

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-16>

УДК 330.4:656

Ямковий Марк Вадимович, аспірант

<https://orcid.org/0009-0002-5711-4239>

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛАНЦЮГА ПОСТАВОК ДЛЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У РАМКАХ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Ямковий М.В. Математичне моделювання ланцюга поставок для вантажних перевезень у рамках логістичної системи. У статті здійснено математичне моделювання ланцюга поставок для вантажних перевезень у рамках логістичної системи. Підкреслено, що математичне моделювання вантажних потоків у реальному часі потребує великої кількості обчислювальних ресурсів, удосконалення математичних моделей та чисельних методів. Запропоновано метод моделювання проблеми оперативного формування ланцюга поставок для вантажних перевезень у рамках логістичної системи з урахуванням можливості транзиту, проведено огляд обмежень оперативної проблеми вантажоперевезень з можливістю транзиту від клієнта а до клієнта б, що дозволило звести багатопродуктову розподільчу задачу до однопродуктового завдання побудови потоку мінімальної вартості. Запропоновано метод моделювання проблеми оперативного розподілу товарів по логістичним центрам, включаючи систему підтримки прийняття рішення у разі несумісності обмежень проблеми, що виникає. Наголошено, на необхідності апроксимації оперативної проблеми розподілу вантажних перевезень з можливістю транзиту і проблеми розподілу замовлень по логістичним центрам. Зазначається, що обов'язковою є організація системи підтримки прийняття рішення для проблеми оперативного розподілу товарів по логістичним центрам у разі несумісності її обмежень. Розглянуто типову задачу, коли деякий логістичний центр здійснює доставку вантажів клієнтам через проміжні центри, причому кожен із проміжних центрів обслуговує свою групу клієнтів. Наведено формальну постановку задачі та відзначено особливості побудованої задачі, які дозволили побудувати ефективну математичну модель її вирішення у рамках загальної логістичної системи, що сприяло мінімізації часу доставки та підвищення рівня продуктивності постачального підприємства. Особливостями цієї задачі є інтервальний характер обмежень і явно виражена наявність модулів, кожен з яких відповідає за певний блок виконання загальної задачі. Метою подальшого дослідження є побудова ефективного алгоритму розв'язання задачі на основі наведеної математичної моделі та її оптимізаційного аналізу.

Ключові слова: транспортна логістика, система, маршрут, витрати, прибуток, вантаж, перевезення, математична модель.

Yamkovi M. Mathematical modeling of the supply chain for freight transportation within the logistics system. In the article, mathematical modeling of the supply chain for freight transportation within the logistics system is carried out. It is emphasized that mathematical modeling of freight flows in real time requires a large amount of computing resources, improvement of mathematical models and numerical methods. A method of modeling the problem of operational formation of the supply chain for freight transportation within the logistics system taking into account the possibility of transit was proposed, a review of the limitations of the operational problem of freight transportation with the possibility of transit from client a to client b was carried out, which made it possible to reduce the multi-product distribution problem to a single-product task of constructing a minimum cost flow. A method of modeling the problem of operational distribution of goods by logistics centers is proposed, including a decision support system in case of incompatibility of the constraints of the problem that arises. It is emphasized the need to approximate the operational problem of distribution of cargo transportation with the possibility of transit and the problem of distribution of orders by logistics centers. It is noted that it is mandatory to organize a decision support system for the problem of operational distribution of goods across logistics centers in case of incompatibility of its limitations. A typical problem is considered, when a logistics center delivers goods to customers through intermediate centers, and each of the intermediate centers serves its group of customers. The formal statement of the problem is given and the features of the constructed problem are noted, which allowed to build an effective mathematical model of its solution within the framework of the general logistics system, which contributed to minimizing the delivery time and increasing the productivity of the supply company. The features of this task are the interval nature of the restrictions and the clearly expressed presence of modules, each of which is responsible for a specific block of the overall task. The purpose of further research is to build an effective algorithm for solving the problem based on the given mathematical model and its optimization analysis.

Key words: transport logistics, system, route, costs, profit, cargo, transportation, mathematical model.

