

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ОЛІСКЕВИЧ МИРОСЛАВ СТЕФАНОВИЧ



УДК 656.073 : 517.977.5

**НАУКОВІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ
МАГІСТРАЛЬНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ**

Спеціальність 05.22.01 – транспортні системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ-2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Прокудін Георгій Семенович,
Національний транспортний університет,
завідувач кафедри міжнародних перевезень та
митного контролю.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Давідіч Юрій Олександрович,
Харківський національний університету
міського господарства імені О. М. Бекетова
професор кафедри транспортних систем і логістики

доктор технічних наук, професор
Шраменко Наталя Юріївна,
Харківський національний технічний
університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, професор кафедри
транспортних технологій і логістики

доктор технічних наук, професор
Наумов Віталій Сергійович,
Краківська політехніка ім. Т. Костюшка,
(Республіка Польща), професор кафедри
транспортних систем

Захист відбудеться «26» лютого 2021 р. о 10-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, зал засідань (ауд. 333).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. Бойчука, 42.

Автореферат розісланий «14» січня 2021 р.

Учена секретарка спеціалізованої вченої ради



Усиченко О.Ю.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Збільшення товарообігу в Європі супроводжується зростанням обсягу перевезень вантажів. Разом з цим у Європейському транспортному просторі за останні роки виникла і загострилась проблема перевантаження шляхів сполучень, особливо автомобільних міжміських, а також нерівномірність розвитку транспортної інфраструктури. В Україні також намітилась тенденція до зростання обсягів міжміських перевезень вантажів. Загальна чисельність вантажних автомобілів також зростає, щорічний приріст 4-6% зберігається. Однак швидше збільшується чисельність автомобільних транспортних підприємств (АТП), що підвищує рівень конкуренції на ринку транспортних послуг. Українські автомобільні перевізники могли б стати конкурентоздатними і задовольняти попит на перевезення, який зростає. Однак, збільшення загальної кількості одиниць рухомого складу не приводить до пропорційного збільшення їх провізної здатності. Також парк автотранспортних засобів (АТЗ), хоч і оновлюється, все ж залишається із застарілими одиницями, які знижують його конкурентоздатність та надійність використання. Проте головна причина низької продуктивності міжміських вантажних автомобілів та автопоїздів – відсутність їх чіткої взаємодії та координації. АТП дотепер неефективно використовують доступну інформацію. При усіх описаних явищах спостерігаються негативні наслідки, які полягають у затримках доставки вантажів, простої транспорту та в інших непродуктивних витратах часу. У структурі транспортних циклів тривалість їздки АТЗ з вантажем становить лише 23...25%. Найбільші простоя транспорту (до 32,5%) пов'язані з необхідним законодавчим відпочинком водіїв, навантажувально-розвантажувальними роботами й очікуванням їх початку (19,5%), а також приблизно 15% тривалості циклу витрачається на непередбачені простоя у чергах на митницях, до вантажних терміналів, в очікуванні транспортного завдання. Серед основних причин, які приводять до зростання непродуктивних витрат часу АТЗ і затримок в доставці вантажів у міжміському сполученні є не тільки добова та сезонна нерівномірність вантажопотоків, але й відсутність достатнього зв'язку перевізника з вантажовідправником і вантажоотримувачем; відсутність необхідної та достатньої інформації й прогнозів щодо умов перевезень; невиконання оптимальних співвідношень між тривалістю окремих логістичних операцій; інформація необхідна для вироблення рішень є доступною, однак вона нераціонально розподілена на магістральній транспортній мережі (МТМ), не подається вчасно в необхідному місці, тому використовується неефективно в транспортному процесі (ТП). Такі аспекти розкривають зміст наукової проблеми, яка існує і є актуальною на сьогоднішній день: організація та контроль транспортних процесів на МТМ здійснюється на основі неповної інформації. У зв'язку з цим застосовується надлишкове резервування: провізної спроможності парків АТЗ, що проявляється у низьких значеннях коефіцієнтів випуску; тривалості циклів виконання процесу перевезень; часу очікування відправки вантажів у транспортних пунктах; інтенсивності руху АТЗ на магістралях. Як наслідок, спостерігаються також наднормові затримки у доставці вантажів, відмови у виконанні перевезень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно з Транспортною стратегією України на період до 2030 року. Дисертація від-

повідас Концепції розвитку конкурентоспроможної та екологічно сталої транспортної системи Єдиного Європейського транспортного простору, яка розкрита в Білій книзі Європейської Комісії. Основні дослідження теоретичного та прикладного характеру виконані згідно з тематикою науково-дослідних робіт, що виконувалися Національним університетом «Львівська політехніка» та Національним транспортним університетом, а саме: держбюджетною науковою темою кафедри експлуатації та ремонту автомобільної техніки Національного університету «Львівська політехніка» №0107U009529, зокрема її розділу «Оптимізація транспортно-технологічних схем організації магістральних перевезень» (завершено 2013 р.); держбюджетною науковою темою кафедри експлуатації та ремонту автомобільної техніки Національного університету «Львівська політехніка» «Дослідження і оптимізація експлуатаційних властивостей автомобілів, технічного обслуговування та транспортних процесів» (2014 – 2018 рр.); держбюджетною науковою темою кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету №0112U008415 «Підвищення ефективності функціонування інтегрованих транспортних систем у міжнародному сполученні»; держбюджетною науковою темою «Моделювання економічної поведінки та стратегії розвитку суб'єктів господарювання» № 0116U008360 та ініційованої теми «Методологія соціально-економічного, інформаційного та науково-технічного розвитку регіонів, галузей виробництва, підприємств та їх об'єднань» № 0116U006782; науково-дослідної теми «Оптимальні транспортно-технологічні схеми доставки вантажів на підприємстві з використанням засобів оперативного керування транспортними процесами» укладеної на умові господарського договору з підприємством ТзОВ «Транс-Сервіс-1», Львівської області.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційних досліджень є створення наукових основ організації транспортних процесів на дорожній магістральній мережі для мінімізації часових затримок доставки вантажів і зменшення резервування провізної здатності парків транспортних засобів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати стан та тенденції розвитку міжміських та міжнародних автомобільних перевезень вантажів;
- систематизувати знання про структуру й властивості транспортно-технологічних схем доставки вантажів, та про закономірності формування і взаємодії матеріальних та інформаційних потоків на МТМ;
- побудувати структурні моделі й дослідити закономірності адаптації транспортних процесів до зовнішніх збурень за наявного інформаційного забезпечення;
- розробити теоретичні моделі й методи побудови оптимальних розкладів виконання процесу доставки вантажів на МТМ паралельними автомобілепотокми, за критерієм мінімальних сумарних часових затримок;
- розробити методологію прийняття оптимальних рішень транспортними агентами на МТМ щодо виконання квазіперіодичних замовлень з доставки вантажів;
- обґрунтувати концепцію оптимальної організації руху АТЗ по магістральних маршрутах на основі прогнозування та контролю швидкості АТЗ;
- розробити практичні методи організації роботи парку АТЗ на МТМ; оцінити техніко-економічний ефект від використання цих методів на автотранспортних підприємствах.

Об'єкт дослідження. Транспортні й логістичні процеси, матеріальні та інформаційні потоки на магістральних транспортних мережах.

Предмет дослідження. Взаємозв'язок матеріальних та інформаційних потоків на магістральній транспортній мережі, та його вплив на тривалість і затримки доставки вантажів.

Методи дослідження. Для досягнення сформульованої мети використано такі методи: системного аналізу, теорії інформації і кодування, теорії графів, теорії розкладів – для побудови структурних моделей ТП, імітаційного моделювання, зокрема методів дискретно-подійного та, мультиагентного моделювання – для дослідження вхідних потоків замовлень на вантажні перевезення і ТП на МТМ; математичного програмування, кінцеві різниці рівняння – для синтезу системи контролю.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в розробці науково-практичного підходу до організації та контролю транспортних процесів міжміських вантажних перевезень з врахуванням їх інформаційного забезпечення, що дало змогу вирішити важливу науково-практичну проблему надмірного резервування провізної здатності парків АТЗ. Елементами наукової новизни є те, що:

вперше

- сформульовано і розв'язано задачу оптимізації вантажопотоків на МТМ як багатоекстремальну задачу нелінійного програмування із застосуванням попередньої класифікації змінних, формулювання та розв'язок якої досі був невідомий;
- встановлено аналітичні залежності параметрів вхідних й вихідних ланок логістичних ланцюгів доставки поштучних вантажів у міжміському сполученні, що дало можливість здійснити синтез оптимальних транспортних процесів з елементарних логістичних операцій (ЕЛО);
- виявлено квазіперіодичний характер процесів обслуговування стохастичних вхідних потоків замовлень на доставку вантажів, який дає змогу ефективніше використовувати відомі методи прогнозування вантажопотоків та отримувати гарантовані розв'язки розподільчих задач на МТМ;
- досліджено закономірності утворення статичних і динамічних часових затримок доставки вантажів, що дає змогу адаптувати структуру транспортно-технологічної схеми (ТТС) до зміни інтенсивності вхідного матеріального потоку (МП);
- визначено закономірності формування інформаційних потоків, які надходять до екіпажів вантажних АТЗ, про власні координати й швидкість, дорожні, транспортні й організаційні умови, що підвищує якість прийнятих рішень і знижує відхилення від оптимальної програми руху АТЗ;
- досліджено вплив інтервалів дискретизації сигналів від систем позиціонування АТЗ, та відповідного обсягу інформації, яка міститься у них, на вибір швидкості вантажних АТЗ, що дає змогу точніше дотримуватись розкладу виконання сукупності транспортних процесів на МТМ;

удосконалені та набули подальшого розвитку:

- метод структурного моделювання процесу доставки вантажів сукупністю АТЗ, що дає можливість отримувати гарантовані оптимальні розв'язки розподільчих задач на МТМ;

- метод розроблення однозначного, оптимального за швидкодією розкладу їздок на МТМ, для наперед заданої кількості АТЗ, що дає змогу більш точно оцінювати час виконання заданих замовлень;
- методика імітаційного моделювання автомобільного потоку на міжміській дорозі з використанням інтелектуальної транспортної системи (ІТС) 4-го покоління, що забезпечує можливість керування рухом АТЗ з мінімальними затримками і відхиленням від оптимальної програми;
- методика імітаційного мультиагентного моделювання процесу виконання прогнозованого потоку замовлень на вантажні міжміські перевезення, яка дає змогу будувати сценарії можливих варіантів ТП, та обрати доцільну стратегію їх обслуговування;
- метод оптимізації розміщення вантажних одиниць в п'ятивісному автопоїзді при умові змінних кількості та розмірів доступних транспортних пакетів, що дало змогу підвищити точність розрахунку, врахувавши інтенсивність вхідних і вихідних вантажопотоків, фронт завантаження, розміри гуртів вантажів у пакетах і відправки.

Обґрунтованість і достовірність основних положень, висновків та рекомендацій забезпечуються:

- методологією дослідження, що ґрунтується на апробованій теорії систем, а також широкому застосуванні ІМ та достатньо великого масиву вхідних даних;
- аналізом великої кількості вхідних факторів і множинністю проведених експериментів по формуванню автоматизованого програмного забезпечення АТП;
- позитивними результатами впровадження науково-методичних положень у практику керування вантажними магістральними автомобільними перевезеннями;
- моделюванням систем керування магістральними вантажними перевезеннями з урахуванням можливих обмежень параметрів у реальних умовах.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці програмно-інструментального комплексу з оптимізації структури і параметрів ТП, на основі запропонованих у дисертації науково-методичного забезпечення по організації та контролю за вантажними перевезеннями. Спроектвана й заповнена база даних про МТМ західних і центральних регіонів України, а також що містить у собі параметри основних транспортних пунктів, а також технічні характеристики транспортних сполучень, дозволяє за допомогою програмного комплексу вирішувати завдання по оптимальному плануванню вантажними перевезеннями в межах великого АТП. Програмний комплекс може бути інтегрований в чинні на підприємствах системи організації і контролю процесами. Розроблено методику динамічної оптимізації маршрутів перевезення залежно від інтенсивності вантажопотоків на МТМ; використання вантажних АТЗ розглядається при цьому у взаємопов'язаних циклах; отримано інтервальні оцінки тривалості циклів залежно від інтенсивності вантажопотоків.

