14,44	$\lambda_5 =$		15,56		q3 =	0,76										
$\lambda_3 =$	13,11	$\lambda_6 =$		13,89													
$q_{123} =$	0,53	$q_{456} =$		0,77		q4 =	1,00										
						q5 =	0,77										
	$q_{ob} =$	0,65				q6 =	1,00										
	$A_{ob} =$	17,54	авто/год														
		ХВИЛИН				СМО1	СМО4	СМО2	СМО3	СМО5	СМО6						
$t_{СМСТ}^1 =$	30,000	$t_{СМСТ}^4 =$		5,11		$p_1 =$	0,866667	$p_4 =$	0,933333	$p_2 =$	1,44444	$p_3 =$	1,3111	$p_5 =$	1,2963	$p_6 =$	1,38889
$t_{СМСТ}^2 =$	14,735	$t_{СМСТ}^5 =$		12,753		$P_0 =$		$P_0 =$	0,3636	$P_0 =$		$P_0 =$		$P_0 =$		$P_0 =$	0,19858
$t_{СМСТ}^3 =$	15,251	$t_{СМСТ}^6 =$		8,974		$x_1 =$		$x_4 =$	0,467	$x_2 =$		$x_3 =$		$x_5 =$		$x_6 =$	0,69444
						$t_1 =$		$t_4 =$	0,2598	$t_2 =$	2,547	$t_3 =$	2,333	$t_5 =$	2,306	$t_6 =$	0,68836
	$T_M =$	43,413															
	$Z =$	19,536	авто			Одноканальна СМО без обмежень на чергу чекання	Багатоканальна СМО без обмежень на чергу чекання	Одноканальна СМО з обмеженням на чергу чекання	Одноканальна СМО з обмеженням на чергу чекання	Одноканальна СМО з обмеженням на чергу чекання	Одноканальна СМО з обмеженням на чергу чекання	Одноканальна СМО з обмеженням на чергу чекання	Багатоканальна СМО з обмеженням на чергу чекання				
						СМО I	СМО IV	СМО II	СМО III	СМО V	СМО VI						
			18-й варіант			1	2	3	3	3	4						

Рисунок 4.9 – Розрахункова частина САМТМО

Нижче представимо складові прикладу, який включає всі типи СМО, для розрахунків структури митного вантажного терміналу у середовищі *Excel*:

СМО ₁	СМО ₄	СМО ₂	СМО ₃	СМО ₅	СМО ₆
Одно-канальна СМО без обмежень на чергу чекання	Багато-канальна СМО без обмежень на чергу чекання	Одно-канальна СМО з обмеженням на чергу чекання	Одно-канальна СМО з обмеженням на чергу чекання	Одно-канальна СМО з обмеженням на чергу чекання	Багато-канальна СМО з обмеженням на чергу чекання

Виконання цього прикладу включає наступні кроки:

1 крок – у залежності від типу СМО необхідно записати у клітинках *Excel*-таблиці формули, які відповідають характеристикам цієї СМО, а саме:

P_0 – ймовірність відсутності у СМО вимог (вантажних модулів) (клітинки Y15, AA15, AC15, AE15, AG15, AI15);

$\chi_i = \frac{\rho_i}{n_i}$ – приведена інтенсивність вимог 1 каналу в i -тій СМО (клітинки Y17,

AA17, AC17, AE17, AG17, AI17);

$\bar{t}_i$ – середній час перебування вимоги у черзі чекання в i -тій СМО (клітинки Y18, AA19, AC18, AE18, AG17, AI18).

2 крок – у залежності від типу СМО необхідно також записати у клітинках Ексел-таблиці формули, які відповідають середньому часу перебування вимоги в i -тій СМО, тобто $\overline{t_{cuct}^i}$:

$\overline{t_{cuct}^1}$ – в клітинці S13;

$\overline{t_{cuct}^4}$ – в клітинці V13;

$\overline{t_{cuct}^2}$ – в клітинці S15;

$\overline{t_{cuct}^5}$ – в клітинці V15;

$\overline{t_{cuct}^3}$ – в клітинці S17;

$\overline{t_{cuct}^6}$ – в клітинці V17.

3 крок – у залежності від того є СМО одно-канальної ($n_i = 1$), або багатоканальної (n_i може мати або 2, або 3 канали) необхідно у обмеженнях до параметрів пошуку рішення табличного процесору Ексел ввести відповідне корегування. Наприклад для нашого прикладу це виглядатиме наступним чином:

СМО ₁	СМО ₄	СМО ₂	СМО ₃	СМО ₅	СМО ₆
Одно-канальна СМО без обмежень на чергу чекання	Багато-канальна СМО без обмежень на чергу чекання	Одно-канальна СМО з обмеженням на чергу чекання	Одно-канальна СМО з обмеженням на чергу чекання	Одно-канальна СМО з обмеженням на чергу чекання	Багато-канальна СМО з обмеженням на чергу чекання
B21 = 1	J21 >= 2 J21 <= 3	B22 = 1	B23 = 1	J22 = 1	J23 >= 2 J23 <= 3

Після запуску на виконання опції «Пошук рішення» табличного процесору Ексел деякий час система (біля хвилини) буде автоматично підбирати оптимальну кількість каналів і міст у чергах чекання усіх СМО у комплексі і на повідомлення

системи «Продовжити» або «Зупинити», потрібно надати відповідь «Зупинити» і натиснути «ОК». На екрані з'явиться результат.

У результаті аналізу отриманих даних можна констатувати той факт, що середня кількість вимог, що знаходиться в мережі, визначається за формулою Літтла і становить **19** вантажних модулів (Z на рис. 4.9), причому оптимальна структура митного вантажного терміналу буде включати (див. рис. 4.8):

- кількість каналів у $СМО_1$ $n_1 = 1$; у $СМО_2$ $n_2 = 1$; у $СМО_3$ $n_3 = 1$; кількість місць у черзі $СМО_2$ $l_2 = 4$; $СМО_3$ $l_3 = 4$;
- кількість каналів у $СМО_4$ $n_4 = 2$; у $СМО_5$ $n_5 = 1$; у $СМО_6$ $n_6 = 2$; кількість місць у черзі $СМО_5$ $l_5 = 4$; $СМО_6$ $l_6 = 4$.

4.3. Адекватність результатів дисертаційних досліджень

Результати експериментальних досліджень дозволяють оцінити достовірність гіпотез та адекватність теоретичних моделей об'єкта дослідження експериментальним даним. У практиці оцінки адекватності застосовуються дві групи критеріїв статистичної узгодженості: 1) параметричні критерії; 2) непараметричні чи порядкові критерії [119].

Застосування параметричних критеріїв засноване на використанні вибірових характеристик $\bar{X}$ (середнього арифметичного значення) та S (середньоквадратичного відхилення) вимірюваної величини, виходячи з припущення про нормальність розподілу ряду, що оцінюється.

Застосування непараметричних критеріїв не вимагає використання перелічених вище параметрів вибірки і вони однаково підходять для аналізу розподілів рядів, що оцінюються будь-якого типу, але їх використання вимагає впорядкування у вигляді кумулятив емпіричних і теоретичних розподілів, тобто одержання серії накопичених частот.

У цьому дисертаційному дослідженні аналізованим рядом величин будуть різні величини витрат за вантажні перевезення, які можуть бути описані з допомогою будь-яких законів розподілу. Тому можна стверджувати, що один із

непараметричних критеріїв, а саме T -критерій Вілкоксона [119], підходить для оцінки адекватності теоретичних моделей об'єкта дослідження експериментальним даним. У таблиці 4.1 показано критичне значення критерію Вілкоксона для узгоджених пар.

Таблиця 4.1 – 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

Обробку статистичних даних проводили за методикою, наведеною в [120, 121], при цьому обсяг вибірки становив 25 спостережень, а результати емпіричних (досліджень) та експериментальних даних представлені у вигляді статистичних рядів у табл. 4.2. (для автотранспортних підприємств АсМАП України).

Сума негативних різниць між парами емпіричних та експериментальних значень усіх 25 спостережень (-864,15) незалежно від її знака для цього випадку також менша за відповідну суму позитивних різниць (3832,31). Виходячи з цього, фактичне значення T -критерію T_{ϕ} дорівнює сумі рангів відповідних негативних різниць між парами емпіричних та експериментальних значень, а саме 92.

Таблиця 4.2 – 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	1 555 123,6	1 554 103,4	1020,2	-9,7	1
2	2 301 090,6	2 301 011,1	79,5	-11,8	2
3	7 455 786,3	7 455 544,3	242,01	17,9	3
4	2 111 505,6	2 111 605,6	-99,9	19,9	4
5	1 287 451,7	1 287 350,1	101,6	-40,6	5
6	444 207,8	444 105,8	102,05	55,19	6
7	1 456 235	1 456 275,6	-40,6	65,05	7
8	250 456,1	250 400,9	55,1	79,5	8
9	180 415,5	180 215,5	199,9	-97,8	9
10	1 501 456	1 501 154,9	301,03	-99,9	10
11	134 517,8	134 499,8	17,9	100,01	11
12	256 634,7	256 837,8	-203,1	-100,9	12
13	117 456,9	117 557,8	-100,9	101,6	13
14	5 123 347,1	5 123 544,9	-197,8	102,06	14
15	918 389,7	918 187,9	201,8	-102,2	15
16	1 567 890,1	1 567 899,8	-9,7	105,5	16
17	444 135,7	444 035,7	100,01	-197,8	17
18	245 789,1	245 589,1	200,05	199,9	18
19	650 123,4	650 103,4	19,9	201,8	19
20	175 342,9	175 354,7	-11,7	200,04	20
21	414 4567,3	4 143 547,0	1020,2	-203,1	21
22	825 890,6	825 785,1	105,5	242,01	22
23	366 089,1	366 191,4	-102,2	301,01	23
24	715 789,5	715 724,5	65,05	1020,2	24
25	218 389,7	218 487,6	-97,8	1020,3	25
Сума рангів різностей між парами емпіричних і експериментальних значень $C_i^{em} - C_i^{ek}$					92

Знайдене таким чином фактичне значення T -критерію порівнюється з табличним (табл. 4.2) значенням T_T для прийнятого рівня значущості та числа парних спостережень, яке взято без нульових різниць. Це значення дорівнює 89 (для найвищого рівня значущості, саме 0,05).

У разі приймається гіпотеза адекватності, оскільки $T_\phi \geq T_T$.

Узагальнюючи отримані вище результати, можна зробити загальний висновок про те, що математична модель, побудована в дисертаційній роботі, повністю адекватна її фізичній моделі, а саме процесу міжнародних вантажних перевезень на транспортних системах України та Західної Європи з незбалансованими обсягами перевезень.

4.4 Висновки по розділу 4

На основі розгляду прикладних аспектів реалізації результатів дисертаційних досліджень:

1. Запропонований логістичний підхід до організації незбалансованих вантажоперевезень на транспортних мережах реалізований у вигляді програмного комплексу, що поєднує етап приведення мережевого подання схеми доставки вантажу до табличної форми та етап планування та подальшого здійснення масових вантажоперевезень за ДТМ. Показала свою ефективність в оптимізації вантажних перевезень на автопідприємствах АсМАП України.