Вступ та постановка проблеми. Ланцюги поставок, це динамічна і складна система, що включає поведінку кількох учасників. Завдяки реалізації взаємодії між агентами, моделювання реалізується за допомогою інформаційних та матеріальних потоків. Моделювання ланцюга поставок широко застосовується у сфері управління логістичними операціями. Організація ланцюга поставок є корисним інструментом для спостереження продуктивності загальної логістичної системи. Багато моделей використовують моделювання для прогнозування та дизайну відповідного ланцюга поставок для кожного конкретного підприємства. Крім того, моделювання ланцюга поставок використовується для вивчення економічних явищ в динаміці дії логістичної системи на підприємстві.

В умовах сьогодення, принципи моделювання ланцюга поставок в основному зосереджені на покращенні продуктивності, зниженні термінів, підвищенні складності та ефективності управління запасами. Тим не менш, враховуючи перспективні показники результату моделювання ланцюга поставок, є можливість стверджувати, що моделювання може бути впроваджено у сферу планування вантажних перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підхід наукової спільноти до розгляду питань інноваційного розвитку логістичної системи як окремої складової на сучасному підприємстві формувався на протязі багатьох років.

Викладена у [1] економіко-математична модель планів виробництва та доставки продукції промислового підприємства кінцевим споживачам з урахуванням інноваційної та маркетингової активності виробничих підприємств – ланок ланцюга поставок є доволі ефективною. Враховуючи, що за рахунок узгодження виробничих планів промислових підприємств, планів перевезень для транспортних підприємств, а також маркетингових та інноваційних планів є можливість удосконалити взаємодію підприємств у рамках ланцюга поставок.

Н.Г. Бережна [2] підійшла до вирішення науково-прикладної задачі щодо підвищення ефективності та надійності функціонування транспортно-логістичного комплексу (ТЛК) за рахунок проведення моделювання динаміки процесів транспортного обслуговування виробництва, що дозволило узгодити роботу автомобілів та пункту розвантаження і тим самим, забезпечити надійність функціонування логістичної системи на задовільному рівні з найменшими питомими витратами.

Аналізуючи роботу Я. Рахімі [3] варто наголосити на моделі повного логістичного ланцюга постачання у формі вкладеної мережі Петрі, яку представив автор. Зазначено модель, на відміну від відомих, надає змогу відобразити ієрархічність ланцюга, а саме верхній його рівень (фокусну компанію по переробці вихідної сировини) та нижчі рівні, що відображають діяльність постачальників сировини та реалізаторів готової продукції.

У монографії [4] наведено напрямки розвитку теорії логістики та їх практична реалізація на транспорті і у виробництві, зазначено методологію логістичних досліджень систем і процесів, сформульовані методи розв'язання основних проблем і завдань транспортних і виробничих систем. На увагу заслуговують методи кібернетико-логістичного підходу, методи створення і функціонування різних типів логістичних систем, методи оцінки ефективності і прогнозування структур та процесів в них.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Turbaningsih Oktaviani [5], Danchuk Viktor, Comi Antonio, Weiß Christian, Svatko Vitalii [6], Srambikal Abdulla, Matriano Maria Teresa [7], Moon Kyungduk, Lee Myung Ho, Lee Kangbok [8], Zhang Ling, Cao Feng, Wu Yihan [9], Papaioannou Eleni, Iliopoulou Christina, Kepaptsoglou Konstantinos [10], Liang Zijing [11], Wu Pei-Ju, Chen Mu-Chen, Tsau Chih-Kai [12], Wu Jixiao, Wang Yinghui, Li Wenlu, Wu Haixia [13], Orozonova Azyk, Gapurbaeva Shakhnos, Kydykov Azizbek, Prokopenko Olha, Prause Gunnar, Lytvynenko Sergiy [14] та інші.

Однак, незважаючи на масштабність наукових досліджень за окресленою тематикою, питання розробки дієвої математичної моделі ланцюга поставок для вантажних перевезень у рамках логістичної системи залишається відкритим та потребує детального опрацювання відносно новітніх стандартів технічного регулювання.

Постановка завдання. Запропонувати математичну модель ланцюга поставок для вантажних перевезень у рамках логістичної системи.

Викладення основного матеріалу дослідження. Вантажні агенти взаємодіють один з одним через ланцюг поставок, включаючи інформаційні та матеріальні потоки. Запропонована модель імітує діяльність агентів на всьому ланцюгу поставок враховуючи участь у придбанні продукції, виробництві та розподілу. Дії агентів, у тому числі роздрібною торгівлі, оптовиків, виробників, постачальників та перевізників, ґрунтуються на концепції мінімізації загальних витрат та підвищенні рівня продуктивності виробництва.