Для запропонованого методу розподілу наявного парку АТЗ по відомих завданнях з перевезення вантажів на МТМ розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення, яке пройшло автономну та комплексну перевірку на багатьох підприємствах, серед яких слід особливо відзначити ТзОВ «Транс-Сервіс-1», ТОВ «Орлан Транс Груп», «ЛВ Транс», «Агрологістик» та інші.

Використання сучасних інформаційних технологій у вигляді розробленого програмного комплексу і методу оптимізації при плануванні магістральних вантажних

перевезень дає змогу приблизно у 2...2,5 рази знизити витрати праці на підготовку рішення щодо організації виконання цих перевезень, вдвічі скоротити час затримок доставки вантажів у транспортних вузлах, а також вибирати більш раціональні режими руху, автоматизувати операції зі складання плану перевезень.

Запропонована методика раціональної організації роботи транспортного пункту, яка забезпечує раціональне використання часу на обслуговування вантажо- і автомобілепотоків, та збільшує пропускну здатність МТМ.

При виконанні науково-дослідницьких робіт по держбюджетній НДР №0107U009529, зокрема її розділу «Оптимізація транспортно-технологічних схем організації магістральних перевезень» було розроблено нову модель і методологію організації транспортно-логістичного обслуговування доставки вантажів на МТМ. У результаті були спроектовані й розроблені:

- інформаційне забезпечення основних компонентів інфраструктури транспортних систем (ТС) (транспортних пунктів і комунікацій);
- програмне забезпечення для автоматизованої системи контролю за доставкою вантажів та експлуатацією АТЗ на МТМ.

Впровадження цих розробок має економічний і соціально-політичний ефекти, а також значно сприяє підвищенню конкурентоздатності вітчизняних АТП при виконанні міжнародних автомобільних перевезень.

Основні наукові і практичні результати дисертації впроваджені в навчальний процес ряду провідних вищих навчальних закладів Міністерства освіти і науки України, а саме: у Національному університеті «Львівська політехніка», Національному транспортному університеті, Східноукраїнському університеті ім. Даля.

Особистий внесок здобувача. Положення та результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. Особисто автором опубліковано 40 одноосібних робіт. У наукових працях, опублікованих із співавторами, особистий внесок полягає: в [3] розроблено теоретичну модель, методику оптимізації, виконано експериментальні дослідження; в [5] виконано огляд попереднього доробку, розроблено алгоритм і програму імітаційного моделювання, зібрано початкові дані; в [6] розроблено алгоритм і програму імітаційного моделювання, підготовлено вхідні дані та виконано перевірку моделі на адекватність; в [7], [34] розроблено алгоритми імітаційного моделювання, підготовлено початкові дані та виконано аналіз циклічних потоків; в [8] розроблено методику, алгоритм та обробку отриманих результатів моделювання; в [9, 34] виконано моделювання процесів; в [11] розроблено методику оптимізації, підготовлено початкові дані, побудовано залежності, зроблено висновки; в [16] запропоновано засади теорії автоматизації системи керування, розроблено методику досліджень, здійснено математичне моделювання; в [19] розроблено теоретичну модель, здійснено обробку експериментальних даних; в [21] виконано аналіз проблеми, здійснено огляд попереднього доробку, розроблено методику моделювання; в [23] запропоновано ідею імітаційної моделі; в [31] запропоновано класифікаційні ознаки ТТС, розроблено методику дослідження, побудовано залежності; в [32] розроблено математичну модель, комп'ютерну програму для розрахунку, заплановано і виконано модельний експеримент; в [35] розроблено методику досліджень; в [37] розроблено методику досліджень і комп'ютерну програму; в [38] зроблено огляд літератури, побудовано теоретичну модель, виконано оптимі-

зацію, проаналізовано залежності; в [40] розроблено структуру системи, перевірено її експериментально, перевірено адекватність; в [45] виконано огляд попереднього доробку, розроблено методичку досліджень, виконано моделювання, проведено аналіз результатів; в [61] виконано перевірку адекватності моделей; в [62], [63], [64], [65], [66] розроблено алгоритми і написано комп'ютерні програми.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на таких конференціях: Симпозіум Українських інженерів-механіків у Львові 2011, 2015, 2017 рр., Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів «Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі» 2011 р. (Донецьк); Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, 2010-2020 рр. (Київ, НТУ); Всеукраїнська науково-практична конференція «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні» 2015, 2017, 2019 (Львів); Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» 2015, 2019 (Вінниця); Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» 2015, (Харків); Міжнародна науково-практична конференція «Міські і регіональні транспортні проблеми», 2015 (Харків); Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми підготовки професійних кадрів з логістики в умовах глобального конкурентного середовища», 2013, 2016, 2018, (Київ, НАУ); VIII Міжнародна науково-практична конференція «Транспорт і логістика: проблеми та рішення» 2018 (Одеса); XI та X Міжнародні науково-практичні конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» 2016, 2018 рр. (Житомир); Міжнародна науково-практична конференція «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців» 2017 (Харків, ХНАДУ); Наукова конференція «Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку» 2018 (Запоріжжя); Міжнародна науково-технічна конференція “Current problems of transport” ICCPT 2019 (Тернопіль); Міжнародна наукова конференція «Transport Problems», 2016, 2017, 2019 (Катовіце, Польща); 2-га Міжнародна науково-практична конференція «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті», 2019 (Львів).

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалась на науковому семінарі кафедри НТУ: міжнародних перевезень та митного контролю; транспортних технологій, транспортних систем та безпеки дорожнього руху, транспортних технологій, автомобілів (м. Київ, 30.09.2020 р.).

Публікації. У процесі виконання дисертаційної роботи теоретичні та практичні положення опубліковано в 66 наукових працях, із них: 2 колективні монографії; 9 праць – у закордонних виданнях, у тому числі 1 – одноосібна; 6 статей включені до міжнародних наукометричних баз Скопус, у тому числі 1 – одноосібна; 26 статей опубліковано у фахових виданнях України, у тому числі 16 – одноосібних, 28 праць – апробаційного характеру, з них 22 – одноосібні; 5 свідоцтв авторського права.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 462 сторінки, у тому числі основного тексту – 310 сторінок. Робота

ілюстрована 116 рисунками, наведено 14 таблиць. Додатки розміщені в на 93 сторінках. Перелік використаних літературних джерел складається із 354 найменувань на 40 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність досліджень, сформульовано мету і завдання, визначено об'єкт та предмет дослідження; описано основні методи досліджень; зазначено зв'язок із науковими програмами, планами, темами; викладено основні складові наукової новизни та практичного значення; надано інформацію про апробацію та публікацію результатів дисертації.

У **першому розділі** «Аналіз організації транспортних процесів магістральних вантажних перевезень» проаналізовано зміст, причини та наслідки наукової проблеми, що розглядається, а також показано її зв'язок з тенденціями та директивами в галузі наземного магістрального транспорту в Європі в цілому і в Україні, зокрема. Проаналізовано вірогідний вплив різних сценаріїв розвитку магістральних вантажних перевезень, згідно з науковими звітами Міжнародного союзу автомобільного транспорту (IRU) та інших організацій. Зазначено, що зусилля науковців мають бути зосереджено у таких сферах, як комплексні системи організації, управління та інформатизації на транспорті, які полегшують впровадження ІТС, краще використання інфраструктури, АТЗ та інформаційних систем у режимі реального часу. Велику увагу приділено обґрунтуванню критеріїв керування вантажними перевезеннями на МТМ в умовах інтенсифікації матеріальних потоків.

Принципову відмінність і новизну в підходах до оптимізації транспортних процесів містять праці В. І. Ніколіна, В. К. Доли, Ю. М. Неруша, Т. А. Воркут, Л. Б. Міротіна, П. Р. Левковця, В. К. Мироненка, М. М. Маяка, А. О. Чеботаєва, Ю. М. Цветова, Г. С. Прокудіна, Л. В. Канторовича, Ю. П. Зайченко, Н. Ш. Кремера, та інших вітчизняних та закордонних вчених. Ці роботи стосуються дослідження закономірностей функціонування транспортних мереж та виконання транспортних процесів на них, а також їхнього керування. При оптимізації застосовано системний підхід внаслідок розгляду ТП як скінченної множини логістичних операцій, у якій за певними закономірностями складаються просторово-часові взаємозв'язки, і які утворюють впорядковану структуру, яка підпорядкована єдиній стратегічній цілі, а іноді – єдиному такту.

Новітніх методів оптимізації ТП перевезень вантажів стосуються роботи Х. Псарафтиса, А. Ларсена, О. Мадсена, М. Соломона, П. Джаліет, М. Вагнера, П. Карстена, Л. Лі, Я. Рігаарда, Ф. Ріцінгера, Я. Пучінгера, Р. Хартла, А. В. Куниці, О. М. Горяїнова, Є. В. Нагорного, В. М. Нефьодова, В. С. Наумова, Н. Ю. Шраменко, М. Кристофера, Д. Уотерса, С. Діснея, Д. Іванова, Д. Ю. Чанг, та інших. Ці роботи використовують інформаційні технології для збору і аналізу вхідних даних, але базуються на приблизних евристичних методах розв'язання задач великої розмірності. Підсумовуючи виконаний огляд досліджень, виділимо головні ознаки, які характерні для сучасних виробничо-транспортних систем – це інтегрованість, циклічність, наявність біфуркацій та невизначеностей. З аналізу сучасного стану і динаміки розвитку міжміських вантажних автомобільних перевезень сформульовано проблемні

аспекти, які супроводжують розвиток ТП. Такі аспекти зумовлені проблемою, яка загострюється в сучасних МТМ і унеможлиблює впровадження нових технологій, зокрема ІТС: інформація в сучасних ТС, які зростають і розширюються, недовикористовується. У зв'язку з цим застосовується надмірне резервування ресурсів.

У **другому розділі** «Теоретичні засади формування транспортних циклів» наведено та проаналізовано закономірності формування вхідних потоків замовлень на перевезення, функціонування МП на МТМ, означено детерміновані моделі ЛЛ, на основі яких розроблена класифікація циклічних транспортних процесів на МТМ. Такий підхід дав змогу сформулювати ідеальне бачення ефективного ТП при змінних умовах його виконання.

Надходження замовлень на перевезення вантажів є стохастичним процесом. Виконання ТП у міжміському сполученні має також стохастичний зміст. Припущення про те, що вони відносяться до найпростіших потоків подій не завжди справджується. При дослідженні МТМ здійснено ІМ процесу обслуговування потоку вхідних замовлень на доставку вантажів на основі заявок інтернет-сайтів Della, Larditrans та інших. Замовлення приймалися, або відхилялись відділом логістики АТП ТОВ «Транс-Сервіс-1». Головний параметр ІМ – кількість відмов, разом із його похідними характеристиками. Якщо, згідно зі стратегією даного АТП, їздки без вантажів АТЗ заборонені, то практична розбіжність між кількістю замовлень, які надійшли і тих, які прийняті до виконання, або виконуються, є дуже великою. Адже АТЗ є обмежені у використанні навіть, якщо є інформація про невиконані й доступні замовлення в інших пунктах. Однак, з часом, від початку моделювання кількість відмов і кількість замовлень, які виконуються за даною стратегією стабілізуються, а їх часові ряди набувають стохастично-періодичного характеру. Кількість відмов зменшується, якщо використовувати прогнози стосовно періодичності надходження замовлень та їх різновидів. Отримано залежності кількості відмов на доставку вантажів від випадкової періодичності їх надходження, яка задана сталим інтервалом (рис. 1). На основі ІМ вхідних заявок було зроблено перевірку отриманих результатів з реально виконаними замовленнями. Перевірка показала адекватність результатів ІМ