Даний підхід до оптимізації масових вантажних перевезень на ДТМ, заснований на використанні сучасних засобів інформаційних технологій, демонструє один із напрямків цього рішення, але має такі обмеження:

- на 2-му, 3-му та наступних етапах робиться припущення про готовність всіх його одержувачів розмістити даний вантаж в обсягах, що відповідають їх первинному замовленню.

- для успішного застосування запропонованого підходу необхідно попередньо перетворити мережеву модель подання вантажоперевезень у табличний вигляд.

- ПК може бути використаний для ТМ малих та середніх розмірів у зв'язку з обмеженнями програмного середовища для його реалізації – табличного процесора Excel.

У ході цього наукового дослідження вивчено можливість автоматизації процесу вирішення завдання комівояжера з використанням сучасних засобів інформаційних технологій, а саме: програмного середовища Delphi та функції «Пошук рішення» в електронній таблиці *Microsoft Office Excel* з урахуванням існуючих вимог та обмежень за специфікою та розміром, перевірені завдання

2. Ефективність багатоетапного транспортного завдання при використанні вантажних митних комплексів полягає в обліку даних про можливість приймання всіма вантажними комплексами, що є для організації цього виду перевезень, включаючи як ВМК, так і проміжні вантажні комплекси. Розгляд двох умов

розв'язання задачі: коли загальна кількість вантажів від постачальників дорівнює сумарним вантажоприймальним можливостям ВМК та проміжних вантажних комплексів та за умови, що загальна кількість вантажів від постачальників більша за сумарні вантажоприймальні можливості ВМК та ПВК рішення було проілюстровано рішенням транспортної задачі у два та три етапи. Багатоетапне транспортне завдання вирішує завдання розміщення та напрямку вантажу для оптимальної організації роботи ланцюга, що працює з використанням системи тягових плечей та пропонує найбільш раціональні схеми відправлення вантажу на ВМК.

3. Для розробки нового підходу до аналізу роботи вантажного митного терміналу було проаналізовано функціонування технологічної схеми перетину кордону зі зміною вантажних модулів.

За підсумками цього аналізу зроблено висновок у тому, що формалізуючи роботу митного терміналу, у межах теорії систем масового обслуговування структура об'єкта є мережу масового обслуговування. За допомогою математичного апарату мережі масового обслуговування було представлено її можливі стани.

Розроблений метод аналізу мережі масового обслуговування забезпечує адекватне реагування на ситуації, що виникають при її експлуатації, і дозволяє коригувати значення деяких параметрів та характеристик мережі (кількість каналів, інтенсивність обслуговування тощо) з метою підвищення роботи мережі та забезпечити оптимальний процес обслуговування вимог.

З метою реалізації аналітичної моделі роботи митного терміналу при управлінні змінними вантажними модулями було розроблено систему аналізу мережі масового обслуговування митного терміналу серед Excel, що складається з двох частин - частини введення вихідних даних і розрахункова частина.

Використання запропонованого САМТМО дозволяє збільшити пропускну спроможність митного терміналу на 50% і більше.

4. За допомогою непараметричного Т-критерію Вілкоксона доведено, що побудована в дисертації математична модель перевізного процесу повністю адекватна його фізичній моделі, а саме процесу здійснення вантажоперевезень маршрутами міжнародних перевезень. транспортні коридори з незбалансованими

обсягами вантажоперевезень та обмеженнями пропускної спроможності транспортних вузлів та комунікацій.

ВИСНОВКИ

Аналіз сучасного стану організації автомобільних вантажних перевезень у міжнародному сполученні показав, що підвищення ефективності та якості їх виконання можливе за рахунок удосконалення існуючих методів організації та управління вантажними перевезеннями у міжнародному сполученні на транспортних мережах у разі не збалансованості обсягів поставок та замовлень на вантажні перевезення, однією із складових яких є використання сучасних інформаційних технологій.

На підставі проведеного дослідження було отримано такі наукові результати:

1. Проведено аналіз відомих способів раціональної організації вантажних автомобільних перевезень на транспортних мережах із незбалансованим обсягом поставок та замовлень вантажів. В результаті було встановлено, що деякі стандартні методи балансування обсягів поставок та вантажних замовлень не завжди є ефективними, а іноді їх взагалі неможливо застосувати. За результатами прогнозування на 2022-2024 роки обсягів автомобільних міжнародних перевезень вантажів було отримано наступне: 9 584,5 тис. тон у 2022 році, 9 869 тис. тон у 2023 році, 10 111 тис. тон, тобто обсяги вантажних перевезень починають стабілізуватися та зростати.

2. Ефективність розв'язання багатоетапного транспортного завдання при використанні вантажних митних комплексів полягає у можливості приймання вантажу всіма вантажними комплексами, включаючи як митні, так і проміжні вантажні комплекси у декілька етапів, які рознесені у часі. При розгляді різних варіантів розв'язання БТЗ у два та три етапи вирішувалось завдання транспортування вантажу по логістичним ланцюгам, що працюють з використанням системи тягових плечей та пропонують найбільш раціональні схеми переміщення вантажу на вантажні комплекси. Розроблений спосіб використання БТЗ під час перевезення вантажів із застосуванням вантажних комплексів у міжнародному сполученні підвищує ефективність міжнародних вантажних перевезень на 10-15%.

3. Моделювання процесів раціональної організації вантажних перевезень на транспортних мережах в умовах незбалансованості обсягів поставок та вантажних замовлень виконано з використанням нових підходів у середовищі розробленого програмного комплексу. Результати моделювання на фактичних даних дали такі результати: метод фіктивних транспортних вузлів застосовувався в 33%, різницевий метод – в 11%, пропорційний метод – в 30%, симплексний метод – в 27%. Програмний комплекс дозволяв у кожному конкретному практичному прикладі застосовувати найефективніший у економічному плані метод

4. Для розробки нового підходу до аналізу роботи митного вантажного терміналу проаналізовано функціонування технологічної схеми перетину кордону зі зміною вантажних модулів за системою тягових плечей. Розроблений метод аналізу мережі масового обслуговування забезпечує адекватне реагування на ситуації, що виникають при її експлуатації, і дозволяє коригувати значення деяких параметрів та характеристик мережі (кількість каналів, інтенсивність обслуговування тощо) з метою підвищення роботи мережі та забезпечити оптимальний процес обслуговування вимог – вантажних модулів. Для реалізації аналітичної моделі роботи митного терміналу під час управління змінними вантажними модулями було розроблено систему аналізу мережі масового обслуговування митного терміналу у середовищі Excel, використання якої дозволяє збільшити пропускну спроможність митного терміналу на 25% і більше.

5. Проведено апробацію результатів наукових досліджень у НКЦ АсМАП України та у ІП «ЧСАД Україна», що дозволило знизити витрати на вантажні перевезення приблизно на 15%, скоротити терміни їх виконання, розвантажити керівництво підприємств від виконання рутинних, неефективних операцій із складання плану вантажних перевезень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Майданик, К.О., Пилипенко Ю.В. Ефективність застосування системи тягових плечей при перевезеннях вантажів у міжнародному сполученні. *Systemy i srodki transportu samochodowego*. Monografia nr 10. [monographia] pod redakcja naukowa K. Lejdy Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. 2017. S. 79–86. ISBN 978-83-7934-161-0

2. Ремех І.О. Підвищення ефективності виконання міжнародних перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах. *Сучасні процеси трансформації у бізнесі та виробництві: теорія, методологія, практика (зовнішньоекономічна діяльність, промислове виробництво та транспорт)*: Колективна монографія з міжнародною участю / за ред. Л.М. Савчук, Л.М. Бандоріної. Дніпро. Пороги. 2019. С. 464–471. ISBN 978-617-518-412-7

3. Remekh I., Prokudin G., Chupaylenko A., Khobotnia T., Lyamzin A., Kovalenko M. Optimizing Unbalanced Freight Deliveries in Transportation Networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2/3 (116). 2022. P. 22-32. (ISSN 1729-3774, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253791>).

<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/253791/252941>). Індексуються у Scopus.

4. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Дудник О.С., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В. Особливості моделювання вантажних перевезень на транспортній мережі. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Част. 1. Технічні науки*. 2016. Вип. 18.. Київ. НТУ. С. 101–114.

http://publications.ntu.edu.ua/upravl_proget/2016_18_tech/101.pdf

5. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В. Ефективність застосування системи тягових плечей в міжміських перевезеннях. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Вип. № 1 (37). 2017. Київ. НТУ. С. 346–357.

<http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/37/346.pdf>

6. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В. Аналіз і шляхи реформування транспортної галузі України. *Транспортні системи і технології*. 2017. Київ. ДЕТУТ. С. 244–254.

<https://tst.duit.in.ua/index.php/tst/article/view/58>

7. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Редіч Ю.А., Майданик К.О. Оптимізація роботи вантажного митного комплексу за допомогою застосування багатоетапної транспортної задачі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія Технічні науки*. 2018. Т. 29 (68) № 4. Частина 2. Київ. ТНУ. С. 142–146.

http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/4_2018/part_2/28.pdf

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

http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/5_2020/37.pdf

9. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г. Організація незбалансованих вантажних перевезень із використанням вантажних митних комплексів. *Розвиток транспорту*. Випуск 1(6). Одеса. НМУ. 2020. С. 116-126.

DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.010>

10. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Теоретичні основи організації вантажних перевезень на транспортних мережах. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Вип. № 3 (53). 2022. Київ. НТУ. С. 312–321.
<http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/53/UKR.htm>.

11. Ремех І.О. Математичне моделювання пункту пропуску як СМО із пріоритетами. *Тези доповідей LXX науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 14-16 травня 2014). Київ. НТУ. 2014. С. 231. <https://drive.google.com/file/d/1agTqOd6w1gPCNnxhKLnviD7Gyx4d5oT6/view>.

12. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Пилипенко Ю.В., Майданик К.О., Прокудін О.Г., Омаров Д.М. Приклад побудови імітаційних моделей у транспортних системах. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Част. 1. Технічні науки*. 2016. Вип. 17. Київ. НТУ. С. 67–79.

ISSN 2309-8635

13. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В., Омаров Д.М. Визначення ефективності застосування системи тягових плечей у міжміських перевезеннях вантажу. *Тези доповідей VII Міжнародної науково–практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»*. (м. Чернігів, 24-27 квітня 2017 року). 2017. т. 2. Чернігів. ЧНТУ. С. 196–198.

ISBN 978-966-2188-78-3

14. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Підвищення ефективності міжміських перевезень вантажів за допомогою застосування системи тягових плеч. *Тези доповідей LXXIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 16-18 травня 2017). 2017. Київ. НТУ. С. 254.
<https://drive.google.com/file/d/1GyK8BsnakngvopAADyWv3l4kEA22yhEs/view>

15. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Пилипенко Ю.В., Майданик К.О. Удосконалення методів визначення оптимальних характеристик транспортних мереж. *Звіт про НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні”*. Проміжний етап: “Аналіз характеристик інтегрованих транспортних систем в міжнародному сполученні”. ДР 0112U008415. Київ. НТУ. 2017. С. 9–22.

16. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Нові підходи до організації міжнародних вантажних транспортних потоків. *Тези доповідей LXXIV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 16-18 травня 2018). Київ, 2018. С. 270–271.

https://drive.google.com/file/d/1_uA1WGugEVOGtLukG_ZMX71VgXPIq98l/view

17. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Редіч Ю.А., Майданик К.О. Оптимізація схем доставки вантажу у міжнародному сполученні. *Тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»*. (м. Чернігів, 10-12 травня 2018 року). 2018. т. 2. Чернігів. ЧНТУ. С. 239–241. . ISBN 978-617-7571-19-2

18. Ремех І.О. Оптимізація роботи вантажного митного комплексу за допомогою застосування багатоетапної транспортної задачі. *Звіт про НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні”. Проміжний етап: “Напрями підвищення конкурентоздатності інтегрованих транспортних систем при виконанні міжнародних перевезень”*. № ДР 0112U008415. Київ. НТУ. 2018. С. 143–150.

19. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Оптимізація роботи вантажних митних комплексів за допомогою застосування багатоетапної транспортної задачі. *Тези доповідей LXXV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 14-16 травня 2019). Київ. НТУ. 2019. С. 274–275.

<https://drive.google.com/file/d/16Vrd9t8qiaZrTaTmPzz5lqtihzjtrjsf/view>

20. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Редіч Ю.А., Майданик К.О. Застосування багатоетапної транспортної задачі в оптимізації роботи вантажного митного комплексу. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: Збірник наукових праць за матеріалами IX Міжнародної науково-практичної конференції*. (Одеса, 22-24 травня 2019). Одеса. 2019. С. 235–238. ISBN 978-617-7414-66-6

21. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Майданик К.О. Перетворення мережевих моделей процесу вантажних перевезень у матричні моделі. *Всеукраїнська науково-практична конференція «Транспортні технології та безпека дорожнього руху»*. (Запоріжжя, 14-15 квітня). Запоріжжя. НУ «Запорізька політехніка». 2020. С. 49–51. ISBN 978-617-529-271-6

22. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Підвищення ефективності функціонування вантажних митних комплексів за допомогою застосування сучасних засобів

інформаційних технологій. *Звіт про НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні”.* Проміжний етап: “Напрями підвищення конкурентоздатності інтегрованих транспортних систем при виконанні міжнародних перевезень”. № ДР 0112U008415. Київ. НТУ. 2019. С. 9–15.

23. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудіна І.І., Майданик К.О. Підхід до організації масових перевезень вантажу на транспортних мережах. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020). Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції.* (Херсон, 27-29 травня). Херсон. ХДМА. 2020. С. 14–17. https://drive.google.com/file/d/18erBFTL6_KR9Utwdh2C5nUTZK7FyrEJu/view?usp=sharing

24. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Підвищення ефективності функціонування вантажних митних комплексів за допомогою застосування сучасних засобів інформаційних технологій. *Тези доповідей LXXVI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету.* (Київ, 13-15 травня 2019). Київ. НТУ. 2020. С. 245–246. <https://drive.google.com/file/d/1Hlm8obLCicsOsLCs-eL7N7VIKdi7PWlv/view>

25. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г. Розв’язання незбалансованих вантажних перевезень із використанням транспортних технологій. *Міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні технології управління транспортними процесами».* (Харків, 17-18 листопада 2020). Харків. ХНАДУ. С. 138-140.

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

26. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г. Логістичний підхід к організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах. *Звіт про НДР “Підвищення ефективності організації і управління перевезеннями у міжнародному сполученні”.* Проміжний етап. № ДР 0120U105547. Київ. НТУ. 2021. С. 9–16.

27. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Логістичний підхід к організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах. *Тези доповідей LXXVII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 18-20 травня 2021). Київ. НТУ. 2021. С. 227. https://drive.google.com/file/d/1ueDfCu-mBO1oTk1-nKHgyDCsnBy_sab5/view?usp=sharing

28. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Застосування інформаційних технологій у вирішенні задач незбалансованих вантажних перевезень. *Тези доповідей LXXVIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 2-3 листопада 2022). Київ. НТУ. 2022. С. 212. <https://drive.google.com/file/d/1yhVlySer3EHbJt98UoRZEW94NhxOzk7/view>

29. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г. Організація вантажних перевезень в інтелектуальних транспортних системах. *Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні Транспортні Системи: Екологія, Безпека, Якість, Комфорт»*. (Київ, 29-30 листопада 2022). Київ. НТУ. С. 97-101. ISBN: 978-966-632-318-0 (Online) DOI: 10.33744/978-966-632-318-0-2022-3.

30. Свідоцтво № 112183 Літературний письмовий твір наукового характеру «Використання інформаційних технологій для розв'язання незбалансованих вантажних перевезень на транспортної мережі». Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудіна І.І., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності». Дата реєстрації 01.03. 2022. 9 с.

31. Свідоцтво № 112181 Комп'ютерна програма «Розв'язання незбалансованих вантажних перевезень на транспортної мережі». Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудіна І.І., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності». Дата реєстрації 01.03. 2022. 21 с.

32. Ладогубець Т.С., Фіногенов О.Д. Лінійне програмування: практикум з

дисципліни «Методи оптимізації» [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 113 «Прикладна математика», спеціалізації «Наука про дані та математичне моделювання». Київ. КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2019. 61 с.

33. Сікірда Ю.В., Шмельова Т.Ф., Беляєв Ю.Б., Абдел-Бадіх М.С. Математичне моделювання транспортних потоків при організації авіаційних подорожей. Теоретичні і прикладні напрямки розвитку туризму та рекреації в регіонах України : матеріали III міжнародної науково-практичної конференції, 6–7 квітня 2017 р. Кіровоград. 2017. 38-44.
<http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/26123>

34. Edsger W. Dijkstra. A Discipline of Programming. Prentice-Hall, 1976. 150 p.

35. Orden A. Survey of research on mathematical solutions of programming problems. Manag. Sci. 1. № 2. 1995. С. 170 – 172.

36. Кофман А., Анри-Лебердер А. Методы и модели исследований операций. *Целочисленное программирование*. М. Мир. 1997. 432 с.

37. Нестеров В.П. Транспортные задачи линейного программирования. М. Транспорт, 2011. 216 с.

38. Вентцель Е.С. Исследование операций. М. Сов. Радио. 1992. 552 с.

39. Дегтярёв Ю.И. Исследование операций. М. Высшая школа. 2006. 320 с.

40. Кремер Н.Ш. Исследование операций в экономике. М. ЮНИТИ, 1997. 407 с.

41. 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.

42. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. К. Вища школа. 1986. 447 с.

43. Кожин А.П. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками. М.:Высшая школа. 2009. 304 с.

44. Sharai S. Development of the procedure for simulation modeling of interrelated transport processes on the main road network / M. Oliskevych, M. Roi // Eastern-european

journal of enterprise technologies. 2019. 5(3-101), P. 70–83

<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/179042>

<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179042>

45. Четверухін Б.М. Дослідження операцій в транспортних системах. *Частина I. Методи лінійного програмування та їх застосування*. К. УТУ. 2000. 91 с.

46. Маслова Т.В. Ефективність перевезень вантажів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні за разовими замовленнями : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків : ХНАДУ, 2020. 24 с.

47. Адміністративно-територіальний устрій та сталий розвиток регіону (концептуальні основи та методологія) : монографія / В.М. Бабаєв, Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ та ін. 2-ге вид., стер. Харків: НТУ «ХП», 2008. 316 с.

48. Експорт, імпорт і транзит вантажів в Україні за 2020 рік : статистичний бюлетень Державної служби статистики України. Київ, 2020. 57 с.

49. Економіка і управління : зб. наук. праць Державного Економіко технологічного Університету. Київ : ДЕТУТ, 2009. 304 с.

50. New Transport Corridor Project in The Baltic Sea Region : Project TENTackle official web-site. URL: http://tentacle.eu/a/uploads/dokument/2019-02-28_TENTacle_NUTSHELL.pdf (дата звернення: 17.07.2022)

51. Костюченко Л.М., Неапетян М.Р. Автомобільні перевезення у міжнародному сполученні. К.: Видавничий Дім «Слово», 2007. 656 с.

52. Бідняк М.Н. Виробничі системи на транспорті : теорія і практика. Вінниця: Універсам Вінниця, 2006. 176 с.

53. Науменко В.П., Пашко П.В. Митне регулювання зовнішньо-економічної діяльності в Україні. К.: Знання, 2004. 420 с.

54. Смирнов І.Г., Литвенко Л.М., Шум І.В. Митно-логістичні послуги в Україні та проблеми національної економічної безпеки. *Актуальні проблеми безпеки України в умовах її інтеграції до світового співтовариства*: матеріали. 137 наук.-практ. конф. Дніпропетровськ, 2005. С. 28-30.

55. Status of the Pan-European Transport Corridors and Transport Areas : EU

Commission Working Document. Vienna: TINA office, 2008. 106 p.

56. Бакаєв О.О., Кутах О.П., Пономаренко Л.А. Теоретичні засади логістики : підручник; т. 2. К.: Фенікс, 2006. 528 с.

57. Катренко А.В. Дослідження операцій: підручник. Львів: Магнолія Плюс, 2006. 549 с.

58. Пономаренко О.І., Пономаренко В.О. Системні методи в економіці, менеджменті та бізнесі : навч. посібник. К.: Либідь, 1995. 240 с.

59. Морозов А.В. Математические модели задач построения замкнутых маршрутов на транспортной сети. *Штучний інтелект*. № 1-2. 2015. С. 157–169.

60. Горев А.Э. Грузовые автомобильные перевозки. М.: Академия, 2008. 288 с.

61. Кожин А.П. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками. М.: Высшая школа, 1979. –304 с.

62. Житков В.А. Планирование автомобильных перевозок грузов мелкими партиями. М.: Транспорт, 1976. 112 с.

63. Olishevych M., Taran I., Volkova T., Klymenko I. Simulation of cargo delivery by road carrier: case study of the transportation company/ // *Naukovyi visnyk natsionalnoho hirnychoho universytetu*. 2022. (2), PP. 118–123.

<https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-2/118>

<http://nvngu.in.ua/index.php/en/archive/on-the-issues/1878-2022/content-2-2022/6173-118>

64. Дыбская В.В., Зайцев Е.И., Сергеев В.И., Стерлингова А.Н. Логистика : 141 учебник; полный курс МВА. М.: Эксмо, 2011. 944 с.

65. Практикум по логистике : учебное пособие / под ред. Б.А. Аникина; 2-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2006. 276 с.

66. Нефьодов М.А. Логістика-2 : конспект лекцій / М.А. Нефьодов. Харків: ХНАДУ, 2012. 54 с.

67. Модели и методы теории логистики / под ред. В.С. Лукинского. СПб.: Питер, 2008. 598 с.

68. Логистика автомобильного транспорта / Лукинский В.С. и др. М.:

Финансы и статистика, 2004. 368 с.

69. Бауэрсокс Д.Дж., Клосс Д.Дж. Логистика: Интегрированная цепь поставок. М.: ЗАО «Олимпия-Бизнес», 2006. 640 с.

70. Про приєднання України до Європейської угоди щодо роботи екіпажів транспортних засобів, які виконують міжнародні автомобільні перевезення (ЄУТР) : Закон України від 07.09.2005 р. № 2819-IV. Відомості Верховної Ради України. 2005. № 50. Ст. 536.

71. Європейська угода щодо роботи екіпажів транспортних засобів, які виконують міжнародні автомобільні перевезення (ЄУТР) : офіційний веб-портал Верховної ради України. URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994_016. (дата звернення: 25.10.2020)

72. Цегелик Г.Г. Лінійне програмування / Г.Г. Цегелик // Навч. посібник для студентів вузів, що вивчають дисципліну “Мат. програмування” – Львів: Світ, 1995. – 225 с.