Агент прогнозує попит та розглядає відповідні політики управління запасами, виробництво та розподіл продукції. Політики будуть періодично переглядатися відповідно до прогнозування попиту, щоб сформувати дійсний фактичний попит. З попиту кінцевих споживачів, моделюємо кожен день кількість продуктів, які продаються під час роздрібною торгівлі. На підставі фактичного продажу, агент формує рівень запасів наприкінці кожного дня. Потік інформації фіксується, коли

виявлено факт, що рівень запасів досягнув максимальної позиції. Потім агент розміщує замовлення на верхньому рівні ланцюга поставок (відправник вантажу). Після того як відправник вантажу отримав замовлення, потік товару буде запущений; товари завантажуються на вантажівки та передаються замовникам. Під час розподілу продукції, поставки будуть розглядатися відповідно до транспортної політики агента відправника. Потім транспортний агент формує маршрут доставки з мінімізацією часу.

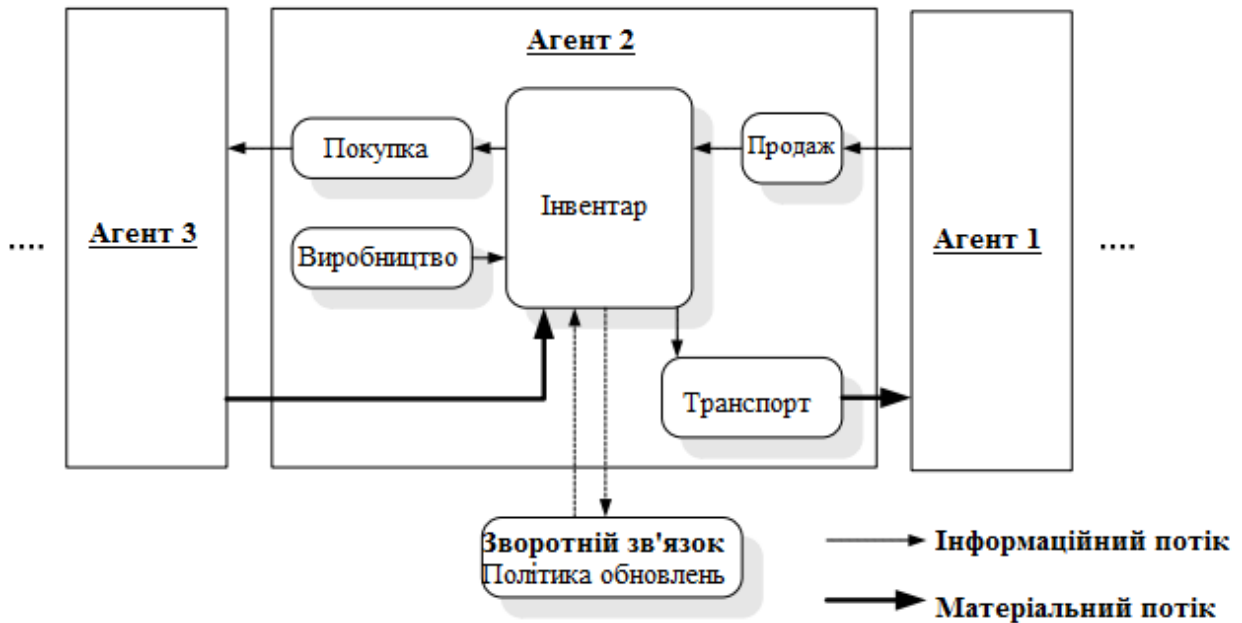


Рис.1 – Структура моделі ланцюга поставок для вантажних перевезень у рамках логістичної системи

Запропонована структура моделі показана на рисунку 1. Агенти сортуються за рівнем відповідно до положення у структурі ланцюга поставок. Наприклад, агент може бути 1 роздрібним; агенти 2 та 3 можуть бути виробником та постачальником відповідно. Для кожного агента, процес прийняття рішення складається з шести модулів для роботи з кожним із напрямків логістичної системи:

- модуль продажів;
- модуль виробництво;
- модуль рішення про купівлю;
- модуль інвентаризації;
- модуль транспортування;
- модуль зворотного зв'язку.