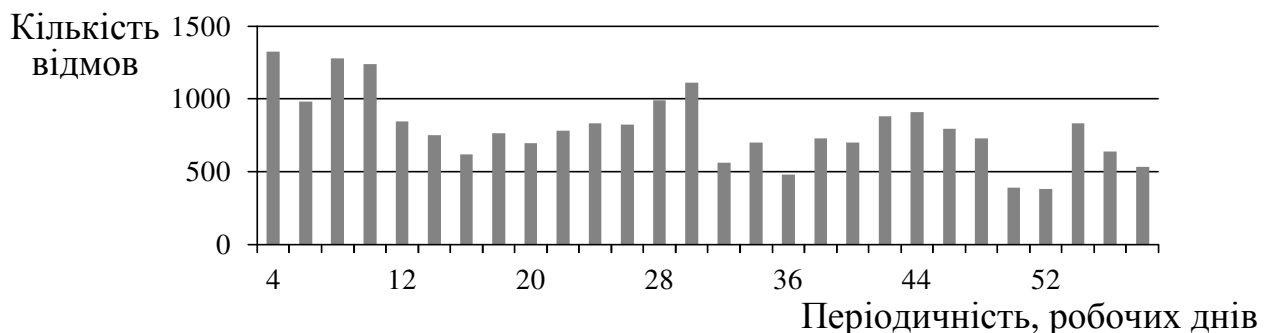


Рисунок 1 – Результати ІМ вхідних потоків замовлень на перевезення вантажів

З результатів ІМ, визначено, що інтервал періодичності при рівномірному розподілі вхідного потоку не є суттєвим чинником, який впливає на кількість відмов при відсутності достатньої інформації та обмеженнях на непродуктивне використання АТЗ. Головним є не інтервал періодичності, а те, яка є відповідність між тривалістю транспортного циклу і періодом його повторення. У зв'язку з цим, ТП змодельовано як циклічну, детерміновану взаємодію матеріальних потоків (автомобілів,

вантажів). Для цього матеріальний потік (МП) на МТМ розглянуто як сукупність виробів (в тому числі засобів і предметів праці), які за час, що не перевищує тривалості їх фізичного зносу (в тому числі старіння) міняють своє просторове розташування відносно будь-яких двох фаз свого існування, де їх споживчі якості істотно не відрізняються. Фізичною одиницею МП є матеріальний елемент (МЕ) – найдрібніша неподільна частина МП. Переміщення МЕ в часі й просторі не впливає на його внутрішню структуру й властивості. Ці властивості проявляються тільки у взаємодії з іншими елементами МП. Назвемо такі події елементарними логістичними операціями (ЕЛО). ЕЛО – це дія, спрямована на зміну напрямку, швидкості, тривалості переміщення в просторі й часі одного, або гурту МЕ. Враховуючи перелік та взаємозв'язок параметрів ЕЛО, відомі фізичні логістичні операції можна подати як скінченну множину комбінацій ЕЛО, а будь-який ТП – у вигляді множини взаємопов'язаних ЕЛО. Також, будь яку ТТС можна відобразити графом, вершинами якого є dokonані події – ЕЛО. Зв'язки графа – це параметри ЕЛО: *такт* τ_{ij} – період повторення будь-якої елементарної операції, або групи операцій; *розмір* фізично відокремленої частини МП – гурту транспортних пакетів – k_i ; *фронт* ЕЛО, f_{ij} – кількість одиниць МП, які одночасно перебувають між двома сусідніми ЕЛО. Вихідними з такої моделі є параметри інтенсивності споживання вантажів (виведення їх поза межі ТТС, що розглядається) – μ_{ξ} , де $\xi=1\dots N$ – кількість кінцевих ЕЛО. В загальному випадку ТТС може мати декілька джерел і декілька стоків, тому говоримо про існування в єдиному ТП декількох синхронних ЛЛ. Враховуючи прийнятий ідеал ТП, усі ЕЛО в кожному ЛЛ, а також окремі ЛЛ на МТМ повинні бути взаємопов'язаними матеріальними, або інформаційними потоками. Використовуючи такий підхід, було розроблено систему структурних моделей ТП. Приклад – на рис. 2. З допомогою моделі можна графічно відобразити будь-яку частину, або увесь ТП цілісно. На рис. 2. показано приклад ТТС транспортного пункту, – структурну модель ТП, функціями якого є виробництво, пакування й відвантаження транспортних пакетів з розмірами k_2, k_3 .

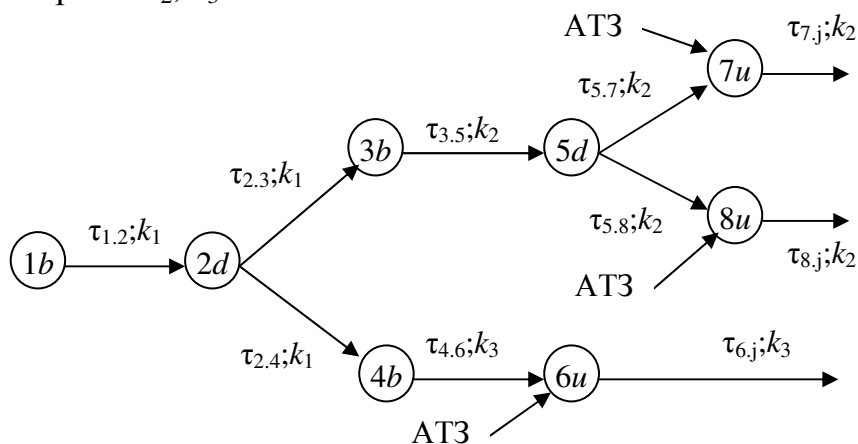


Рисунок 2 – ТТС транспортного пункту „виробництво”: 1-8 – номери ЕЛО; b, d, u – тип ЕЛО, τ_{ij} – такт МП після i -ї ЕЛО; k_i – розмір гурту елементів МП

Вироби спочатку об'єднуються ($1b$) в гурти розміром k_1 і в такому виді надходять на розподіл потоків ($2d$), в результаті якого утворюються два повільніші потоки, оскільки $\tau_{2.3} \leq \tau_{1.2}$ і $\tau_{2.4} \leq \tau_{1.2}$. Розподіл $2d$, а потім – $5d$ служить для того, щоб пе-

реформувати їх у два різні за розміром гурти відправлень (k_2, k_3), а також для інтенсифікації процесу навантаження за рахунок збільшення вантажного фронту. Так ЕЛО $6u, 7u, 8u$ відображають сполучення двох типів МП – вантажопотоків й автомобілепотоків, або, інакше, – навантаження по трьох постах. В результаті аналізу топологій МТМ, було визначено, що усі можливі транспортні пункти, що задіяні у вантажообігу та в автомобіле-потоках, можна класифікувати за ознаками елементарних функцій на такі типи: а) виробники; б) вузли перенаправлення потоків; в) вузли збірно-розподільчі за розміром відправлень; г) кінцеві споживачі /термінали; д) місця відстою автотранспорту. Також можливі комбіновані транспортні пункти, які складаються з декількох найпростіших.

Структурні моделі ТП, які аналізувались при цьому, були визначеними в якісному плані, тобто набір ЕЛО, які входять до кожної моделі, був сталим. Кожна модель базується на принципі нерозривності потоку: $\mu_i = \frac{k_i}{\tau_i} = const$, де μ – інтенсивність

дискретного МП. Якщо МП розгалуження $\mu_\Sigma = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_m$, і при певних умовах один з його напрямків ζ потрібно ліквідувати, тобто призначити $\mu_\zeta = 0$, то у сформульованій задачі такий розв'язок визначався числовим значенням такту $\tau_i \rightarrow \infty$ при $k_i = const$. Також було враховано особливості варіантів моделі: наявність декількох джерел МП – постачальників вантажів, різних АТП, які взаємодіють на МТМ; регіональний характер МТМ, який відображено тим, що такт випуску АТЗ на маршрут є значно меншим, ніж тривалість руху того ж АТЗ по маршруту; наявність декількох розподільчих центрів, що вносить у модель розгалуження та злиття МП. Такі моделі ТП мають також деякі спільні особливості. По-перше, змінними усіх моделей є параметри інтенсивності МП на тих фазах ТП, які є невизначеними у зв'язку з розподілом потоків та їх злиттям: λ_i – інтенсивність вхідного потоку від i -го джерела, μ_j – інтенсивність МП в межах однієї фази ТП. По-друге, моделі можуть змінювати свою структуру залежно від сумарної інтенсивності МП. Залежності параметрів ЕЛО при цьому – сталі. Це означає, що моделі ТП містять релейні перемикачі. Принцип нерозривності МП при цьому зберігається. По-третє, всі показники ефективності обчислюються залежно від структури ТП. Спільним для різних ТП є тільки спосіб визначення критерію. Найбільш затребуваний показник даного класу задач – гарантована мінімальна тривалість доставки вантажів:

$$T = \max_j \left\{ \sum_{j=1}^N \frac{k_j}{\mu_j} \left[\frac{\mu_j}{k_j} t_j \right] \right\} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де t_j – тривалість j -ї ЕЛО, $j=1 \dots N$. При обмеженнях:

- на інтенсивність вихідних потоків:

$$\sum_i \mu_{\text{вх.}i,j} = \mu_j, \text{ або } \sum_i \frac{k_{i,j}}{\tau_{i,j}} = \mu_j, \quad (2)$$

де $\mu_{\text{вх.}i,j}$ – i -й вхідний потік до j -го споживача; μ_j – інтенсивність j -го споживача;

- на вхідні потоки:

$$\sum_i \frac{k_i}{\lambda_i} = \sum_j \mu_j, \quad (3)$$

де λ_i – інтенсивність вхідних потоків від кожного i -го джерела;
 - на кількість автомобілів:

$$\left[\frac{t_j}{\tau_j} \right] = \left[\frac{\mu_j}{k_j} \cdot t_j \right] \leq f_{j_{\max}}, \quad (4)$$

де j – номер ЕЛО, де задіяні АТЗ j -го типу.

Другий критерій, який застосовано – мінімальні сумарні затримки доставки – які пов'язані з тим, що графік вантажопотоків є неузгодженим з ритмічністю процесу, в результаті тривалість окремих операцій є значно меншою, ніж такт – період часу для її циклічного виконання:

$$Z = \sum_{i=1}^{H_{\max}} T_i \cdot \mu_i - T_{\min} \cdot \mu_{\Sigma}, \quad (5)$$

де H_{\max} – кількість ЕЛО в найдовшому ЛЛ.

Взявши до уваги вираз (1), або (5) та обмеження (2)-(4) задачі з багатьма змінними, віднесемо її до нелінійних багатоекстремальних задач математичного програмування. Очевидно також, що функція (1) – недиференційована по μ . Тому була розроблена і застосована методика нелінійного програмування щодо таких умов. Для кращого практичного застосування методики, і для пошуку гарантованого розв'язку, крім загальних структурних ознак ТП, таких як кількість ЕЛО, введено ще відносні показники, які характеризують потенціал ТП при його оптимізації. Наведемо три основні показники. Перший показник – це рівень вертикальної концентрації ЕЛО:

$$\eta_V = \frac{V_{\max}}{N_{\Sigma}}, \quad (6)$$

де V_{\max} – максимальна кількість ЕЛО, які стосуються паралельних матеріальних потоків і виконуються одночасно в даному ТП.

Чим вище числове значення η_V (теоретично можливе – 1,0), тим більшої продуктивності АТЗ можна досягнути в ТП у зв'язку із широким фронтом робіт. При цьому циклічний ТП буде краще пристосованим до змін вхідних потоків. З іншого боку, наявність резервних потоків у ТП приводить до збільшення резервування. Рівень горизонтальної концентрації ЕЛО визначався за виразом:

$$\eta_H = \frac{H_{\max}}{N_{\Sigma}}, \quad (7)$$

Цей коефіцієнт є мірою перетворення МП у ТП. Чим вище значення коефіцієнта η_H , тим більш нерівномірний за інтенсивністю МП вздовж кожного ЛЛ. А це означає, що його тривалість, й затримки доставки вантажів збільшуються. Властивості й структурні ознаки трьох різних ТТС, які порівнювались, і їх було оптимізовано зі змінними значеннями μ_{Σ} , наведено у таблицях 1, 2.

Залежності сукупних затримок доставки від структури, інтенсивності ТП і типу ТТС показано на рис. 3. Кожна залежність показників ТП від інтенсивності сукупного МП має розриви першого роду, які означають перехід на нові структурні параметри зліва-направо. Ці значення назовемо *критичними*, оскільки при подальшому збільшенні інтенсивності вантажопотоків наявні технічні засоби даного ТП (АТЗ,

складське обладнання, вантажні пости, пакувальні засоби тощо) уже не здатні забезпечити їх виконання (на рис. їх позначено сірими маркерами).