73. Прокудін Г.С. Теоретичні основи організації вантажних перевезень на транспортних мережах / Г.С. Прокудін, І.О. Ремех // *Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник*. Вип. № 3 (53) : Серія «Технічні науки». – К.: НТУ, 2022. – С. 312–321.

http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/53/312_321.pdf

74. Цегелик Г.Г. Транспортна задача лінійного програмування. Львів. Світ. 1998. С. 64 – 65.

75. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах. : Монографія. К. НТУ. 2006. 224 с.

http://lib.ntu.edu.ua/catalog/page_lib.php

76. Бирман И.Я. Транспортная задача линейного программирования. М. Мир. 1962. С. 74 – 75.

77. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. М. Высшая школа. 1986. С. 147 – 154.

78. Прокудін Г.С., О.В. Ящук О.В. Оптимізація перевезень на транспортній

мережі з обмеженнями на пропускні спроможності комунікацій. *Науково-технічний збірник "Автомобільні дороги і дорожнє будівництво"*. № 69. 2003. К. НТУ. С. 123 – 129.

http://lib.ntu.edu.ua/catalog/page_lib.php

79. Prokudin G.S., Lebed I.G., Grysiuk Y.S., Gusev A.V., Khmelyov I.V. Transportation safety: comparative analysis of modern approaches to the definition of information volume of the road traffic environment. *Science Journal: in part2, part 1: Series: "Technical sciences"*. Kyiv. NTU. 2014. P. 190–201. Http://publications.ntu.edu.ua/upravl_proget/2014_14_tech/188.pdf

80. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Омаров Д.М., Прокудін О.Г., Дудник О.С. Модель організації мультимодальних вантажних перевезень у міжнародному сполученні. *Вісник Національного транспортного університету, Науково-технічний збірник, Вип. № 1 (34) : Серія «Технічні науки»*. К.:НТУ. 2016. С. 397–406. http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/34_2016/397-406.pdf.

81. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. М. Наука. 1973. 268 с.

82. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. М. Наука,. 1978. 457 с.

83. Флешиман В.С. Основы системологии. М. Наука. 2002. 524 с.

84. Новосельцев В.И. Теоретические основы системного анализа. М. Майор. 2006. 351 с.

85. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении. М. Финансы и статистика. 2003. 368 с.

86. Миротин Л.Б., Ташбаев Ы.Э. Системный анализ в экономике. М. Экзамен. 2002. 480 с.

87. Прокудін Г.С., Дмитриченко А.М., Цимбал Н.М., Дудник О.С, Омаров Д.А. Застосування сучасних інформаційних технологій при розв’язанні багатостадійних транспортних задач. *Вісник НТУ*. № 31. К. НТУ. 2015. С. 450–462. HTTP://PUBLICATIONS.NTU.EDU.UA/VISNYK/31_1_TECH_2015/450-462.PDF

88. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Хоботня Т.Г., Гілевська К.Ю., Денис О.В. Логістичний підхід к організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах. *Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник: Серія «Технічні науки»*. К. НТУ. Вип. № 1 (51). 2022. С. 323–332.

http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/51/323_331.pdf.

89. Пападимитриу С., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность.: Пер. с англ. М. Мир. 1985. 325 с.

90. Нестеров В.П. Транспортные задачи линейного программирования. М. Транспорт. 1971 216 с.

91. Лурье А. Л. О математических методах решения задач на оптимум при планировании социалистического хозяйства. М. Наука. 1964 264 с.

92. Прокудін Г. С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах : монографія. К. НТУ. 2006. С. 117-143.

http://lib.ntu.edu.ua/catalog/page_lib.php

93. Takahashi Iwaro. The three algorithm for solving network transportation problems of the Operations Research Society of Japan. Vol. 8, N 4. 1966. P. 164–171.

94. Ким К. В. Об использовании специфики условий задачи в методе улучшения плана. М. Экономика и математические методы. № 1. 1966. С. 347–384.

95. Fulkerson D.R. Increasing the capacity of a network: the parametric budget problem. *Management Science*. Vol. 5, № 4. 1959. P. 94–124.

96. 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.DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.010>

<https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/transport-means-a4-i-dalis.pdf>

https://www.researchgate.net/publication/348969421_MANAGEMENT_DECISION_SUP

PORT_SYSTEM_FREIGHT_TRANSPORTATION_ON_TRANSPORT_NETWORKS

97. Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г. Організація незбалансованих вантажних перевезень із використанням вантажних митних комплексів. *Розвиток транспорту*. Випуск 1(6). О. Одеський національний морський університет. 2020. С. 116-126. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.010>.

98. Прокудін Г.С., 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*. Т.29 (68) № 4. К. ТНУ. 2018. С. 142–146.
http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/4_2018/part_2/28.pdf

99. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій. К. ЗАТ “ВІПОЛ”. 2000. 688 с.

100. Прокудін Г.С., Дмитрієв М.М. Система підтримки прийняття рішень по оптимальному управлінню не збалансованими вантажними перевезеннями: Свідectво 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.

101. Prokudin G., Prokudin O., 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*. N. 2/3 (92). 2018. P. 51-59. ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2018.128907, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/128907>

102. Прокудін Г.С., Дмитрієв М.М. Програма пошуку найкоротших відстаней на транспортній мережі за допомогою методу графів: Свідectво 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.

103. Менеджмент зовнішньоекономічної діяльності: навчальний посібник / І.І. Дахно, В.М., Барановська, В.О. Главник, М.В. Духно за ред. І.І. Дахна. К. Центр навчальної літератури. 2006. 304 с.

104. Миротин Л.Б., Гудков В.А., Миротин Л.Б., Куликов Л.Б., Вельможин А.В.

Грузовые автомобильные перевозки. М. Горячая линия-Телеком. 2006. 560 с.

105. Савін В.І. Перевезення вантажів автомобільним транспортом: Довідковий посібник. М.:Видавництво «Дело І Сервіс». 2002. 544 с.

106. Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов (склады, транспортные узлы, терминалы): Учебник для транспортных вузов. Под общ. ред. Л.Б. Миротина. М. Издательство «Екзамен». 2003. 448 с.

107. Воркут Т.А. Проектування систем транспортного обслуговування в ланцюгах постачань: Монографія. К. НТУУ, 2002. 248 с.

108. Мосьян 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.

109. 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. ISBN 978-617-518-412-7*

110. Ерфан Є.А., Король М.Ю. Сучасний стан розвитку прикордонної інфраструктури України з країнами ЄС. *Науковий вісник Мукачівського державного університету. №1. 2017. С. 22 – 29.*

111. Кузьмичов А.І., Медведєв М.Г. Математичне програмування в Excel: навчальний посібник. К. Вид-во Європ. Ун-ту. 2005. 320 с

112. Prokudin G., Chupaylenko O., Dudnik O., Dudnik A., Omarov D. Improvement of the methods for determining optimal characteristics of transportation networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. 6(3-84). P. 54–61. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85211>*
<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/85211>

113. Кунда Н.Т. Дослідження операцій у транспортних системах / Н.Т. Кунда // Навч. посібник для студентів напряму «Транспортні технології» ВНЗ. К. Видавничий Дім «Слово». 2008. 400 с.

114. Лашених О.А., О.Ф. Кузькін. Методи і моделі оптимізації транспортних процесів і систем : Навчальний посібник. Запоріжжя. 2006. 435 с.
115. 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.
116. Danchuk V., Bakulich O., Taraban S., Bieliatynskyi A. Simulation of traffic flows optimization in road networks using electrical analogue model. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. 1258 AIS.P. 238–254
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-57450-5_22
https://doi.org/10.1007/978-3-030-57450-5_22
117. Куницька О.М. Підвищення ефективності роботи митного терміналу при виконанні міжнародних вантажних автомобільних перевезень : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Київ : НТУ, 2006. 24 с.
118. Danchuk V., Bakulich O., Svatko V. An Improvement in ant Algorithm Method for Optimizing a Transport Route with Regard to Traffic Flow. *Procedia Engineering*, 187. 2017. P. 425–434 <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.396>
[sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817319264](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817319264)
119. Системологія на транспорті. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К. та інш. // Технологія наукових досліджень і технічної творчості. К. Знання України,. 2005. 352 с.
120. Галушко В.Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте. К. Вища шк. 1976. 232 с.
121. Завадский Ю.В. Методика статистической обработки экспериментальных данных. М. МАДИ, 1981. 116 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Свідоцтво № 112183 Літературний письмовий твір наукового характеру «Використання інформаційних технологій для розв'язання незбалансованих вантажних перевезень на транспортної мережі». Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудіна І.І., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності». Дата реєстрації 01.03. 2022. 9 с. . . .	177 1
Додаток Б. Свідоцтво № 112181 Комп'ютерна програма «Розв'язання незбалансованих вантажних перевезень на транспортної мережі». Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудіна І.І., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності». Дата реєстрації 01.03. 2022. 21 с.	172
Додаток В. Акти впровадження	173
Додаток Д. Програмний комплекс для розв'язання багатоступового транспортного завдання під час перевезення вантажів з використанням вантажних митних комплексів у міжнародному сполученні на основі системи тягових плечей.	177
Додаток Е. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	193

Додаток А



Додаток Б



Додаток В

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з навчальної роботи
Національного транспортного університету
проф. Олександр ГРИЩУК

“ 12 ” грудня 2021 р.

АКТ

про впровадження в навчальний процес матеріалів дисертаційної роботи
“Підвищення ефективності перевезень вантажів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні” здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті) кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету
 Ремех Інни Олександрівни

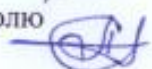
Починаючи з 2018-2019 навчального року по теперішній час в навчальному процесі кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету використовуються науково-методичні матеріали і прикладні результати, що містяться в дисертаційній роботі здобувача кафедри міжнародних перевезень та митного контролю *Ремех І.О.*

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 функціонування вантажних митних комплексів при організації міжнародних 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 на факультеті транспортних та інформаційних технологій в процесі дипломного проектування та при виконанні курсового проекту студентами спеціалізації 275.03 — Транспортні технології (на автомобільному транспорті) з дисципліни “Моделі та методи оптимізації перевезень у міжнародному сполученні” використовуються розроблені в дисертаційній роботі *Ремех І.О.* моделі, методи та програмне забезпечення процесу організації міжнародних вантажних перевезень.

Включення методичних матеріалів і прикладних результатів кандидатської дисертаційної роботи *Ремех І.О.*, 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
 Завідувач кафедри
 міжнародних перевезень та митного контролю
 д.т.н., професор

Віктор ДАНЧУК

Георгій ПРОКУДІН



Training and Consulting Center



Асоціація Міжнародних Автомобільних Перевізників

Навчально-консультаційний центр АСМАП України

ASSOCIATE
TRAINING
INSTITUTE



АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

"Підвищення ефективності перевезень вантажів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні"

здобувача кафедри міжнародних перевезень та митного контролю
Ремех Інни Олександрівни

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 дисертаційної роботи **"Підвищення ефективності перевезень вантажів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні"** здобувача кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Ремех Інни Олександрівни використовуються у навчально-виробничому процесі при плануванні міжнародних перевезень вантажів випускниками курсів підвищення кваліфікації НКЦ АСМАП України.