Модуль продажів

Математична модель ґрунтується на наступному: попит на товари кінцевих покупців на підприємстві роздрібної торгівлі слідує закону нормального розподілу. Кількість продажів (d_i^t) кожного продавця i та час t , який, як передбачається слідує нормальному розподілу із середнім значенням продажів \bar{d}_i і стандартного відхилення ε_i моделюється за допомогою концепції Монте-Карло:

$$d_i^t = N(\bar{d}_i, \varepsilon_i) \quad (1)$$

- d_i^t – модуль продажу;
- i – окремий продавець;
- t – час;
- \bar{d}_i – середній розподіл продажів;
- ε_i – стандартне відхилення.

Для інших агентів, попит залежить від замовлень, отриманих від агентів на нижньому рівні ланцюжка постачання.

Модуль виробництво

Кожна фірма приймає рішення щодо регулювання виробництва, формуючи резерв товару, який буде вироблятися протягом місяця. Середньомісячна сума товарів, вироблених кожною фірмою, оцінюється з використанням методів регресії та залежить від характеристик фірм, площі, робітників, тощо:

$$G_i = f(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}) \quad (2)$$

де,

G_i – місячний обсяг виробництва товарів фірми i ;

x_{ki} – характеристики / показники фірми i , такі як кількість співробітників, площа, та інші пов'язані атрибути виробництва.

Модуль рішення про покупку

Фірма може придбати товар із багатьох джерел. Модуль прийняття рішення про купівлю визначає частку товарів, які бути придбані з кожного джерела надходжень. Купівельна фракція будується з трьох частин: розподіл вибору каналу, вибір місця розташування та вибір відправника вантажу:

$$P(i) = P(C) \cdot P(\gamma|C) \cdot P(i|C, \gamma), i \in C, \gamma \quad (3)$$

Щоб вибрати тип промисловості, припустимо, що рішення фірми ґрунтується на привабливості кожного типу промисловості. Мультиномінальна модель використовується формування поведінки головних змінних, якими в даному дослідженні виступають обсяг виробництва та кількість фірм цього типу промисловості / виробництва.

$$P(c) = \frac{\exp(V_c)}{\sum_{c' \in \tilde{C}} \exp(V_{c'})} \quad (4)$$

$$V_c = f(x_{1c}, x_{2c}, \dots, x_{kc}) \quad (5)$$

де,

$P(c)$ – частка товару придбана на підприємстві типу C ;

V_c – функція корисності / привабливості типу промисловості.

x_{kc} – атрибути, що становлять привабливість підприємства типу C , такі як загальна сума прибутку від загального обсягу виробництва та числа фірм.

Вибір розташування $P(\gamma|C)$ тобто місце розташування відправників вантажу, які будуть обрані, на основі привабливості зон. Вибір розташування визначається також за допомогою мультиномінальної логістичної моделі. Зональні змінні привабливості (такі як кількість фірм у зоні та рівень загального товарного виробництва в зоні) та зональні змінні опору (наприклад, відстань між зоною замовника та відправника) застосовуються для знаходження рівня привабливості зон:

$$P(\gamma|C) = \frac{\exp(V_\gamma)}{\sum_{\gamma' \in Z} \exp(V_{\gamma'})} \quad (6)$$

$$V_\gamma = f(x_{1\gamma}, x_{2\gamma}, \dots, x_{k\gamma}) \quad (7)$$

де,

$P(\gamma|C)$ – частка товару типу C знаходиться в зоні γ .

V_γ – функція корисності зони γ .

$x_{k\gamma}$ – атрибути, що становлять привабливість зони γ , такі як число фірм в зоні, загальне виробництво товару у зоні, відстань між клієнтами та вантажовідправником.

Вибір вантажовласника $P(i|C, \gamma)$

Аналогічним чином, відправник вантажу використовується для ідентифікації вантажовласника. Процес вибору рішення реалізується з використанням мультиномінальної логістичної моделі в залежності від привабливості відправника вантажу, тобто якості виробництва фірми:

$$P(i|C, \gamma) = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{i' \in I} \exp(V_{i'})} \quad (8)$$

$$V_i = f(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}) \quad (9)$$

де,

$P(i|C, \gamma)$ – частка придбаного товару промислового типу C , що знаходить у зоні γ ;

V_i – функція корисності відправника вантажу i .

x_{ki} – атрибути привабливості відправника вантажу, залежать від загального обсягу виробництва.

Модуль інвентаризації

Модуль інвентаризації є головним модулем у вирішенні питання активації інших модулів. Після того, як рівень запасів актуалізує точку замовлення, виробництво та закупівельні модулі активуються на придбання товарів. Аналогічно, коли замовлення розміщується, транспортний модуль запускається на постачання товарів до клієнтів.