Таблиця 1 – Порівняння структурних ознак ТП

№ схеми	Кількість ЕЛО				Коефіцієнти концентрації	
	загальна	розподілу	сполучення	скупчення	вертикальної	горизонтальної
1	15	6	3	6	0,5	0,22
2	11	4	1	6	0,3	0,4
3	14	6	1	7	0,375	0,31

Таблиця 2 – Порівняння властивостей ТП

№ схеми	Діапазон інтенсивності потоку, од./год. (min ... max)	Гарантована тривалість доставки, год.		Сукупні затримки процесу, год.		Запас вантажів в обігу, одиниць	
		для $\mu=5$ од./год.	для $\mu=15$ од./год.	для $\mu=5$ од./год.	для $\mu=15$ од./год.	для $\mu=5$ од./год.	для $\mu=15$ од./год.
1	0,1...15	128,1	54,1	315,5	557,9	361	531
2	0,1...17	63,7	48,4	145,2	544	211	444
3	0,1...27	86,8	33,6	71,4	394	198	328

Критичні параметри інтенсивності характеризують найбільш раціональні ТП, оскільки вантажі доставляються в таких ТТС з максимальною продуктивністю наявного парку АТЗ, а сукупні затримки доставки при цьому не зростають. На рис. 3 критичні відміни ТП позначені сірими маркерами. Наприклад, згідно із залежністю $Z(\mu_{\Sigma})$, при інтенсивності $5 < \mu_{\Sigma} < 5,5$ од./год. найбільш раціональною за критерієм сумарних затримок є ТТС №3 ($Z=100$ год.). Використовувати ТТС №3 доцільно при $\mu_{\Sigma}=5,5$ од./год., оскільки саме так досягається максимальна продуктивність залучених в ТП транспортних та інших засобів. А уже в межах інтенсивності $5,5 < \mu_{\Sigma} < 6,0$ потрібно обирати ТТС №2 ($Z=170$ год.), для якої значення $\mu_{\Sigma} < 6$ од./год. є критичним.

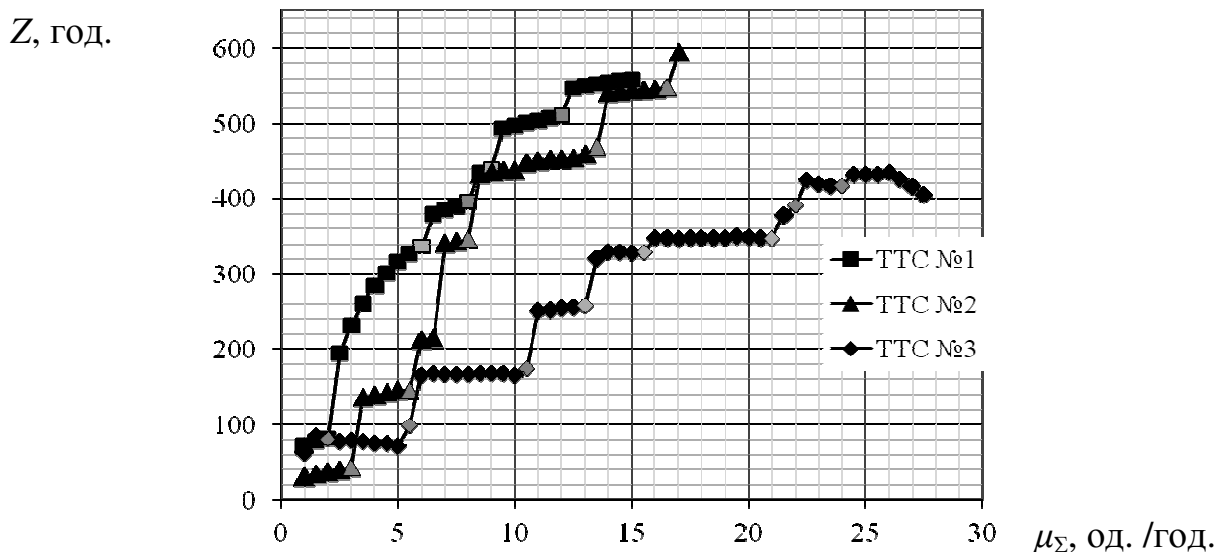


Рисунок 3 – Залежність сумарних затримок доставки вантажів від ТТС й інтенсивності сумарного вантажопотоку

Отже, потрібну кількість технічних засобів для доставки вантажу на МТМ, у тому числі, АТЗ потрібно вибирати разом із типом ТТС та значеннями μ_{Σ} , що є критичними.

У третьому розділі «Узгодження матеріальних та інформаційних потоків у магістральних транспортних мережах» досліджено динаміку МП в циклічних ТП, оскільки їх зміна є джерелом інформації й основним засобом керування вантажними перевезеннями. Розроблено методику оцінювання стабільності ТП за умов змінних вхідних вантажопотоків. Розроблено теоретичну модель взаємодії інформаційних потоків при прийнятті рішення про вибір режимів руху для дотримання графіку магістрального маршруту АТЗ. Виконання транспортних процесів, особливо тоді, коли використовується автомобільний транспорт – це їх циклічне пристосування до умов матеріального виробництва і до споживання. Відбувається воно на основі змін в структурі ТП. Отже, виконання ЕЛО є також джерелом інформаційних потоків в ТП. Зі збільшенням інтенсивності МП їх структура стає складнішою. ЛЛ є взаємопов'язаними. Різна тривалість операцій та їх випадковий характер зумовлюють наявність непродуктивних станів ТП – затримок. Отже, існують такі послідовності операцій, при яких сумарна кількість таких небажаних станів буде мінімальною. На рис. 4 показано модель типового ТП міжміської доставки вантажів від виробника B до розподільчого пункту P_n і до споживачів C .

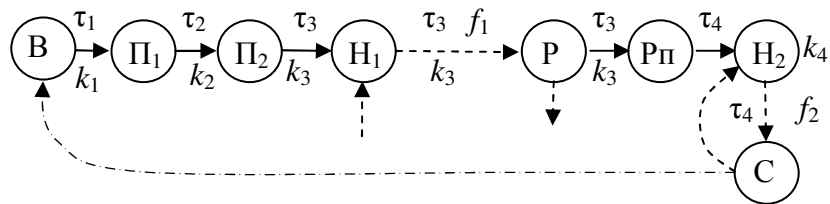


Рисунок 4 – Модель ТП доставки вантажів: B – виробництво, $П_1$ – пакування; $П_2$ – пакування в транспортний пакет, $Н_1$ – навантаження на АТЗ, P – розвантаження, P_n – розподіл пакетів за напрямками, $Н_2$ – навантаження на маловантажний автомобіль, C – споживачі; $\tau_1 \dots \tau_4$ – такти ЕЛО, $k_1 \dots k_4$ – розмір гурту вантажів, f_1, f_2 – фронти автотранспортних засобів на маршрутах

Інтенсивність МП на кожній i -й послідовній ЕЛО, у зв'язку з прийнятим принципом його нерозривності, є сталою і визначається за виразом (1). Якщо попит на продукцію у споживача збільшується, то інтенсивність МП повинна зрости. Однак, це може успішно відбутися за двох умов. Перша: до виробника B потрібно вчасно подати інформацію (на рис. 4 інформаційний потік показано штрих-пунктирною лінією). Час випередження подачі інформації – співставний з тривалістю перебігу ЛЛ:

$$t_g = \tau_4 \cdot f_2 + \tau_4 + \tau_3 + \tau_3 \cdot f_1 + \tau_3 + \tau_2, \quad (8)$$

де такт кожної $i+1$ -ї ЕЛО прискорення/сповільнення визначаємо за виразом:

$$\tau_{i+1} = \frac{k_{i+1}}{k_i} \tau_i, \quad (9)$$

а фронт автомобілів на маршрутах – за виразом:

$$f_i = \left\lceil \frac{t_{m,i}}{\tau_i} \right\rceil, \quad (10)$$

де $t_{m,i}$ – математичне сподівання тривалості руху на i -у маршруті; вираз, взятий в квадратні дужки, округлюють до більшого цілого. З врахуванням (11) і (12), при сталих значеннях розмірів транспортних і споживчих пакетів, обсягу завантаження АТЗ, вираз (10) перепишемо у вигляді:

$$t_e = \frac{1}{\mu} ((f_1 + 1)k_4 + (f_2 + 1)k_3 + k_2). \quad (11)$$

Залежність необхідного часу для задоволення прогнозованого попиту (часу випередження) від інтенсивності МП заданого ТП подано на рис. 5 для трьох згаданих вище схем: ТТС №1, модель якої подана на рис. 4; ТТС №2, яка за своїми функціями подібна ТТС №1, але має вкорочену структуру: у неї відсутній розподільчий центр, а перевезення споживачам виконуються великовантажним АТЗ; ТТС №3 – подібна ТТС №2, але перевезення виконуються маловантажні АТЗ.

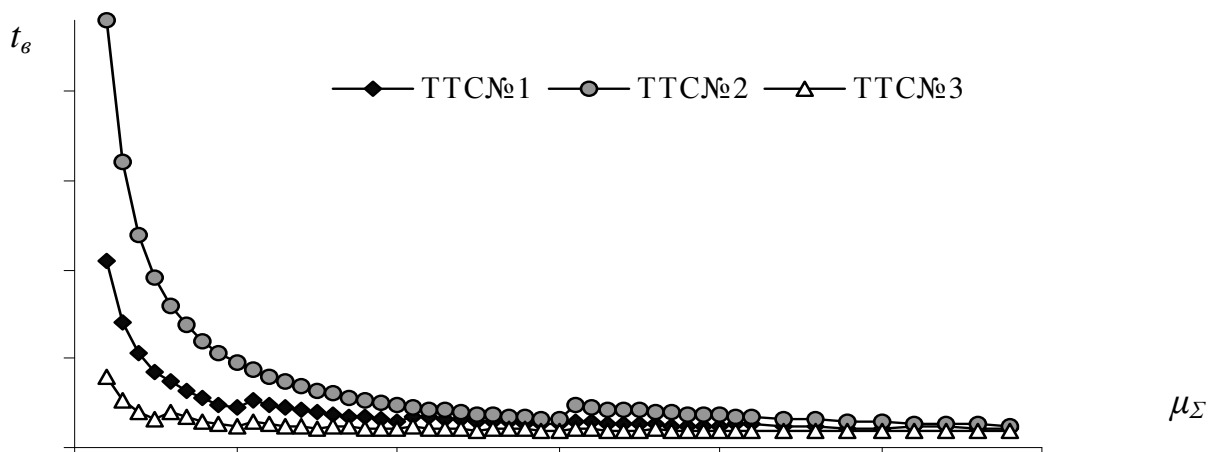


Рисунок 5 – Залежність необхідного часу випередження для прогнозування попиту на продукцію від інтенсивності МП і структури ТП

Отримані залежності є кусково-неперервними. Час прогнозування опосередковано впливає на обсяг необхідної інформації для керування ТП, отже впливає на загальні витрати. Цей час є надто важливим для тих ТП, які характеризуються малою інтенсивністю МП (великий такт потоку). Однак, ця важливість послаблюється, якщо ТП отримує меншу залежність від складування продукції та вантажів і більшу, – якщо ЛЛ вкорочується. Друга умова збільшення інтенсивності МП при зростанні попиту – це успішна адаптація ТП до нових вимог – її придатність до оперативної перебудови. Нехай в i -й момент часу виробником B (див. рис. 4) була прийнята інформація про необхідність збільшити матеріальний потік μ_Σ на величину $\Delta\mu$. Без порушення технології він може це зробити це на чинних виробничих потужностях зменшенням такту τ_1 . Однак наступна фаза ТП – пакування Π_1 . До такого імпульсу потоку матеріальна база ТП є неготова, тому частина продукції залишається на складах незапакованою. Це показано на рис. 6 додатковою ЕЛО СК₁ – складування. Таке введення супроводжується додатковими затримками частини МП на один такт τ_2 .