Вид результату, що впроваджено: база даних інфраструктури України та Західної Європи

Форма впровадження результатів: система підтримки прийняття рішень управління незбалансованими вантажними перевезеннями на транспортних мережах України та Західної Європи.

Ефект від впровадження: використання результатів дисертаційної роботи «Підвищення ефективності функціонування вантажних митних комплексів при організації міжнародних перевезень» здобувача кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Ремех І.О. 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

Л.Г. Добруха

«Затверджую»

Директор ІП «ЧСАД-Україна»
Васюта І.М.



08 серпня 2022 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Ми, хто підписався нижче, засвідчуємо передачу і, відповідно, приймання для використання продукту науково-технічної розробки, яка полягає в наступному.

Об'єкт впровадження.

1. Методика використання багатоетапної транспортної задачі при транспортуванні вантажів з застосуванням вантажних митних комплексів у міжнародному сполученні.
2. Система аналізу митної термінальної мережі масового обслуговування (САМТМО) при виконанні автомобільних вантажних перевезень у міжнародному сполученні з використанням технології тягових плечей.

Ким запропоновано.

Національний транспортний університет, кафедра міжнародних перевезень та митного контролю, автори: проф. Прокудін Г.С., ас. Ремех І.О.

Де і коли, з якою метою впроваджено.

САМТМО на автомобільних пунктах пропуску України та Західної Європи впроваджено на підприємстві ІП «ЧСАД-Україна» для знаходження оптимальних планів перевезення вантажів при виконанні вантажних перевезень у міжнародному сполученні з жовтня 2021 року при плануванні транспортних процесів.

Предмет, результати та ефективність впровадження.

SAMTMO на автомобільних пунктах пропуску призначена для використання в галузі диспетчерського керування парком автомобільних транспортних засобів, які здійснюють вантажні міжнародні перевезення. Вона передбачає адекватне реагування на виникаючі в процесі її функціонування виробничі ситуації та дозволяє корегувати значення тих чи інших параметрів та характеристик мережі (кількість каналів, інтенсивність обслуговування і таке інше) з метою покращення роботи митного вантажного терміналу та забезпечення оптимального процесу перетину кордону із зміною вантажних модулів.

Висновки, зауваження, пропозиції.

Впровадження і використання SAMTMO на автомобільних пунктах пропуску України та Західної Європи дає змогу отримати оптимальні плани вантажних перевезень у міжнародному сполученні, а також раціональну технологічну схему перетину кордону із зміною вантажних модулів.

Запропонована система дає можливість значно підвищити швидкість перетину кордону вантажним транспортом, в тому числі для випадків незбалансованих за обсягами перевезень вантажів.

SAMTMO на автомобільних пунктах пропуску України та Західної Європи може бути включена до диспетчерської системи і системи стеження за міжнародними вантажними перевезеннями.

Від підприємства:

заст. керівника з логістики

Дорош В.М.



Автори розробки:

Прокудін Г.С.



Ремех І.О.



Додаток Д

Програмний комплекс для розв'язання багатоетапного транспортного завдання під час перевезення вантажів з використанням вантажних митних комплексів у міжнародному сполученні на основі системи тягових плечей

```
unit Unit1;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, Grids, ComObj, ActiveX, Menus, jpeg;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)  
    LE1: TLabeledEdit;  
    LE2: TLabeledEdit;  
    LE3: TLabeledEdit;  
    Button1: TButton;  
    A2: TLabeledEdit;  
    B1: TLabeledEdit;  
    B2: TLabeledEdit;  
    B3: TLabeledEdit;  
    B4: TLabeledEdit;  
    C1: TLabeledEdit;  
    C2: TLabeledEdit;  
    C3: TLabeledEdit;  
    A3: TLabeledEdit;  
    B5: TLabeledEdit;  
    C4: TLabeledEdit;  
    Button2: TButton;  
    A1: TLabeledEdit;  
    SGA_B: TStringGrid;  
    Button3: TButton;  
    SGA_C: TStringGrid;  
    SGC_B: TStringGrid;  
    Button4: TButton;  
    Button5: TButton;  
    MainMenu1: TMainMenu;  
    N1: TMenuItem;  
    Label1: TLabel;  
    SGA_C_: TStringGrid;  
    SGC_B_: TStringGrid;  
    SGA_B_: TStringGrid;  
    Label2: TLabel;  
    Label3: TLabel;  
    Label4: TLabel;  
    Label5: TLabel;  
    Label6: TLabel;  
    Label7: TLabel;  
    Label8: TLabel;  
    Label9: TLabel;  
    Label10: TLabel;  
    Image1: TImage;  
    Image2: TImage;  
    Image3: TImage;
```

```

Image4: TImage;
Label11: TLabel;
SGA_B__: TStringGrid;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure N1Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;
i, j, k, m, n, l, sum_A, sum_B, sum_C : Integer;
A, B, C : Array[1..10] Of Integer;
A_B, A_C, C_B : Array[1..10,1..10] Of Integer;
implementation

{$R *.dfm}

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  m := StrToInt(LE1.Text);
  If (m = 2) Then
    Begin
      A1.Visible := true;
      A2.Visible := true;
    End;
  If (m = 3) Then
    Begin
      A1.Visible := true;
      A2.Visible := true;
      A3.Visible := true;
    End;
  { * . . . *}
  n := StrToInt(LE2.Text);
  If (n = 2) Then
    Begin
      B1.Visible := true;
      B2.Visible := true;
    End;
  If (n = 3) Then
    Begin

```



```

    B1.Visible := true;
    B2.Visible := true;
    B3.Visible := true;
End;
If (n = 4) Then
Begin
    B1.Visible := true;
    B2.Visible := true;
    B3.Visible := true;
    B4.Visible := true;
End;
If (n = 5) Then
Begin
    B1.Visible := true;
    B2.Visible := true;
    B3.Visible := true;
    B4.Visible := true;
    B5.Visible := true;
End;
{* ... *}
l := StrToInt(LE3.Text);
If (l = 2) Then
Begin
    C1.Visible := true;
    C2.Visible := true;
End;
If (l = 3) Then
Begin
    C1.Visible := true;
    C2.Visible := true;
    C3.Visible := true;
End;
If (l = 4) Then
Begin
    C1.Visible := true;
    C2.Visible := true;
    C3.Visible := true;
    C4.Visible := true;
End;
{* ... *}
Button1.Visible := false;
Button2.Visible := true;
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    A[1] := StrToInt(A1.Text);
    A[2] := StrToInt(A2.Text);
    A[3] := StrToInt(A3.Text);
    sum_A := 0;
    For i:=1 To m Do
        sum_A := sum_A + A[i];

    B[1] := StrToInt(B1.Text);
    B[2] := StrToInt(B2.Text);
    B[3] := StrToInt(B3.Text);
    B[4] := StrToInt(B4.Text);
    B[5] := StrToInt(B5.Text);

```

```

sum_B := 0;
For j:=1 To n Do
  sum_B := sum_B + B[j];

C[1] := StrToInt(C1.Text);
C[2] := StrToInt(C2.Text);
C[3] := StrToInt(C3.Text);
C[4] := StrToInt(C4.Text);

sum_C := 0;
For k:=1 To l Do
  sum_C := sum_C + C[k];
A_B[1,1] := 1; A_B[1,2] := 2; A_B[1,3] := 3; A_B[1,4] := 4;
A_B[2,1] := 5; A_B[2,2] := 6; A_B[2,3] := 7; A_B[2,4] := 8;
{* ... *}
A_C[1,1] := 1; A_C[1,2] := 2; A_C[1,3] := 3;
A_C[2,1] := 4; A_C[2,2] := 5; A_C[2,3] := 6;
{* ... *}
C_B[1,1] := 1; C_B[1,2] := 2; C_B[1,3] := 3; C_B[1,4] := 4;
C_B[2,1] := 5; C_B[2,2] := 6; C_B[2,3] := 7; C_B[2,4] := 8;
C_B[3,1] := 9; C_B[3,2] := 10; C_B[3,3] := 11; C_B[3,4] := 12;

SGA_B.RowCount := m+1;
SGA_B.Height := (m+1)*32;
SGA_B.ColCount := n+1;
SGA_B.Width := (n+1)*32;
SGA_B.Visible := true;
SGA_B.Cells[1,0] := 'B1'; SGA_B.Cells[2,0] := 'B2'; SGA_B.Cells[3,0] := 'B3'; SGA_B.Cells[4,0] := 'B4';
SGA_B.Cells[0,1] := 'A1'; SGA_B.Cells[0,2] := 'A2';
SGA_B.Cells[1,1] := IntToStr(A_B[1,1]); SGA_B.Cells[2,1] := IntToStr(A_B[1,2]); SGA_B.Cells[3,1] :=
IntToStr(A_B[1,3]); SGA_B.Cells[4,1] := IntToStr(A_B[1,4]);
SGA_B.Cells[1,2] := IntToStr(A_B[2,1]); SGA_B.Cells[2,2] := IntToStr(A_B[2,2]); SGA_B.Cells[3,2] :=
IntToStr(A_B[2,3]); SGA_B.Cells[4,2] := IntToStr(A_B[2,4]);

SGA_B_.RowCount := m+1;
SGA_B_.Height := (m+1)*32;
SGA_B_.ColCount := n+1;
SGA_B_.Width := (n+1)*32;
SGA_B_.Visible := false;
SGA_B_.Cells[1,0] := 'B1'; SGA_B_.Cells[2,0] := 'B2'; SGA_B_.Cells[3,0] := 'B3'; SGA_B_.Cells[4,0] := 'B4';
SGA_B_.Cells[0,1] := 'A1'; SGA_B_.Cells[0,2] := 'A2';

SGA_B__.RowCount := m+1;
SGA_B__.Height := (m+1)*32;
SGA_B__.ColCount := n+1;
SGA_B__.Width := (n+1)*32;
SGA_B__.Visible := false;
SGA_B__.Cells[1,0] := 'B1'; SGA_B__.Cells[2,0] := 'B2'; SGA_B__.Cells[3,0] := 'B3'; SGA_B__.Cells[4,0] :=
'B4';
SGA_B__.Cells[0,1] := 'A1'; SGA_B__.Cells[0,2] := 'A2';

SGA_C.RowCount := m+1;
SGA_C.Height := (m+1)*32;
SGA_C.ColCount := l+1;
SGA_C.Width := (l+1)*32;
SGA_C.Visible := true;
SGA_C.Cells[1,0] := 'C1'; SGA_C.Cells[2,0] := 'C2'; SGA_C.Cells[3,0] := 'C3';
SGA_C.Cells[0,1] := 'A1'; SGA_C.Cells[0,2] := 'A2';