Кожна фірма приймає рішення щодо інвентаризації, за для постійного контролю рівня запасів на складі та виробництві. Завдання кожної фірми звести до мінімуму загальні витрати, у тому числі витрати на зберігання, замовлення та транспортні витрати. У реальній ситуації є кілька стратегій, пов'язаних з управлінням запасами і всі вони повинні бути розглянуті в аналізі. Однак, у рамках даного дослідження, передбачається, що порядок інвентаризації кожної фірми є фіксованою частотою. Оптимальна частота замовлення формулюється як:

$$F_{ij} = \sqrt{\frac{Q_{ij}}{\omega \cdot D_{ij}}} \quad (10)$$

де,

F_{ij} – частота замовлення фірми;

Q_{ij} – щомісячний товар куплений фірмою i у фірми j ;

D_{ij} – відстань між фірмою i та фірмою j ;

ω – параметр інвентаризації.

Модуль транспортування

Щоразу, коли інформаційні потоки надходять від клієнтів до відправників вантажу, активується модуль транспортування, щоб розподілити товари від відправників до клієнтів. Модуль транспортування складається з двох модулів: транспортних засобів та маршруту. Коли відправник вантажу доставляє товари для клієнтів, по-перше, він обирає спосіб доставки власноруч або за допомогою експедитора компанії. Після прийняття рішення товари, завантажуються на вантажівки та доставляються до кожного клієнта відповідно до листа маршрутизації транспортного засобу.

Передбачається, що вантажовласник обирає носій та автомобіль враховуючи принцип мінімізації транспортних витрат. Вибір є структурованим у рамках логістичної моделі вибору носія та вибору транспортного засобу. Вибір рішення залежить від характеристик вантажовідправників та клієнтів (наприклад, типу промисловості та чисельності працівників), атрибутів товарів (наприклад, типу товару, розміру партії та частоти відправок) та інших характеристик, пов'язаних із товарами:

$$P_{ij}(LP) = \frac{\exp(V_p)}{1 + \exp(V_B)} \cdot \frac{\exp(V_L + V'_p \cdot \mu_p)}{1 + \exp(V_L + V'_p \cdot \mu_p)} \quad (11)$$

$$V_p = f(Nc_i, Etp_i, L_{ij}, F_{ij}, TT_{ij}) \quad (12)$$

$$V'_p = \ln[\exp(V_p) + \exp(V_B)] \quad (13)$$

де,

$P_{ij}(LP)$ – ймовірність вибору великої приватної вантажівки;

V_p – функція корисності приватної вантажівки;

V_B – функція корисності бізнес вантажівки;

V_L – функція корисності великої вантажівки;

Nc_i – число клієнтів для відправника вантажу i ;

Etp_i – число працівників відправника вантажу i ;

F_{ij} – частота доставки від відправника вантажу i до клієнта j ;

TT_{ij} – час у дорозі від відправника вантажу i до клієнта j ;

μ_p – параметр масштабування для приватної вантажівки.

Автомобіль здійснює рух до клієнтів у відповідності до маршруту. Маршрут доставки зводить до мінімуму загальний час маршруту, який повинен входити у часові рамки максимальних робочих годин водія вантажівки та обмеженої пропускну здатності. Загальний час у дорозі включає час перебування на місці замовника для паркування, завантаження і розвантаження товару. Математична модель може бути записана у вигляді:

Мінімальна

$$TC_i = \sum_{m=1}^n \sum_{l=1}^n ((TT_{l,m} + ST_m) \cdot x_{l,m})$$

З урахуванням

$$\sum_{m=1}^n x_{l,m} = 1 \quad (15)$$

$$\sum_{l=1}^n x_{l,m} = 1 \quad (16)$$

$$\sum_{m=1}^n \sum_{l=1}^n ((TT_{l,m} + ST_m) x_{l,m}) \leq HR_{max} \quad (17)$$

$$\sum_{m=1}^n \sum_{l=1}^n (L_{l,m} \cdot x_{l,m}) \leq WT_{max} \quad (18)$$

$$x_{l,m} \in \{0,1\}$$

де,

TC_i – загальний час доставки вантажу у відповідності з маршрутом;

$TT_{l,m}$ – час у дорозі між клієнтом l і клієнтом m ;

ST_m – час перебування у клієнта m ;

n – кількість клієнтів;

HR_{max} – максимальний робочий час водія;

WT_{max} – максимальна пропускна здатність.