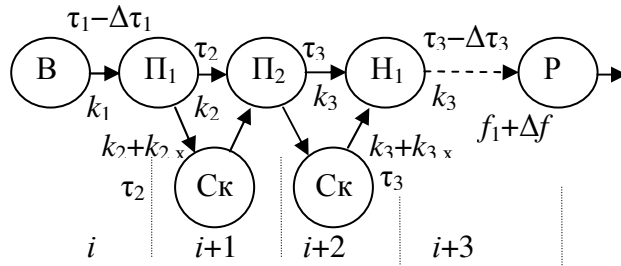


Рисунок 6 – Фрагмент динамічної моделі ТП при збільшенні МП на $\Delta\mu$

Наступна $i+2$ фаза характеризується таким ж імпульсом i , відповідно, необхідністю нового складування та новою затримкою τ_3 . Під час транспортування резервування вантажів є неможливим, тому має відбутися прискорення потоку на величину $\tau_3 - \Delta\tau_3$ використанням додаткових АТЗ. Фронт їх збільшиться на Δf_1 . Отже, в такому ТП пульсація МП витримується так: а) складування продукції/вантажів; б) залучення додаткових засобів. Випадок (а) характеризується затримками МП, (б) – прискореннями МП. Сумарні затримки при додатному $\Delta\mu$ припадають тільки на частину МП. Тому для оцінювання ступеню адаптації ТП до нових умов доцільно використовувати питомі затримки у переміщенні продукції на їх фізичну одиницю:

$$\Delta_k = \frac{\tau_2}{k_{2x}} + \frac{\tau_3}{k_{3x}} - \frac{\Delta\tau_3}{k_3} + \frac{\tau_3}{k_{3x}} + \frac{\tau_4}{k_{4x}}. \quad (12)$$

Якщо $\Delta\mu$ є від'ємним, тобто МП зменшується, то така «хвиля» вздовж ЛЛ вирівнюється тимчасовим зменшенням гурту МЕ: розмірів транспортних і споживчих пакетів, ступенем завантаження АТЗ.

Для отримання необхідної характеристики ТП, при виконання якого відбуваються випадкові зовнішні впливи, був також використаний принцип неперервності потоку. Так якщо початкові ЕЛО характеризуються значеннями вхідних тактів $\tau_{\text{вх},i}$, то усі наступні є функціонально залежними від них. Простий лінійний ЛЛ, який складається, наприклад, з ЕЛО: 1 – виготовлення, 2 – пакування 3 – навантаження і транспортування; 4 – розвантаження і розпакування; 5 – споживання (див. рис. 4), матиме статичні затримки, якщо режими його операцій будуть неузгодженими (не кратними такту). Оскільки параметри сусідніх ЕЛО є залежними, то:

$$\tau_4 = \frac{k_4}{k_3} \tau_3, \quad \tau_2 = \tau_3; \quad \tau_2 = \frac{k_2}{k_1} \tau_1; \quad f_3 = \left[\frac{t_3}{\tau_3} \right] \geq 1; \quad f_1 = f_2 = f_4 = 1. \quad (13)$$

Завдяки чому: $\tau_4 = \frac{k_4}{k_1} \tau_1$. Таким чином, лінійний ЛЛ призводить до лінійної залежності його параметрів. Значення критерію може бути обчислене за формулою:

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^5 (f_i \tau_i - t_i). \quad (14)$$

Сумарні затримки процесу доставки вантажів є статичними, тобто вони повторюватимуться від циклу до циклу, якщо не змінюватиметься інтенсивність МП. Згідно з (16), ці затримки залежать від початкового такту і від величин $k_1 \dots k_4$ (рис. 7).

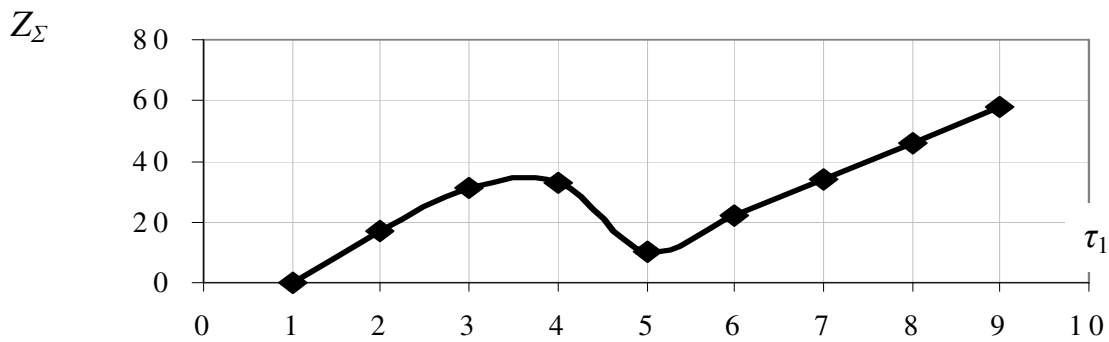


Рисунок 7 – Залежність статичних затримок доставки від такту вхідного потоку

При зміні попиту на постачання продукції вхідний такт ЛЛ зміниться:

$$\tau_1^{j+1} = \tau_1^j \pm \Delta\tau_1, \quad (15)$$

де j – індекс наступної стадії процесу.

Залежно від величини $\Delta\tau_1$ в ЛЛ можуть відбуватись певні зміни, які приводять до динамічних затримок процесу. Ці затримки є також причиною неузгодженості сусідніх ЕЛО, однак вони мають здатність зникати, коли МП в ланцюзі стабілізується. На значення різниці (15) впливає не тільки абсолютна зміна такту $\Delta\tau_1$, а й кількість дискретних періодів, упродовж яких ця зміна відбувається. Отже потрібно визначити таку послідовність величин $\Delta\tau_1^1, \Delta\tau_1^2, \dots, \Delta\tau_1^j, \Delta\tau_1^{j+1}, \dots, \Delta\tau_1^{j+n}$, при яких значення критерію Z_Σ є мінімальним. Для розв'язання такої задачі було використано методику кінцевих різницевих рівнянь. Так сумарну затримку МП при зміні вхідного такту $\Delta\tau_1$ за два кроки може бути записана як різницеве рівняння другого порядку:

$$\Delta^2 Z = Z(\tau_1^{j+2}) - 2Z(\tau_1^{j+1}) + Z(\tau_1^j), \quad (16)$$

яке можна записати у вигляді:

$$Z(\tau_1) = \tau_1 \frac{k_4}{k_2} f_1 + 2 \frac{k_2}{k_1} f_2 \cdot \tau_1 + \tau_1 f_1 - T, \quad (17)$$

де T – сумарна тривалість ЕЛО в ЛЛ, яка не залежить від їх послідовності виконання, та від інших організаційних параметрів. Рівняння (17) можна спростити:

$$Z(\tau_1) = A \cdot \tau_1 - T, \quad (18)$$

Аналогічно можна записати різницеві рівняння вищих порядків, які стосуються більш довготривалого прогнозування. Такі динамічні моделі дають змогу з'ясувати, чи приведе зовнішнє збурення у ТП у вигляді зміни параметрів вхідних потоків до стабілізації, або ж викличе динамічні затримки. Наприклад, якщо загальний розв'язок різницевого рівняння має вигляд:

$$z_j = 2^{0.5j} (C_1 \cos \alpha j + C_2 \sin \beta j) + 1, \quad (19)$$

то його частинний розв'язок залежить від початкових умов, тобто від такту τ_1^1 і від його зміни $\Delta\tau_1^1$. З рис. 8 видно, що процес зміни величини МП на $\Delta\tau_1^1$ приводить до дестабілізації ЛЛ, яка проявляється на 3-6 циклах ТП.

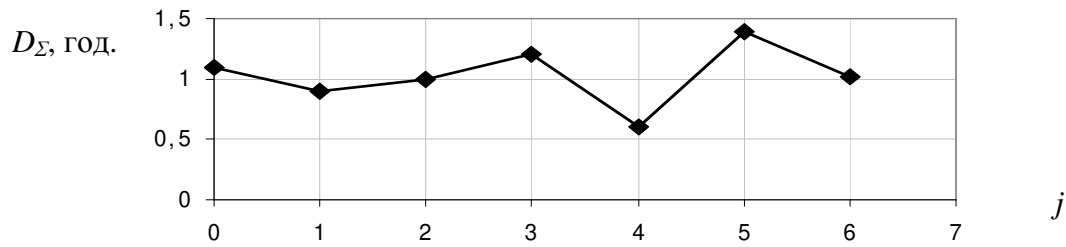


Рисунок 8 – Приклад нестабільного ТП лінійної структури: j – № циклу ТП

В сучасних ТП доступні інформаційні потоки можна умовно поділити на чотири категорії: I_1 – про поточні координати АТЗ, швидкість; I_2 – про транспортні умови; I_3 – про затримки в пункті призначення; I_4 – про дорожні умови. Розглянуто взаємодію потоків інформації. Нехай АТЗ потрібно, завантажившись у пункті A МТМ в момент часу t_0 , доставити вантаж в пункт B і розвантажитись не пізніше моменту t_{11} (рис. 9). Для дотримання оптимальної швидкості руху АТЗ V_{opt} потрібно розв'язати такі задачі: 1) дослідити вплив параметрів інформаційних потоків I_1, I_2, I_3 на вірогідність прийняття оптимальних рішень; 2) встановити граничні моменти надходження повідомлень з врахуванням вірогідності прийняття за ними оптимальних рішень стосовно виконання маршрутних завдань. На першому етапі приймалось, що екіпаж має мінімальний доступний обсяг інформації I_3 , а I_1 та I_2 подається трьома способами: 1) на початку руху, одноразово, в повному доступному обсязі; 2) під час руху, у крайній щодо ефективності прийнятого рішення момент, в повному обсязі; 3) під час руху, багатократно, рівними обсягами через однакові інтервали часу.

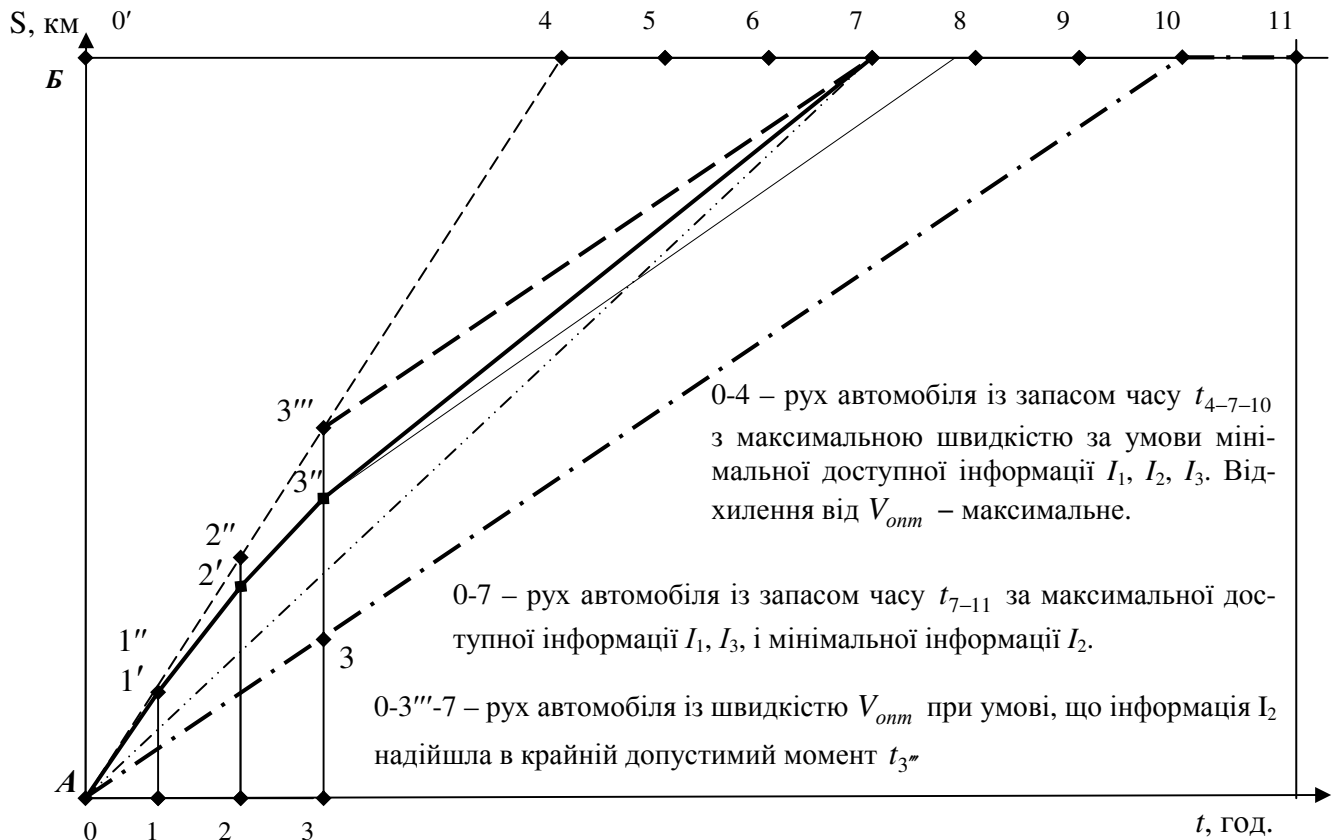


Рисунок 9 – Графіки руху АТЗ за наявності максимальної доступної інформації I_3 і різних способах отримання інформації I_2

На другому етапі приймалося, що інформація I_1, I_2, I_3 надходить до екіпажу АТЗ синхронно: з однаковим обсягом за однакові інтервали часу. При фактичній наявності лише одного інформаційного потоку I_2 запас часу для виконання транспортного завдання Δt_{i2} – максимальний, а тому екіпаж АТЗ зорієнтований на момент прибуття в пункт $B - t_7$. Максимальне сумарне відхилення від оптимальної програми руху буде тоді, коли максимальна доступна інформація I_2 буде подана на початку руху t_0 .