```

```

    SGA_C.Cells[1,1] := IntToStr(A_C[1,1]); SGA_C.Cells[2,1] := IntToStr(A_C[1,2]); SGA_C.Cells[3,1] :=
IntToStr(A_C[1,3]);
    SGA_C.Cells[1,2] := IntToStr(A_C[2,1]); SGA_C.Cells[2,2] := IntToStr(A_C[2,2]); SGA_C.Cells[3,2] :=
IntToStr(A_C[2,3]);

    SGA_C.RowCount := m+1;
    SGA_C.Height := (m+1)*32;
    SGA_C.ColCount := l+1;
    SGA_C.Width := (l+1)*32;
    SGA_C.Visible := false;
    SGA_C.Cells[1,0] := 'C1'; SGA_C.Cells[2,0] := 'C2'; SGA_C.Cells[3,0] := 'C3';
    SGA_C.Cells[0,1] := 'A1'; SGA_C.Cells[0,2] := 'A2';

    SGC_B.RowCount := l+1;
    SGC_B.Height := (l+1)*32;
    SGC_B.ColCount := n+1;
    SGC_B.Width := (n+1)*32;
    SGC_B.Visible := true;
    SGC_B.Cells[1,0] := 'B1'; SGC_B.Cells[2,0] := 'B2'; SGC_B.Cells[3,0] := 'B3'; SGC_B.Cells[4,0] := 'B4';
    SGC_B.Cells[0,1] := 'C1'; SGC_B.Cells[0,2] := 'C2'; SGC_B.Cells[0,3] := 'C3';
    SGC_B.Cells[1,1] := IntToStr(C_B[1,1]); SGC_B.Cells[2,1] := IntToStr(C_B[1,2]); SGC_B.Cells[3,1] :=
IntToStr(C_B[1,3]); SGC_B.Cells[4,1] := IntToStr(C_B[1,4]);
    SGC_B.Cells[1,2] := IntToStr(C_B[2,1]); SGC_B.Cells[2,2] := IntToStr(C_B[2,2]); SGC_B.Cells[3,2] :=
IntToStr(C_B[2,3]); SGC_B.Cells[4,2] := IntToStr(C_B[2,4]);
    SGC_B.Cells[1,3] := IntToStr(C_B[3,1]); SGC_B.Cells[2,3] := IntToStr(C_B[3,2]); SGC_B.Cells[3,3] :=
IntToStr(C_B[3,3]); SGC_B.Cells[4,3] := IntToStr(C_B[3,4]);

    SGC_B.RowCount := l+1;
    SGC_B.Height := (l+1)*32;
    SGC_B.ColCount := n+1;
    SGC_B.Width := (n+1)*32;
    SGC_B.Visible := false;
    SGC_B.Cells[1,0] := 'B1'; SGC_B.Cells[2,0] := 'B2'; SGC_B.Cells[3,0] := 'B3'; SGC_B.Cells[4,0] := 'B4';
    SGC_B.Cells[0,1] := 'C1'; SGC_B.Cells[0,2] := 'C2'; SGC_B.Cells[0,3] := 'C3';

    Label1.Visible := true;
    Label2.Visible := true;
    Label3.Visible := true;

    Button2.Visible := false;
    Button3.Visible := true;
end;

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    A_B[1,1] := StrToInt(SGA_B.Cells[1,1]); A_B[1,2] := StrToInt(SGA_B.Cells[2,1]); A_B[1,3] :=
StrToInt(SGA_B.Cells[3,1]); A_B[1,4] := StrToInt(SGA_B.Cells[4,1]);
    A_B[2,1] := StrToInt(SGA_B.Cells[1,2]); A_B[2,2] := StrToInt(SGA_B.Cells[2,2]); A_B[2,3] :=
StrToInt(SGA_B.Cells[3,2]); A_B[2,4] := StrToInt(SGA_B.Cells[4,2]);

    A_C[1,1] := StrToInt(SGA_C.Cells[1,1]); A_C[1,2] := StrToInt(SGA_C.Cells[2,1]); A_C[1,3] :=
StrToInt(SGA_C.Cells[3,1]);
    A_C[2,1] := StrToInt(SGA_C.Cells[1,2]); A_C[2,2] := StrToInt(SGA_C.Cells[2,2]); A_C[2,3] :=
StrToInt(SGA_C.Cells[3,2]);

    C_B[1,1] := StrToInt(SGC_B.Cells[1,1]); C_B[1,2] := StrToInt(SGC_B.Cells[2,1]); C_B[1,3] :=
StrToInt(SGC_B.Cells[3,1]); C_B[1,4] := StrToInt(SGC_B.Cells[4,1]);

```

```

C_B[2,1] := StrToInt(SGC_B.Cells[1,2]); C_B[2,2] := StrToInt(SGC_B.Cells[2,2]); C_B[2,3] :=
StrToInt(SGC_B.Cells[3,2]); C_B[2,4] := StrToInt(SGC_B.Cells[4,2]);
C_B[3,1] := StrToInt(SGC_B.Cells[1,3]); C_B[3,2] := StrToInt(SGC_B.Cells[2,3]); C_B[3,3] :=
StrToInt(SGC_B.Cells[3,3]); C_B[3,4] := StrToInt(SGC_B.Cells[4,3]);

```

```

SGC_B.Cells[1,3] := IntToStr(C_B[3,1]); SGC_B.Cells[2,3] := IntToStr(C_B[3,2]); SGC_B.Cells[3,3] :=
IntToStr(C_B[3,3]); SGC_B.Cells[4,3] := IntToStr(C_B[3,4]);

```

```

Button3.Visible := false;
Button4.Visible := true;
Label1.Visible := true;
Label2.Visible := true;
Label3.Visible := true;
end;

```

```

procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
var ExcelApp, Workbook, Range, Cell1, Cell2, ArrayData : Variant;
    i, j : integer;
begin
    IF (m = 2) AND (n = 4) AND (l = 3) THEN
        BEGIN
            SGA_B_.Visible := true;
            Label6.Visible := true;
            SGA_C_.Visible := true;
            Label5.Visible := true;
            SGC_B_.Visible := true;
            Label4.Visible := true;
            ExcelApp := CreateOleObject('Excel.Application');
            ExcelApp.Application.EnableEvents := true;
            Workbook := ExcelApp.WorkBooks.Open('D:\BTZ\Program_ruch\BTZ_PGS');

```

```

If (sum_A <= sum_B) Then
    Begin
        // Одноэтапна Т3
        Workbook.Worksheets[1].Activate;
        ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
        For i:=1 To m Do
            For j:=1 To n Do
                ArrayData[i,j] := A_B[i,j];
            Cell1 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[2, 2];
            Cell2 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[3, 5];
            Range := Workbook.WorkSheets[1].Range[Cell1, Cell2];
            Range.Value := ArrayData;

            ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, l], varVariant);
            For i:=1 To m Do
                For k:=1 To l Do
                    ArrayData[i,k] := A_C[i,k];
                Cell1 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[15, 2];
                Cell2 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[16, 4];
                Range := Workbook.WorkSheets[1].Range[Cell1, Cell2];
                Range.Value := ArrayData;

                ArrayData := VarArrayCreate([1, l, 1, n], varVariant);
                For k:=1 To l Do
                    For j:=1 To n Do
                        ArrayData[k,j] := C_B[k,j];
                    Cell1 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[2, 9];

```

```

Cell2 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[4,12];
Range := Workbook.WorkSheets[1].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, 1], varVariant);
For i:=1 To m Do
  ArrayData[i,1] := A[i];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[2, 6];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[3, 6];
Range := Workbook.WorkSheets[1].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, n], varVariant);
For j:=1 To n Do
  ArrayData[j] := B[j];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[4, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[4, 5];
Range := Workbook.WorkSheets[1].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, l], varVariant);
For k:=1 To l Do
  ArrayData[k] := C[k];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[17, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[17, 4];
Range := Workbook.WorkSheets[1].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ExcelApp.Run('macros1');
ExcelApp.Run('macros1');

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[8, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[1].Cells[9, 5];
Range := Workbook.WorkSheets[1].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To m Do
  For j:=1 To n Do
    SGA_B_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

```

```

Label8.Caption := Label8.Caption + ' = ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[1].Range['A11']);
Label8.Visible := true;

```

```

Image2.Visible := true;
SGA_C_.Visible := false;
SGA_C_.Visible := false;
SGC_B_.Visible := false;
SGC_B_.Visible := false;
Label1.Visible := false;
Label2.Visible := false;
Label4.Visible := false;
Label5.Visible := false;

```

```
End
```

```
Else
```

```
If (sum_A < (sum_B + sum_C)) Then
```

```
Begin
```

```
// Двоступна Т3 (<)
```

```
Workbook.Worksheets[2].Activate;
```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
For i:=1 To m Do
For j:=1 To n Do
  ArrayData[i,j] := A_B[i,j];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[2, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[3, 5];
Range := Workbook.WorkSheets[2].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, l], varVariant);
For i:=1 To m Do
For k:=1 To l Do
  ArrayData[i,k] := A_C[i,k];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[15, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[16, 4];
Range := Workbook.WorkSheets[2].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, l, 1, n], varVariant);
For k:=1 To l Do
For j:=1 To n Do
  ArrayData[k,j] := C_B[k,j];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[2, 9];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[4,12];
Range := Workbook.WorkSheets[2].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, 1], varVariant);
For i:=1 To m Do
  ArrayData[i,1] := A[i];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[2, 6];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[3, 6];
Range := Workbook.WorkSheets[2].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, n], varVariant);
For j:=1 To n Do
  ArrayData[j] := B[j];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[4, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[4, 5];
Range := Workbook.WorkSheets[2].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, l], varVariant);
For k:=1 To l Do
  ArrayData[k] := C[k];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[17, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[17, 4];
Range := Workbook.WorkSheets[2].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ExcelApp.Run('macros2');
ExcelApp.Run('macros2');

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[8, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[9, 5];
Range := Workbook.WorkSheets[2].Range[Cell1, Cell2];

```

```

ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To m Do
For j:=1 To n Do
    SGA_B_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, l], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[20, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[21, 4];
Range := Workbook.WorkSheets[2].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To m Do
For j:=1 To l Do
    SGA_C_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

ArrayData := VarArrayCreate([1, l, 1, n], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[8, 9];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[2].Cells[10,12];
Range := Workbook.WorkSheets[2].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To l Do
For j:=1 To n Do
    SGC_B_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

Label7.Caption := Label7.Caption + ' ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[2].Range['G14']);
Label8.Caption := Label8.Caption + ' ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[2].Range['A11']);
Label9.Caption := Label9.Caption + ' ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[2].Range['A23']);
Label10.Caption := Label10.Caption + ' ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[2].Range['H12']);
Label7.Visible := true;
Label8.Visible := true;
Label9.Visible := true;
Label10.Visible := true;
Image1.Visible := true;
Image2.Visible := true;
Image3.Visible := true;
End
Else
If (sum_A = (sum_B + sum_C)) Then
Begin
    // Двоступня Т3 (=)
    Workbook.Worksheets[3].Activate;
    ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
    For i:=1 To m Do
    For j:=1 To n Do
        ArrayData[i,j] := A_B[i,j];
    Cell1 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[2, 2];
    Cell2 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[3, 5];
    Range := Workbook.WorkSheets[3].Range[Cell1, Cell2];
    Range.Value := ArrayData;

    ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, l], varVariant);
    For i:=1 To m Do
    For k:=1 To l Do
        ArrayData[i,k] := A_C[i,k];
    Cell1 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[15, 2];
    Cell2 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[16, 4];
    Range := Workbook.WorkSheets[3].Range[Cell1, Cell2];
    Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, l, 1, n], varVariant);
For k:=1 To l Do
For j:=1 To n Do
  ArrayData[k,j] := C_B[k,j];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[2, 9];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[4,12];
Range := Workbook.WorkSheets[3].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, 1], varVariant);
For i:=1 To m Do
  ArrayData[i, 1] := A[i];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[2, 6];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[3, 6];
Range := Workbook.WorkSheets[3].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, n], varVariant);
For j:=1 To n Do
  ArrayData[j] := B[j];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[4, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[4, 5];
Range := Workbook.WorkSheets[3].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, l, 1, 1], varVariant);
For k:=1 To l Do
  ArrayData[k,1] := C[k];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[17, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[17, 4];
Range := Workbook.WorkSheets[3].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ExcelApp.Run('macros3');
ExcelApp.Run('macros3');