Модуль зворотного зв'язку

Реалізації всіх перерахованих вище стратегій реалізує зворотній зв'язок для агентів. Щоразу, коли фірма отримує замовлення, вони переглядають прогноз попиту та здійснюють рішення про виробництво, закупівлю, інвентаризацію та політику в галузі транспорту. Фірма прогнозує попит із метою перегляду політики інвентаризації. Варто припустити, що фірма використовує середню ковзну як метод прогнозування попиту. Передбачені зміни попиту, частота замовлення також регулюється, щоб задовольнити попит та як наслідок збільшити прибуток та мінімізувати простой.

Висновки. У роботі представлено огляд запропонованої моделі ланцюга поставок для вантажних перевезень на прикладі застосування моделей міського вантажного руху в умовах єдиної логістичної системи. Запропонована модель є системою динамічного моделювання кількох агентів, що систематично включає взаємодію серед вантажних агентів у рамках процесу прийняття рішень. Модель враховує зворотний зв'язок, в якому агент під впливом поведінки інших агентів у ланцюжку поставок формує власну стратегію. Гнучка структура моделювання дозволяє використовувати представлену модель у широкому різноманітті прикладної області. Каркас моделі може бути адаптовано до різних структур ланцюга поставок, які включають набагато більше число залучених агентів. Модель може бути скоригована, щоб задовольнити вимогу транспортних планувальників на складнішому рівні. Крім того, запропонована модель є динамічною системою з урахуванням динаміки поведінки агента перевезення.

Перспективами подальшого дослідження є розробка математичної моделі комбінованої логістичної системи направленої на максимізацію транспортної мережі.

Список бібліографічного опису

1. Постан М. Я. Моделювання ланцюга поставок з урахуванням інноваційної та маркетингової активності виробничих підприємств / Постан М. Я., Куруджи Ю. В. // Економічний вісник НТУУ «КПІ»: збірник наукових праць. № 20. 2021. С. 89-94.
2. Бережна Н.Г. Підвищення ефективності та надійності функціонування транспортно-логістичного комплексу при перевезенні цукрового буряку – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.01 «Транспортні системи» (275 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)). – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2018. 224 с.
3. Рахімі Я. Нечітка мережева модель та методи інформаційного підтримування повних ланцюгів постачання товарів бакалійної групи. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, 2021. 181 с.
4. Аулін В. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В., Головатий А. О., Голуб Д. В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. 503 с.
5. Turbaningsih Oktaviani. (2022). The study of project cargo logistics operation: a general overview. Journal of Shipping and Trade. 7. 10.1186/s41072-022-00125-6.
6. Danchuk Viktor, Comi Antonio, Weiß Christian, Svatko Vitalii. (2023). The optimization of cargo delivery processes with dynamic route updates in smart logistics. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2. 64-73. 10.15587/1729-4061.2023.277583.
7. Srambikal Abdulla, Matriano Maria Teresa. (2022). An Exploratory Study of the Supply Chain Logistics (SCL) Optimization of SME Cargo Companies. International Journal of Research in Entrepreneurship & Business Studies. 3. 1-10. 10.47259/ijrebs.331.

8. Moon Kyungduk, Lee Myung Ho, Lee Kangbok. (2022). Rescheduling Problem for Heavy Cargo Logistics with Transporters. 10.1007/978-3-031-16407-1_57.
9. Zhang Ling, Cao Feng, Wu Yihan. (2023). Research on the Evolutionary Game Model of Railway Cold Chain Logistics between Cargo Owners and Transport Enterprises. *Mathematical Problems in Engineering*. 2023. 1-12. 10.1155/2023/5606868.
10. Papaioannou Eleni, Iliopoulou Christina, Kepaptsoglou Konstantinos. (2023). Last-Mile Logistics Network Design under E-Cargo Bikes. *Future Transportation*. 3. 403-416. 10.3390/futuretransp3020024.
11. Liang Zijing. (2019). Design of Automatic Matching System for Ocean-going Cargo in International Logistics. *Journal of Coastal Research*. 93. 1105. 10.2112/SI93-160.1.
12. Wu Pei-Ju, Chen Mu-Chen, Tsau Chih-Kai. (2017). The data-driven analytics for investigating cargo loss in logistics systems. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 47. 68-83. 10.1108/IJPDLM-02-2016-0061.
13. Wu Jixiao, Wang Yinghui, Li Wenlu, Wu Haixia. (2021). Research on Green Transport Mode of Chinese Bulk Cargo Based on Fourth-Party Logistics. *Journal of Advanced Transportation*. 2021. 1-16. 10.1155/2021/6142226.
14. Orozonova Azyk, Gapurbaeva Shakhnos, Kydykov Azizbek, Prokopenko Olha, Prause Gunnar, Lytvynenko Sergiy. (2022). Application of smart logistics technologies in the organization of multimodal cargo delivery. *Transportation Research Procedia*. 63. 1192-1198. 10.1016/j.trpro.2022.06.124.