У **четвертому розділі** «Методологія організації оптимального транспортного процесу» наведено загальну характеристику задач оптимізації ТП. Організація дискретного процесу, яким є ТП, розглядалось як координація і часове впорядкування дій суб'єктів процесу (АТЗ, екіпажів АТЗ, диспетчерів, логістів, експедиторів) з використанням системи обробки інформації. Зміст координації полягає у встановленні часових і технічних регламентів виконання замовлень на доставку вантажів. Ці регламенти формуються під впливом загальних принципів і правил, які називають стратегією підприємств. З іншого боку, враховуючи зміну умов виконання замовлень, автомобільні перевізники корегують стратегії під впливом оперативних задач. У роботі розглядалися задачі оперативного планування ТП, які можна поділити на чотири класи за методологією їх розв'язування: 1) часове впорядкування дій суб'єктів ТП на МТМ в цілому; 2) координація дій суб'єктів ТП у транспортних пунктах; 3) розподіл завдань між суб'єктами ТП на МТМ; 4) контроль швидкості й графіку руху АТЗ по магістральних сполученнях. До першого класу відносяться такі задачі, як побудова розкладів сукупності АТЗ, оптимізація циклічних планів перевезення, оптимізація планів перевезення унітарних вантажів із заданими часовими вікнами, та циклічних планів перевезення збірних вантажів.

Запропонована методика побудови спільного циклічного унітарного розкладу групи АТЗ з часовими вікнами дає наближений розв'язок з достатньою точністю оцінки відхилення за прийнятний час для малих масивів даних (до 30 замовлень), які оперативно поновлюються. Головним критерієм для перевізника, переважно, є максимальний пробіг з вантажем впродовж заданого періоду (горизонту планування). Може бути сформульована й умова про те, що кожен готовий гурт вантажів не може бути перевезено частинами. Прийнято також, що $Q_{i,j} \leq q_k$, де q_k – номінальна вантажність k -го АТЗ для будь-якого $k=1, \dots, m$. Це означає, що усі з наявних АТЗ можуть обслуговувати лише одне замовлення за одну їзду водночас. Для його розроблення використано метод впорядкування змішаних часових графів, вершини яких відображають моменти завершення замовлень з множини P , а ребра та дуги – часові зв'язки. Запропонований алгоритм базується на методі «гілок і меж». Тривалість виконання будь-якого p -го замовлення $t_{o,p}$ шукається як довжина критичного шляху від фіктивної вершини 1 до фіктивної вершини 6, який проходить через p -ту вершину часового графа (рис. 10). Потовщеними стрілками показані дуги на результуючих графах, які входять до критичного шляху, тобто такі, за якими обчислюються моменти ранніх закінчень виконання замовлень $t_{o,p}$. Як видно з результатів, усі директивні терміни тестової моделі дотримано. Це стосується і загальної тривалості циклу – 26 год. і часу завершення окремих замовлень. Розглянуто задачу формування інтегрованої системи доставки для множини збірних вантажів. Математична модель формування інтегрованої схеми доставки дала змогу, з одного боку, однозначно проектувати маршрут доставки для кожного вантажного гурту, з іншого боку – врахувати

можливість сумісного переміщення вантажних гуртів по шляхах сполучення з метою зниження загальносистемних витрат.

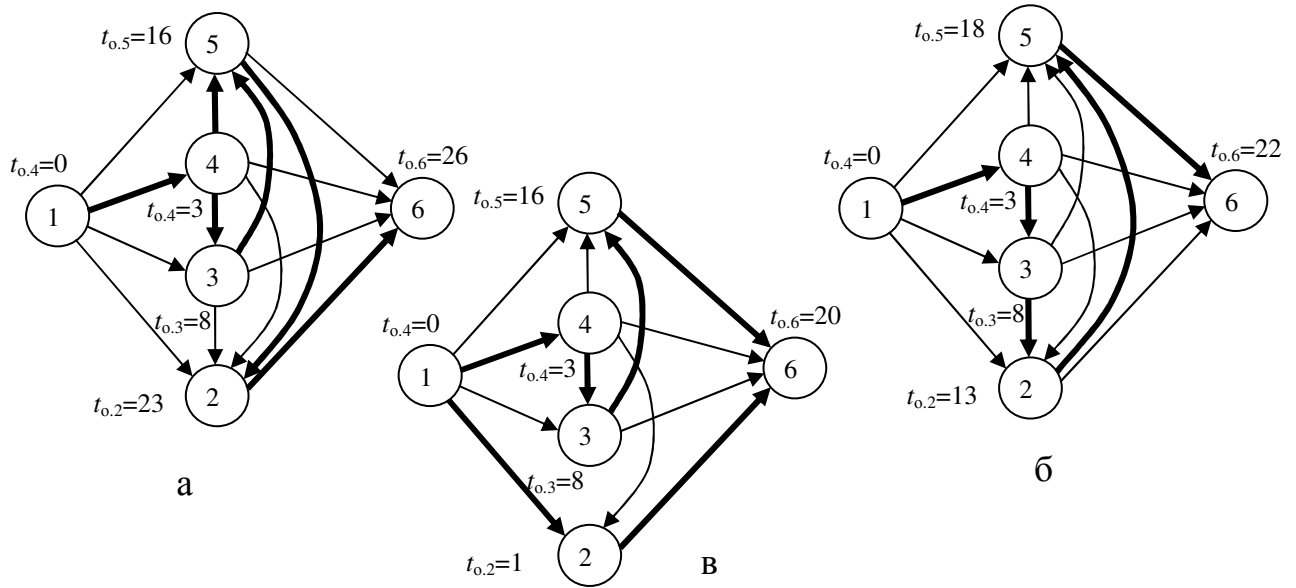


Рисунок 10 – Приклад впорядкування початкового графа:

- а) при відсутності обмежень на директивні терміни виконання замовлень, кількість автомобілів $m=1$;
- б) при наявності обмежень на директивні терміни виконання замовлень, кількість автомобілів $m=1$;
- в) при наявності обмежень на директивні терміни виконання замовлень, кількість автомобілів $m=2$.

Така модель об'єднує обмеження, які стосуються оптимізації потоків окремих гуртів вантажів, що розв'язувались методом пошуку найкоротших ланцюгів між двома заданими вершинами графа заданої МТМ. Задачу з таким фізичним змістом подано у вигляді графа, а розв'язання – як операції пошуку шляхів у ньому. Кожен вантажопотік Q_{ij} – величина, яка складається з елементарних кореспонденцій:

$$Q_{i,j} = \sum_{m=1}^K q_{i,j,m}, \quad (20)$$

де $q_{i,j,m}$ – складова ваги дуги V графа A , $K = \left\lceil \frac{Q_{i,j}}{q_n} \right\rceil$, q_n – величина, яка обмежує елементарний вантажопотік. Приклад такого графа – на рис. 11. Однією з особливостей даної моделі є те, що вершини-джерела можуть бути, одночасно, вершинами-поглиначами. Розподіл парку АТЗ по завданнях, які ще не сформульовані, але є задані їх складники, на МТМ, має зміст такої задачі впорядкування. Змінна x_{ij} – кількість їздок, які автомобіль з вантажністю q_n повинен зробити від i -го до j -го пункту, $x_{i,j} = \{0, 1, 2, \dots\}$, за наперед заданий час τ_{ij} – такт циклічного ТП, виконуючи перевезення q_{ij} . При цьому обидва пункти можуть бути транзитними. Розв'язок лінійної моделі – перший етап задачі, оскільки визначення кількості поїздок x_{ij} ще не означає їх часову впорядкованість.

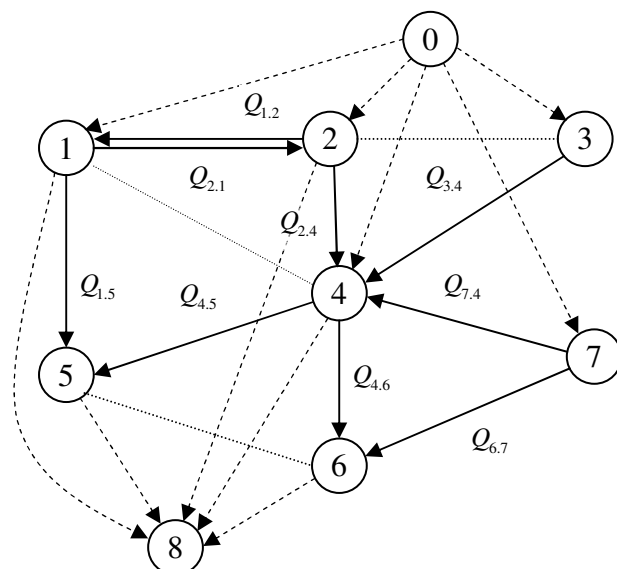


Рисунок 11 – Початковий граф МТМ з потенційними вантажопотоками

- – потенційний вантажопотік;
- – шлях сполучення без вантажопотоку;
- > – зв'язки з вершинами-джерелами і поглиначами

Формується лінійна модель. Критерій – мінімальна загальна тривалість їздок:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} t_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min . \quad (21)$$

Приклад впорядкування графа A , що на рис. 1, при $R=2$, подано на рис. 12. Граф оптимальних пробігів, що отримано в результаті розв'язання задачі лінійного програмування, містить цикли. Цикли відображаються ребрами – маятниковими маршрутами, або ж складаються із замкнених контурів. Для впорядкування графа і пошуку критичного шляху запропоновано методика, яка передбачає два додаткові перетворення: 1) перехід від кратних дуг (ребер) до кратних вершин похідного графа з циклами (рис 12, а); 2) синтез графа подій з графа станів, без циклів (рис.12, б).

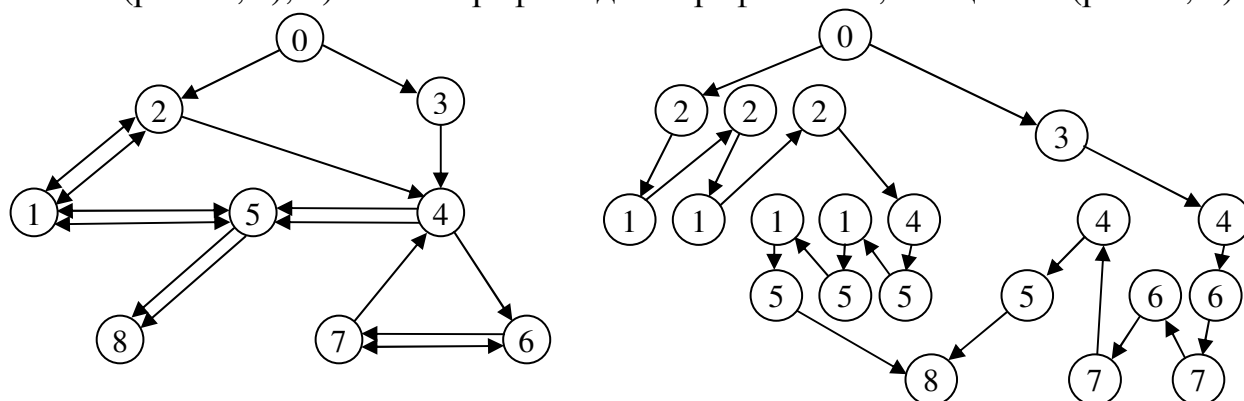


Рисунок 12 – Графи оптимальних їздок 2-х АТЗ: а) з циклами; б) без циклів

Граф на рис. 13, б однозначно відображає *оптимальний розклад* їздок автомобілів при умові виконання усього запланованого обсягу перевезень зі збірними вантажами. Очевидно, що розв'язана таким чином задача не дає рівності тривалості робо-

ти усіх АТЗ. Але її наближення за виразом (21) є досягнуто. Залежність цих тривалостей від кількості задіяних АТЗ показано на рис. 13.