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[8, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[9, 5];
Range := Workbook.WorkSheets[3].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To m Do
For j:=1 To n Do
  SGA_B_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, l], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[20, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[3].Cells[21, 4];
Range := Workbook.WorkSheets[3].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To m Do
For j:=1 To l Do
  Begin
    SGA_C_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];
    A_C[i,j] := ArrayData[i,j];
  End;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, l, 1, n], varVariant);

```



```

Cell1 := WorkBook.WorkSheets[3].Cells[8, 9];
Cell2 := WorkBook.WorkSheets[3].Cells[10,12];
Range := WorkBook.WorkSheets[3].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To l Do
For j:=1 To n Do
Begin
SGC_B_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];
C_B[i,j] := ArrayData[i,j];
End;

Label7.Caption := Label7.Caption + ' = ' + IntToStr(WorkBook.WorkSheets[3].Range['G14']);
Label8.Caption := Label8.Caption + ' = ' + IntToStr(WorkBook.WorkSheets[3].Range['A11']);
Label9.Caption := Label9.Caption + ' = ' + IntToStr(WorkBook.WorkSheets[3].Range['A23']);
Label10.Caption := Label10.Caption + ' = ' + IntToStr(WorkBook.WorkSheets[3].Range['H12']);

Label7.Visible := true;
Label8.Visible := true;
Label9.Visible := true;
Label10.Visible := true;
Image1.Visible := true;
Image2.Visible := true;
Image3.Visible := true;
End
Else
If (sum_A > (sum_B + sum_C)) And (sum_A <= (2*sum_B + sum_C)) Then
Begin
// Трьохетапна ТЗ (проста)
Workbook.Worksheets[4].Activate;
ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
For i:=1 To m Do
For j:=1 To n Do
ArrayData[i,j] := A_B[i,j];
Cell1 := WorkBook.WorkSheets[4].Cells[2, 2];
Cell2 := WorkBook.WorkSheets[4].Cells[3, 5];
Range := WorkBook.WorkSheets[4].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, l], varVariant);
For i:=1 To m Do
For k:=1 To l Do
ArrayData[i,k] := A_C[i,k];
Cell1 := WorkBook.WorkSheets[4].Cells[15, 2];
Cell2 := WorkBook.WorkSheets[4].Cells[16, 4];
Range := WorkBook.WorkSheets[4].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

ArrayData := VarArrayCreate([1, l, 1, n], varVariant);
For k:=1 To l Do
For j:=1 To n Do
ArrayData[k,j] := C_B[k,j];
Cell1 := WorkBook.WorkSheets[4].Cells[2, 9];
Cell2 := WorkBook.WorkSheets[4].Cells[4,12];
Range := WorkBook.WorkSheets[4].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
For i:=1 To m Do

```

```

For j:=1 To n Do
    ArrayData[i,j] := A_B[i,j];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[2, 16];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[3, 19];
Range := Workbook.WorkSheets[4].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, 1], varVariant);
For i:=1 To m Do
    ArrayData[i,1] := A[i];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[2, 6];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[3, 6];
Range := Workbook.WorkSheets[4].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, n], varVariant);
For j:=1 To n Do
    ArrayData[j] := B[j];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[4, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[4, 5];
Range := Workbook.WorkSheets[4].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, l], varVariant);
For k:=1 To l Do
    ArrayData[k] := C[k];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[17, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[17, 4];
Range := Workbook.WorkSheets[4].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

```

```

ExcelApp.Run('macros4');
ExcelApp.Run('macros4');

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[8, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[9, 5];
Range := Workbook.WorkSheets[4].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To m Do
    For j:=1 To n Do
        SGA_B_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, l], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[20, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[21, 4];
Range := Workbook.WorkSheets[4].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To m Do
    For j:=1 To l Do
        SGA_C_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

```

```

ArrayData := VarArrayCreate([1, l, 1, n], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[8, 9];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[10,12];
Range := Workbook.WorkSheets[4].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To l Do

```

```

For j:=1 To n Do
    SGC_B_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[8, 16];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[4].Cells[9, 19];
Range := Workbook.WorkSheets[4].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData :=Range.Value;
For i:=1 To m Do
For j:=1 To n Do
    SGA_B_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

Label7.Caption := Label7.Caption + ' = ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[4].Range['G14']);
Label8.Caption := Label8.Caption + ' = ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[4].Range['A11']);
Label9.Caption := Label9.Caption + ' = ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[4].Range['A23']);
Label10.Caption := Label10.Caption + ' = ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[4].Range['H12']);
Label12.Caption := Label12.Caption + ' = ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[4].Range['O11']);

Label7.Visible := true;
Label8.Visible := true;
Label9.Visible := true;
Label10.Visible := true;
Label12.Visible := true;
SGA_B_.Visible := true;
Image1.Visible := true;
Image2.Visible := true;
Image3.Visible := true;
Image4.Visible := true;
End
Else
Begin
    // Трѐхетапна Т3 (складна)
    Workbook.Worksheets[5].Activate;
    ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
    For i:=1 To m Do
    For j:=1 To n Do
        ArrayData[i,j] := A_B[i,j];
    Cell1 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[2, 2];
    Cell2 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[3, 5];
    Range := Workbook.WorkSheets[5].Range[Cell1, Cell2];
    Range.Value := ArrayData;

    ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, l], varVariant);
    For i:=1 To m Do
    For k:=1 To l Do
        ArrayData[i,k] := A_C[i,k];
    Cell1 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[15, 2];
    Cell2 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[16, 4];
    Range := Workbook.WorkSheets[5].Range[Cell1, Cell2];
    Range.Value := ArrayData;

    ArrayData := VarArrayCreate([1, l, 1, n], varVariant);
    For k:=1 To l Do
    For j:=1 To n Do
        ArrayData[k,j] := C_B[k,j];
    Cell1 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[2, 9];
    Cell2 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[4,12];
    Range := Workbook.WorkSheets[5].Range[Cell1, Cell2];

```

```

Range.Value := ArrayData;

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
For i:=1 To m Do
For j:=1 To n Do
  ArrayData[i,j] := A_B[i,j];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[2, 16];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[3, 19];
Range := Workbook.WorkSheets[5].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, 1], varVariant);
For i:=1 To m Do
  ArrayData[i,1] := A[i];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[2, 6];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[3, 6];
Range := Workbook.WorkSheets[5].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

ArrayData := VarArrayCreate([1, n], varVariant);
For j:=1 To n Do
  ArrayData[j] := B[j];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[4, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[4, 5];
Range := Workbook.WorkSheets[5].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

ArrayData := VarArrayCreate([1, l], varVariant);
For k:=1 To l Do
  ArrayData[k] := C[k];
Cell1 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[17, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[17, 4];
Range := Workbook.WorkSheets[5].Range[Cell1, Cell2];
Range.Value := ArrayData;

ExcelApp.Run('macros5');
ExcelApp.Run('macros5');

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[8, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[9, 5];
Range := Workbook.WorkSheets[5].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To m Do
For j:=1 To n Do
  SGA_B_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, l], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[20, 2];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[21, 4];
Range := Workbook.WorkSheets[5].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To m Do
For j:=1 To l Do
  SGA_C_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

ArrayData := VarArrayCreate([1, l, 1, n], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[8, 9];

```

```

Cell2 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[10,12];
Range := Workbook.WorkSheets[5].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData := Range.Value;
For i:=1 To l Do
For j:=1 To n Do
    SGC_B_.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

ArrayData := VarArrayCreate([1, m, 1, n], varVariant);
Cell1 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[8, 16];
Cell2 := Workbook.WorkSheets[5].Cells[9, 19];
Range := Workbook.WorkSheets[5].Range[Cell1, Cell2];
ArrayData :=Range.Value;
For i:=1 To m Do
For j:=1 To n Do
    SGA_B__.Cells[j,i] := ArrayData[i,j];

Label7.Caption := Label7.Caption + ' ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[5].Range['G14']);
Label8.Caption := Label8.Caption + ' ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[5].Range['A11']);
Label9.Caption := Label9.Caption + ' ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[5].Range['A23']);
Label10.Caption := Label10.Caption + ' ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[5].Range['H12']);
Label12.Caption := Label12.Caption + ' ' + IntToStr(Workbook.WorkSheets[5].Range['O11']);
Edit1.Text := IntToStr(Workbook.WorkSheets[5].Range['V2']);
Edit2.Text := IntToStr(Workbook.WorkSheets[5].Range['V3']);
Label13.Caption := '    Після виконання трьох етапів перевезення вантажу у його';
Label14.Caption := 'постачальників залишилися вантаж. Його обсяги представлені';
Label15.Caption := 'у відповідних вікнах червоним кольором. Для успішного';
Label16.Caption := 'завершення розв'язання поставленої багатоетапної транспортної';
Label17.Caption := 'задачі необхідно знову запустити на виконання програму з';
Label18.Caption := 'новими обсягами поставок вантажу.';

Label7.Visible := true;
Label8.Visible := true;
Label9.Visible := true;
Label10.Visible := true;
Label12.Visible := true;
Label13.Visible := true;
Label14.Visible := true;
Label15.Visible := true;
Label16.Visible := true;
Label17.Visible := true;
Label18.Visible := true;
Edit1.Visible := true;
Edit2.Visible := true;
SGA_B__.Visible := true;
Image1.Visible := true;
Image2.Visible := true;
Image3.Visible := true;
Image4.Visible := true;
End;
ExcelApp.Visible := false;
END
ELSE
    ShowMessage("Задана не та розмірність !!!");
Button4.Visible := false;
Button5.Visible := true;
ExcelApp.DisplayAlerts := false;
ExcelApp.Workbooks.close;
ExcelApp.Application.Quit;
// - отмена запроса о сохранении
// - Закрытие рабочей книги
// - Закрытие Excel файла

```

```

ExcelApp := Unassigned;                                // - Освобождаем интерфейсы
end;

procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
begin
  close;
end;

procedure TForm1.N1Click(Sender: TObject);
begin
  ShowMessage('Перший випадок: Sum_A <= Sum_B, тобто сума пропозиції не перевищує суми попиту. У цьому випадку розв"язуємо просту одноетапну ТЗ.' + #13 + #13 +
    'Другий випадок: Sum_A <= Sum_B + Sum_C, тобто сума пропозиції не перевищує суми попиту і загальної ємності проміжних складів. У цьому випадку розв"язуємо двоетапну ТЗ.' + #13 + #13 +
    'Третій випадок: Sum_A > Sum_B + Sum_C і Sum_A <= 2*Sum_B + Sum_C, тобто сума пропозиції більше суми попиту і загальної ємності проміжних складів і в той же час не перевищує подвоєну суму пропозиції і загальн ємність проміжних складів.' + #13 +
    'У цьому випадку розв"язуємо трьохетапну (просту) ТЗ.' + #13 + #13 +
    'Четвертий випадок: Sum_A > 2*Sum_B + Sum_C, тобто сума пропозиції перевищує подвоєну суму пропозиції і загальну ємність проміжних складів.' + #13 +
    'У цьому випадку розв"язуємо трьохетапну (складну) ТЗ.');
```

end;