References

1. Modeling of the supply chain taking into account the innovation and marketing activity of manufacturing enterprises / Postan M. Y., Kurudzhy Y. V. // *Economic Bulletin of NTUU "KPI": a collection of scientific papers*. № 20. 2021. С. 89-94.
2. Improving the efficiency and reliability of the transport and logistics complex during the transportation of sugar beet - Qualification scientific work on the rights of a manuscript. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in specialty 05.22.01 "Transport Systems" (275 - Transport Technologies (in road transport)) - Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2018. 224 с.
3. Rahimi Y. Fuzzy network model and methods of information support for complete supply chains of grocery group goods. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.13.06 - Information Technology - Cherkasy State Technological University, Cherkasy, 2021. 181 с.
4. Aulin V. V., Hrynkiv A. V., Lysenko S. V., Holovaty A. O., Holub D. V. Theoretical and methodological foundations of logistics of transport and production systems: monograph edited by Doctor of Technical Sciences, Professor V. V. Aulin - Kropyvnytskyi: Publisher Lysenko V.F., 2021. 503 с.
5. Turbaningsih Oktaviani. (2022). The study of project cargo logistics operation: a general overview. *Journal of Shipping and Trade*. 7. 10.1186/s41072-022-00125-6.
6. Danchuk Viktor, Comi Antonio, Weiß Christian, Svatko Vitalii. (2023). The optimization of cargo delivery processes with dynamic route updates in smart logistics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2. 64-73. 10.15587/1729-4061.2023.277583.
7. Srambikal Abdulla, Matriano Maria Teresa. (2022). An Exploratory Study of the Supply Chain Logistics (SCL) Optimization of SME Cargo Companies. *International Journal of Research in Entrepreneurship & Business Studies*. 3. 1-10. 10.47259/ijrebs.331.
8. Moon Kyungduk, Lee Myung Ho, Lee Kangbok. (2022). Rescheduling Problem for Heavy Cargo Logistics with Transporters. 10.1007/978-3-031-16407-1_57.
9. Zhang Ling, Cao Feng, Wu Yihan. (2023). Research on the Evolutionary Game Model of Railway Cold Chain Logistics between Cargo Owners and Transport Enterprises. *Mathematical Problems in Engineering*. 2023. 1-12. 10.1155/2023/5606868.
10. Papaioannou Eleni, Iliopoulou Christina, Kepaptsoglou Konstantinos. (2023). Last-Mile Logistics Network Design under E-Cargo Bikes. *Future Transportation*. 3. 403-416. 10.3390/futuretransp3020024.
11. Liang Zijing. (2019). Design of Automatic Matching System for Ocean-going Cargo in International Logistics. *Journal of Coastal Research*. 93. 1105. 10.2112/SI93-160.1.
12. Wu Pei-Ju, Chen Mu-Chen, Tsau Chih-Kai. (2017). The data-driven analytics for investigating cargo loss in logistics systems. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 47. 68-83. 10.1108/IJPDLM-02-2016-0061.
13. Wu Jixiao, Wang Yinghui, Li Wenlu, Wu Haixia. (2021). Research on Green Transport Mode of Chinese Bulk Cargo Based on Fourth-Party Logistics. *Journal of Advanced Transportation*. 2021. 1-16. 10.1155/2021/6142226.
14. Orozonova Azyk, Gapurbaeva Shakhnos, Kydykov Azizbek, Prokopenko Olha, Prause Gunnar, Lytvynenko Sergiy. (2022). Application of smart logistics technologies in the organization of multimodal cargo delivery. *Transportation Research Procedia*. 63. 1192-1198. 10.1016/j.trpro.2022.06.124.