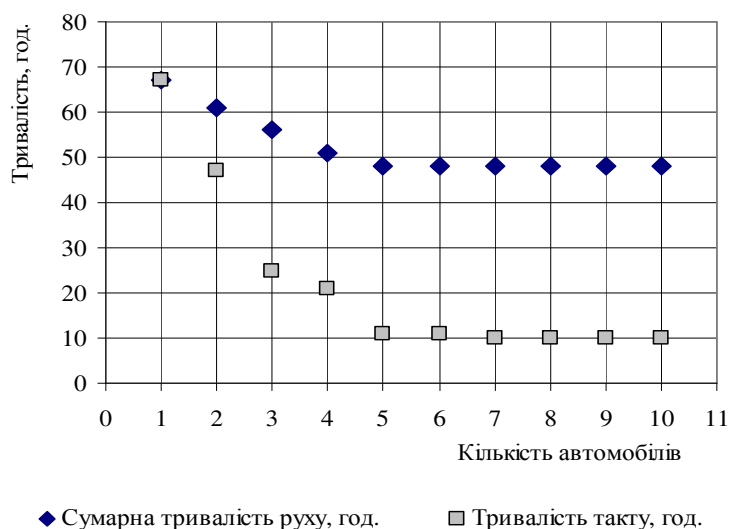


Рисунок 13 – Залежність тривалості їздки та такту циклічного ТП від кількості задіяних АТЗ

З рис. 14 видно, що найменш ефективно за часом виконується ТП, при якому усі вантажі перевозяться одним автомобілем. При залученні додаткових АТЗ сумарна тривалість їх руху скорочується до певної межі (на рис. 13 – до п'яти автомобілів). Залучення додаткових АТЗ понад 5 не дає пропорційного результату.

Задача планування ТП доставки унітарних вантажів має деякі особливості, які полягають у тому, що транспортні цикли кожного АТЗ включає лише два пункти. Кожне замовлення має такі характеристики: момент часу eb_i , не раніше якого воно має бути розпочинатись виконуватись у пункті i , дозволений інтервал $eb_i + \Delta_i$, впродовж якого виконання має бути розпочато. Після цього настає момент ef_i , після якого замовлення вже не можна виконати через неготовність i -го пункту відправлення. Ця задача також розв'язана методами лінійного програмування. На рис. 14 показано приклад змін в структурі загального ТП для випадку, коли задіяно $R=5$ АТЗ. Кожна схема – це є підграф загального графа невпорядкованих зв'язків.

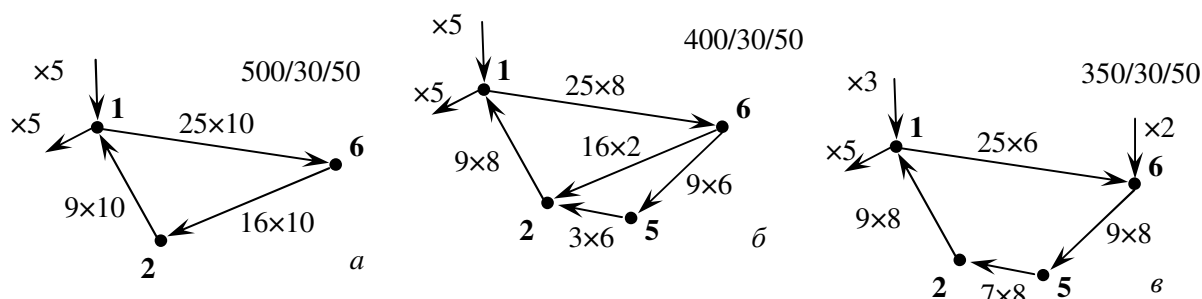


Рисунок 14 – Моделювання зміни структури транспортних циклів під впливом обмеження на сумарну тривалість виконання замовлень

Вершини графів – це є транспортні пункти $g_1 \dots g_6$, а дуги – це є циклічні потоки АТЗ з вантажами. Над кожною дугою вказано її вага – $\bar{t}_{i,j} \times z_{i,j}$. Як видно зі схеми, усі її операції є синхронними, що забезпечує мінімум простоїв транспорту в очіку-

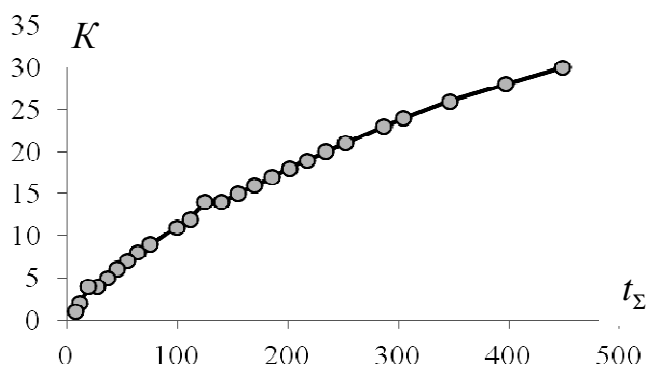


Рисунок 15 – Залежність сумарної кількості виконаних замовлень від дозволеної тривалості (часового вікна) циклічного ТП

кількість замовлень, які можуть стосуватись одного транспортного пункту. Доставка вантажів на МТМ задається з певним резервуванням на невизначеність. Однак, чимало зовнішніх чинників є випадковими і можуть порушувати ці допуски. Врахування, або ігнорування цих факторів і внесення змін у попередній розклад може знизити ефективність перевезень. Динамічна маршрутизація, методика якої запропонована в роботі, полягає в тому, що впродовж деякого періоду W – горизонту планування, зроблено прогноз замовлень на перевезення вантажів на заданій МТМ. Застосовано групування замовлень, яке виконується на основі попередньо запропонованої класифікації на основі декількох ознак, окремі з них є більш суттєвими для впорядкування часової графічної моделі ТП. Найкращим є поділ замовлень за сумісністю: замовлення Z_1 і Z_2 бувають цілком сумісні, частково сумісні й несумісні. Використовуючи ознаки сумісності, можна ще на стадії складання початкового розкладу (рис.16) згрупувати замовлення в такі, які будуть виконуватись в одному потоці. Якщо порівняти отриману на рис. 17 модель з початковою на рис. 16, то можемо помітити повну сумісність замовлень 4-3 і 3-5, а також несумісність замовлень 2-3 і 3-2.

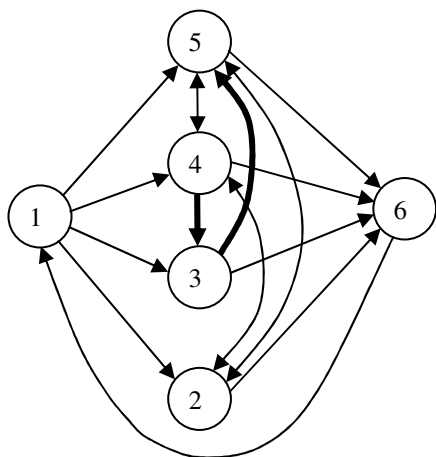


Рисунок 16 – Модель для складання розкладу із відміченими відношеннями повної сумісності замовлень (суцільна потовщена стрілка)

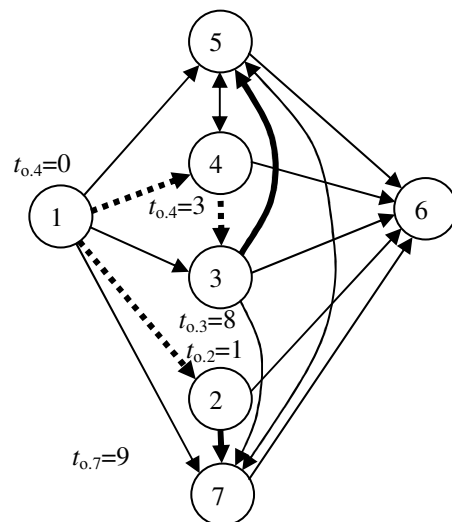


Рисунок 17 – Модель для коригування розкладу виконання замовлень після надходження незапланованого замовлення 7, кількість АТЗ – 2

ванні готовності відправки. На рис. 15 показано залежність максимальної кількості замовлень K , які можуть виконати АТЗ у циклічному ТП від часового вікна. Максимальна кількість замовлень, яку можуть виконати АТЗ, асимптотично наближається до максимально можливого значення при розширенні обмежень на сумарну тривалість перевезень.

Подібні дослідження проведено і з додатковими обмеженнями на кіль-

Таке групування значно спростило оптимізацію побудови розкладу і привело до того ж результату, що й на рис. 10. Наприклад, при фактичній кількості 36 планових і 16 незапланованих замовлень застосування розробленого алгоритму динамічної маршрутизації з класифікацією дає до 44% зниження простою усіх АТЗ, які були задіяні в ТП. При меншому плановому горизонті $W=120$ годин кількість фактично виконаних запланованих замовлень становить 32, а незапланованих – 14. Зменшення планового горизонту не впливає суттєво на якість розкладу.

У п'ятому розділі «Організація та контроль розподілу матеріальних потоків у транспортних вузлах» подано методику впорядкування вантажопотоків й автомобілепотоків у вузлах та терміналах МТМ. Головна увага приділена контейнерним і пакетним технологіям, як способам регулювання параметрів вихідних МП та підвищення ефективності вантажних перевезень. Також досліджено централізований контроль за транспортними процесами, який здійснюється в логістичному центрі (ЛЦ).

Вузлами МТМ є транспортні пункти, де перетинаються матеріальні потоки, а також відбуваються виробничі процеси, або їх частини. Пульсація вхідного потоку є основною причиною утворення черг та затримок, або ж навіть втрати вантажу. Через неї вузли завантажені нерівномірно, що спричинює понаднормові витрати ресурсів. Потрібно виконати комбіноване вирівнювання пульсацій – часом, і/або обсягом. Але при такому вирівнюванні ускладнюється маршрутизація по загальній МТМ, а на практиці навіть губиться кінцевий адресат доставки. Уникнути цього можна, попередньо визначивши необхідний зміст та напрям інформаційних потоків. Для цього застосовано аналоги систем керування комп'ютерною мережею передачі даних. Згідно з цими аналогами, інформаційна система, що використовується на МТМ, повинна бути багаторівневою, базуватись на повідомленнях з матеріальних носіїв (АТЗ, контейнери, транспортні пакети, гурти пакетів), дискретною за часом, а її такт має підпорядковуватись такту МП в МТМ. Для того, щоб визначити необхідний зміст та напрям інформаційних потоків зроблено оптимізацію розподілу вантажопотоків, при мінімальних сумарних затримках переміщення вантажів, та максимальній надійності відправки з вузла. Розроблено модель МТМ, яка складається з контейнерних і/або пакетних транспортних вузлів. У кожному x вузлі в момент часу t_i є готові до відправлення у вузол y транспортні пакети, кількість яких визначається:

$$K_i^{x-y} = (k_i^{z-y} \cup k_i^{x-y}) \setminus k_i^{z-x}, \quad (22)$$

де k_i^{z-x} – множина пакетів, які доставлено у вузол x з вузла z до моменту t_i та повинні бути відправлені у вузол y ; k_i^{x-y} – множина пакетів, які виготовлені у вузлі x та призначені для відправлення у вузол y ; k_i^{z-x} – множина пакетів, які прибули з вузла z у вузол x за призначенням. Приймалось, що величина k_i , – кількість пакетів в одному гурті – змінна. Тобто розмір гурту вантажів можна змінювати, незалежно від його виду (пакетні чи контейнерні відправлення) та маршруту. Пакети, що описуються виразом (22), можуть бути відправлені з вузла y дискретні моменти часу, які залежать від напрямків з різним тактом. Незалежними, наперед заданими вважались тільки відправки пакетів з вузлів, які є їх виробниками. У задачі наперед не встановлено пріоритетів відправлення пакетів. На момент часу t_i у кожному вузлі відомі можливі маршрути доставки гуртів пакетів. Місткість x -го вузла – змінна величина