```

procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
var filename: string;
    XL: variant;
begin
  XL := CreateOleObject('Excel.Application');           //Функция возвращает ссылку на объект,
  представляющий собой переменную типа variant.        //Результатом выполнения данной процедуры будет запуск
                                                         приложения Excel на выполнение.
  filename:=ExtractFilePath(Application.ExeName)+'\BTZ_PGS.xlsm'; //ExtractFilePath - Извлекает из полного
  имени файла исполняемый файл.
  XL.Workbooks.Open(filename);
  XL.visible:=true;
  //XL.visible:=false;
  XL.Run('macros1');                                     //Непосредственное выполнение макроса
  //edit2.Text:=floattostr(XL.Range['N6']);
  //edit2.Text:=FloatToStr(Roundto(strtfloat(edit2.Text),-4)); //импорт из Excel с округлением до 4 знаков
  после запятой
  //следующие 4 строки - убиение процесса Excel.exe

  XL.DisplayAlerts := True;                             // - отмена запроса о сохранении
  XL.Workbooks.close;                                   // - Закрытие рабочей книги
  XL.Application.Quit;                                  // - Закрытие Excel файла
  XL := Unassigned;                                     // - освобождаем интерфейсы
end;

end.
```

Додаток Е

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

Монографії:

1. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Майданик, К.О., Пилипенко Ю.В. Ефективність застосування системи тягових плечей при перевезеннях вантажів у міжнародному сполученні. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Monografia nr 10.* [monographia] pod redakcja naukowa K. Lejdy Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. 2017. S. 79–86. ISBN 978-83-7934-161-0

2. Ремех І.О. Підвищення ефективності виконання міжнародних перевезень вантажів в інтегрованих транспортних системах. *Сучасні процеси трансформації у бізнесі та виробництві: теорія, методологія, практика (зовнішньоекономічна діяльність, промислове виробництво та транспорт):* Колективна монографія з міжнародною участю / за ред. Л.М. Савчук, Л.М. Бандоріної. Дніпро. Пороги. 2019. С. 464–471. ISBN 978-617-518-412-7

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

3. Remekh I., Prokudin G., Chupaylenko A., Khobotnia T., Lyamzin A., Kovalenko M. Optimizing Unbalanced Freight Deliveries in Transportation Networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2/3 (116). 2022. P. 22-32. (ISSN 1729-3774, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253791>, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/253791/252941>). Індeksuється у Scopus.

Статті у наукових фахових виданнях:

4. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Дудник О.С., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В. Особливості моделювання вантажних перевезень на транспортній мережі. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Част. 1. Технічні науки.* 2016. Вип. 18.. Київ. НТУ. С. 101–114.

http://publications.ntu.edu.ua/upravl_proget/2016_18_tech/101.pdf

5. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В. Ефективність застосування системи тягових плечей в міжміських

перевезеннях. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Вип. № 1 (37). 2017. Київ. НТУ. С. 346–357.

<http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/37/346.pdf>

6. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В. Аналіз і шляхи реформування транспортної галузі України. *Транспортні системи і технології*. 2017. Київ. ДЕТУТ. С. 244–254.

<https://tst.duit.in.ua/index.php/tst/article/view/58>

7. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Редіч Ю.А., Майданик К.О. Оптимізація роботи вантажного митного комплексу за допомогою застосування багатоетапної транспортної задачі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія Технічні науки*. 2018. Т. 29 (68) № 4. Частина 2. Київ. ТНУ. С. 142–146.

http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/4_2018/part_2/28.pdf

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

http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/5_2020/37.pdf

9. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г. Організація незбалансованих вантажних перевезень із використанням вантажних митних комплексів. *Розвиток транспорту*. Випуск 1(6). Одеса. НМУ. 2020. С. 116-126.

DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.010>

10. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Теоретичні основи організації вантажних перевезень на транспортних мережах. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Вип. № 3 (53). 2022. Київ. НТУ. С. 312–321.

<http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/53/UKR.htm>.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

11. Ремех І.О. Математичне моделювання пункту пропуску як СМО із пріоритетами. *Тези доповідей LXX науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених*

структурних підрозділів університету. (Київ, 14-16 травня 2014). Київ. НТУ. 2014. С. 231. <https://drive.google.com/file/d/1agTqOd6w1gPCNnxhKLnviD7Gyx4d5oT6/view>

12. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Пилипенко Ю.В., Майданик К.О., Прокудін О.Г., Омаров Д.М. Приклад побудови імітаційних моделей у транспортних системах. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Част. 1. Технічні науки*. 2016. Вип. 17. Київ. НТУ. С. 67–79.

ISSN 2309-8635

13. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Майданик К.О., Пилипенко Ю.В., Омаров Д.М. Визначення ефективності застосування системи тягових плечей у міжміських перевезеннях вантажу. *Тези доповідей VII Міжнародної науково–практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»*. (м. Чернігів, 24-27 квітня 2017 року). 2017. т. 2. Чернігів. ЧНТУ. С. 196–198.

ISBN 978-966-2188-78-3

14. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Підвищення ефективності міжміських перевезень вантажів за допомогою застосування системи тягових плеч. *Тези доповідей LXXIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 16-18 травня 2017). 2017. Київ. НТУ. С. 254.

<https://drive.google.com/file/d/1GyK8BsnakngvorAADyWv3l4kEA22yhEs/view>

15. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Пилипенко Ю.В., Майданик К.О. Удосконалення методів визначення оптимальних характеристик транспортних мереж. *Звіт про НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні”. Проміжний етап: “Аналіз характеристик інтегрованих транспортних систем в міжнародному сполученні”*. ДР 0112U008415. Київ. НТУ. 2017. С. 9–22.

16. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Нові підходи до організації міжнародних вантажних транспортних потоків. *Тези доповідей LXXIV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 16-18 травня 2018). Київ, 2018. С. 270–271.

https://drive.google.com/file/d/1_uA1WGugEVOGtLukG_ZMX71VgXPIq98l/view

17. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Редіч Ю.А., Майданик К.О. Оптимізація схем доставки вантажу у міжнародному сполученні. *Тези доповідей VIII Міжнародної науково–практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»*. (м. Чернігів, 10-12 травня 2018 року). 2018. т. 2. Чернігів. ЧНТУ. С. 239–241. ISBN 978-617-7571-19-2

18. Ремех І.О. Оптимізація роботи вантажного митного комплексу за допомогою застосування багатоетапної транспортної задачі. *Звіт про НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні”. Проміжний етап: “Напрями підвищення конкурентоздатності інтегрованих транспортних систем при виконанні міжнародних перевезень”*. № ДР 0112U008415. Київ. НТУ. 2018. С. 143–150.

19. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Оптимізація роботи вантажних митних комплексів за допомогою застосування багатоетапної транспортної задачі. *Тези доповідей LXXV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 14-16 травня 2019). Київ. НТУ. 2019. С. 274–275. <https://drive.google.com/file/d/16Vrd9t8qiaZrTaTmPzz5lqtihzjtrjsf/view>

20. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Редіч Ю.А., Майданик К.О. Застосування багатоетапної транспортної задачі в оптимізації роботи вантажного митного комплексу. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: Збірник наукових праць за матеріалами IX Міжнародної науково-практичної конференції*. (Одеса, 22-24 травня 2019). Одеса. 2019. С. 235–238.

ISBN 978-617-7414-66-6

21. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Майданик К.О. Перетворення мережевих моделей процесу вантажних перевезень у матричні моделі. *Всеукраїнська науково-практична конференція «Транспортні технології та безпека дорожнього руху»*. (Запоріжжя, 14-15 квітня). Запоріжжя. НУ «Запорізька політехніка». 2020. С. 49–51.

ISBN 978-617-529-271-6

22. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Підвищення ефективності функціонування вантажних митних комплексів за допомогою застосування сучасних засобів

інформаційних технологій. *Звіт про НДР “Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні”.* Проміжний етап: “Напрями підвищення конкурентоздатності інтегрованих транспортних систем при виконанні міжнародних перевезень”. № ДР 0112U008415. Київ. НТУ. 2019. С. 9–15.

23. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудіна І.І., Майданик К.О. Підхід до організації масових перевезень вантажу на транспортних мережах. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2020). Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції.* (Херсон, 27-29 травня). Херсон. ХДМА. 2020. С. 14–17. https://drive.google.com/file/d/18erBFTL6_KR9Utwdh2C5nUTZK7FyrEJu/view?usp=sharing

24. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Підвищення ефективності функціонування вантажних митних комплексів за допомогою застосування сучасних засобів інформаційних технологій. *Тези доповідей LXXVI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету.* (Київ, 13-15 травня 2019). Київ. НТУ. 2020. С. 245–246. <https://drive.google.com/file/d/1Hlm8obLCicsOsLCs-eL7N7VIKdi7PWIV/view>

25. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г. Розв’язання незбалансованих вантажних перевезень із використанням транспортних технологій. *Міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні технології управління транспортними процесами».* (Харків, 17-18 листопада 2020). Харків. ХНАДУ. С. 138-140. https://fts.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-RANSPORT/ЗБІРНИК_МАТЕРІАЛІВ.pdf.

26. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Хоботня Т.Г. Логістичний підхід к організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах. *Звіт про НДР “Підвищення ефективності організації і управління перевезеннями у міжнародному сполученні”.* Проміжний етап. № ДР 0120U105547. Київ. НТУ. 2021. С. 9–16. https://docs.google.com/document/d/1eAhzXN93t38cWEH3F9w14RKUvvyIT3U/edit?usp=share_link&ouid=106301261791475356006&rtpof=true&sd=true

27. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Логістичний підхід к організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах. *Тези доповідей LXXVII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 18-20 травня 2021). Київ. НТУ. 2021. С. 227. https://drive.google.com/file/d/1ueDfCumBO1oTk1-nKHgyDCsnBy_sab5/view?usp=sharing

28. Ремех І.О., Прокудін Г.С. Застосування інформаційних технологій у вирішенні задач незбалансованих вантажних перевезень. *Тези доповідей LXXVIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 2-3 листопада 2022). Київ. НТУ. 2022. С. 212. <https://drive.google.com/file/d/1yhVlySer3EHbJt98UoRZEW94NhxOzk7/view>

29. Ремех І.О., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г. Організація вантажних перевезень в інтелектуальних транспортних системах. *Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні Транспортні Системи: Екологія, Безпека, Якість, Комфорт»*. (Київ, 29-30 листопада 2022). Київ. НТУ. С. 97-101. ISBN: 978-966-632-318-0 (Online) DOI: 10.33744/978-966-632-318-0-2022-3.

Авторські свідоцтва:

30. Свідоцтво № 112183 Літературний письмовий твір наукового характеру «Використання інформаційних технологій для розв'язання незбалансованих вантажних перевезень на транспортної мережі». Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудіна І.І., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності». Дата реєстрації 01.03. 2022. 9 с.

31. Свідоцтво № 112181 Комп'ютерна програма «Розв'язання незбалансованих вантажних перевезень на транспортної мережі». Ремех І.О., Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудіна І.І., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності». Дата реєстрації 01.03. 2022. 21 с.