S_x . Пропускна здатність шляхів сполучення – постійна, скінчена – a_{xw}^{\max} . Завантаження дороги між будь-якими двома вузлами x та w визначається за кількістю транспортних пакетів на одиницю її довжини та інтервалом їх слідування:

$$a_{xw} = \frac{L_{xw}}{\tau_{x-w}} \cdot \frac{k_f}{\tau_{x-w}} = \frac{\sum k}{\tau_{x-w}} = \frac{kL_{xw}}{\tau_{x-w}^2}, \quad (23)$$

де k_f – загальна кількість пакетів, які знаходяться вздовж усього фронту дороги $x-w$; τ_{x-w} – такт випуску і слідування пакетів, приймався кратним тривалості руху на маршруті. У задачі потрібно: 1) вибрати числові значення тактів відправлень вантажів (крім виготовлення); 2) вибрати, або оперативно змінити маршрут транспортування пакетів до вузла призначення; 3) вибрати мінімальну необхідну місткість кожного транспортного вузла. Критерій – середня тривалість доставки одного пакету:

$$T_o = \frac{t_i - t_j}{\sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^N (k_i^{y-x} - k_j^{y-x}) - \sum_{z=1}^N \sum_{x=1}^N (k_i^{z-y} - k_j^{z-y})}, \quad (24)$$

де t_i, t_j – моменти, відповідно, початку і закінчення відліку часу для обчислення критерію; вибирались так, щоб значення виразу (24) не перетворювалось у невизначеність; якщо ж все-таки таке відбувається, то це означає, що МТМ є перенасиченою і не може виконувати свої функції. Знаменник виразу (24) – це кількість пакетів, які за час $t_i - t_j$ були відправлені з вузла y (перший член) та доставлені за призначенням у вузол z (другий член); N – кількість вузлів у МТМ. Оскільки вирази (23) і (24) – суперечні, то задача має оптимізаційний характер. Застосовувався метод «гілок і меж» з послідовним наближенням до нижньої оцінки із скінченою кількістю ітерацій.

Оптимізація вантажопотоків на МТМ є багатоваріантною нелінійною за характером: числове значення критерію та обмеження залежить від взаємозалежних змінних. Запропонована декомпозиція загальної задачі на простіші, складання загального розв'язку з часткових, і оцінювання ймовірних похибок такого підходу. Критерій побудови злагодженого ТП у вузлі – найменші сумарні затримки у ній, запишемо:

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_i \Delta_{n,i}^1 + \sum_i \Delta_{n,i}^2 + \sum_j \Delta_{m,j}. \quad (25)$$

Якщо на кожен фіксований j -й маршрут відправляти лише автомобілі вантажністю k_i з одного поста без черги, то такт відправлення τ_i лише за деяких значень k_i відповідатиме такту роботи АТЗ на маршруті τ_i без затримок (рис. 18). Узгодження вантажопотоків і автомобіле-потоків у транспортному вузлі МТМ виконувалось так. Задано вагові і розмірні параметри автопоїзда. Також відомі стандартні розміри транспортних пакетів, які можна завантажити в одну збірну відправку автопоїзда $B_i \times W_i$, де i – номер типу транспортного пакета. Транспортні пакети q_i надходять на завантаження потоком зі змінним тактом τ_i . Такт прибуття автомобілів під навантаження – τ_j . Фронт автомобілів, готових до завантаження – f_j . Потрібно розробити такі схеми завантаження АТЗ, які прибувають до транспортного пункту, які б забезпечували максимальне використання їх дозволеної повної маси G_a та вантажності Q_i при дотриманні чинних вагових обмежень для АТЗ. Задача розв'язана за три етапи. На першому етапі розглядалась індивідуальна схема навантаження для автопоїзда з

конкретними заданими розмірними і ваговими параметрами. На рис. 19 показано, що координата x є досить вагомим чинником, який визначає навантаження АТЗ.

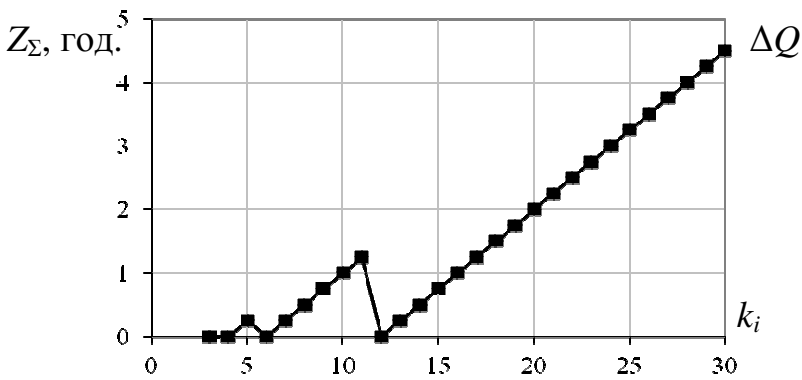


Рисунок 18 – Залежність сумарних затримок ТП на одному маршруті через пост вузлового пункту МТМ за наявності АТЗ вантажності k_i

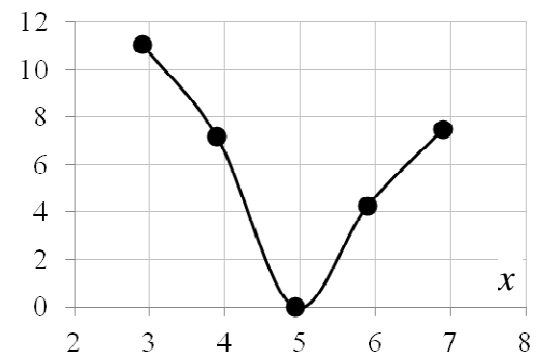


Рисунок 19 – Залежність недовантаження АТЗ від розташування центра мас

Відхилення його від оптимального значення (на рис.19 – 4,93 м) на 1 м в будь-який бік приводить до недовантаження ΔQ понад 4 т вантажу. Другий етап – оптимізація розподілу вантажів по усьому простору напівпричепа, враховуючи наявні транспортні пакети. Третій етап – це ІМ роботи пункту як розподільчого вузла, у якому вхідні вантажопотоки спочатку зливаються, а потім розподіляються по напрямках відправлення, та за розміром транспортних пакетів q_i . Так можна забезпечити ТТС потрібними за вагою і розмірами пакетами. Інтеграція виробництва, а також логістичних і транспортних процесів призвела до утворення і успішного функціонування логістичних центрів (ЛЦ). У ЛЦ має місце синергетичний ефект, який був досліджений і описаний в даному розділі. Для дослідження декількох ЛЛ, які інтегровані в ЛЦ, використано дискретно-подійне моделювання, що відображає ма-

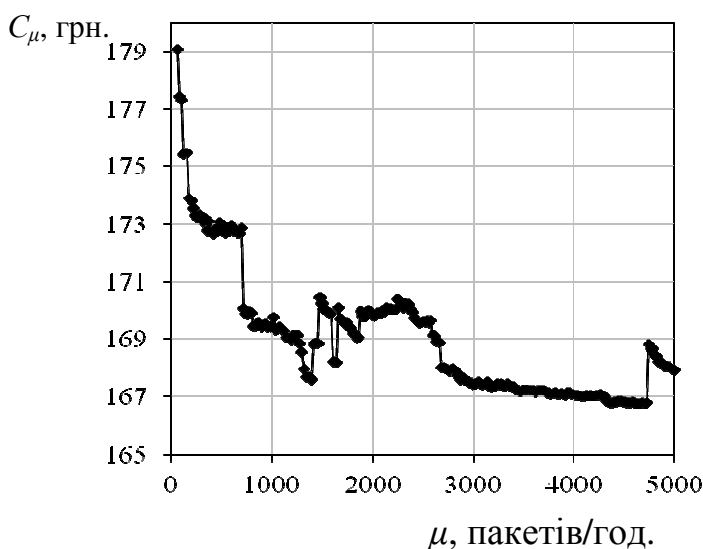


Рисунок 20 – Залежність сукупних логістичних витрат від інтенсивності матеріальних потоків ЛЦ

теріальні та інформаційні потоки. Було знайдено залежності показників ефективності функціонування ЛЦ, як от, сукупних логістичних витрат (рис. 20). Залежності є кусково-неперервні. На кожній неперервній ділянці діє одна ТТС. Побудовано параметричний ряд оптимальних за логістичними витратами ТТС при дотриманні заданих термінів доставки.

У шостому розділі «Організація руху автопоїздів на магістральних дорогах за заданою програмою» виконано аналіз, моделювання й експериментальну перевірку теоретичних моделей транспортних потоків на автомобільних магістралях. Розроблено мето-

дику і отримано результати вимірювання і застосування відносної швидкості, як ознаки для прогнозування, оптимізації і контролю програми руху АТЗ при виконанні міжміських вантажних перевезень за системою «точно в термін».

При виконанні міжміських перевезень вантажів АТЗ повинен рухатись з такою середньою швидкістю по заданому маршруту, яка б уможливила прибуття в пункт призначення в межах заданого часового вікна, враховуючи час відправлення. Таку середню швидкість назовемо *бажаною* за розкладом вантажних перевезень V_{des} . Якщо для кожного i -го АТЗ, що рухається між перерізами l_1 та l_2 , є відома бажана програма руху, тобто залежність $V_i^{\sigma}(x)$, то прийняті критерії ефективності організації транспортних магістральних потоків є:

- сумарні затримки n АТЗ:

$$\sum_{i=1}^n \left(\int_{l_1}^{l_2} |V_i(x) - V_i^{\sigma}(x)| dx \right) \rightarrow \min, \quad (26)$$

- міра рівномірності руху n АТЗ

$$\sum_{i=1}^n \int_{l_1}^{l_2} |j_i(x)| dx \rightarrow \min, \quad (27)$$

де n залежить від вибраного інтервалу магістралі $[l_1; l_2]$; $V_i(x)$ – вимушена середня швидкість i -го АТЗ; $j_i(x)$ – прискорення/сповільнення i -го АТЗ.

На даний час відомі системи «внутрішнього» і «зовнішнього» контролю швидкості транспортного засобу. Якщо використовувати тільки «зовнішній» контроль, то виконуватиметься критерій (27), тобто потік стане рівномірнішим за швидкостями окремих АТЗ. Проте бажані програми руху певної частини автомобілів не дотримуються. Таким чином, критерій (26) не реалізовується. Якщо контроль швидкості виконують лише «внутрішні» автомобільні бортові системи, які не взаємодіють з довіллям, то спостерігатиметься протилежна ситуація: АТЗ будуть ближчими кожен до своєї бажаної програми, намагаючись досягнути критерію (26). Така суперечність може бути розв'язана, якщо сформулювати об'єктивні умови і обґрунтувати напрямки реалізації комплексної організації транспортного потоку. Після аналізу можливих випадків прискорення / сповільнення, було розроблено алгоритм керування транспортним потоком залежно від таких функцій: збурення – дистанції між автомобілями – Y ; задаючої – бажаної програми руху $V_i^{\sigma}(t)$; відхилення – оцінки власної швидкості $V_i(t)$. Функція мети – прискорення, або сповільнення:

$$j_i(t) = F(Y, V_i^{\sigma}, V_i, t), \quad i = 1 \dots s \quad (28)$$

де F – нелінійна, екстремально-адаптивна функція. На основі цієї функції розроблено три варіанти моделі автоматизованої системи керування (АСК) транспортними потоками. Передбачалось, що система повинна розробити прогноз власного прискорення/сповільнення $j_i(t)$, водночас мінімізуючи його за виразом (28), а також дотримуватись наперед передбаченої програми руху, адаптуючи її до реальних транспортних умов, що склались. Найбільшої уваги приділено АСК, яка запропонована на основі того, що об'єктами її є, крім групи автомобілів, які обмінюються повідомленнями, ще й об'єкти інфраструктури, – маяки магістралі, що сприймають, за-

пам'ятовують та передають інформацію черговій групі автомобілів, які до них наближаються (рис. 21). Вона функціонує як комплексна автоматична система керування (КАСК). Група автомобілів $A_1 + A_2 + \dots + A_i$, отримавши вектор вхідних сигналів від власних бортових систем, опрацювавши їх, та вибравши за допомогою КАСК₁ адекватні режими руху, передає отриману інформацію найближчому стаціонарному дорожньому об'єкту – маяку Д.

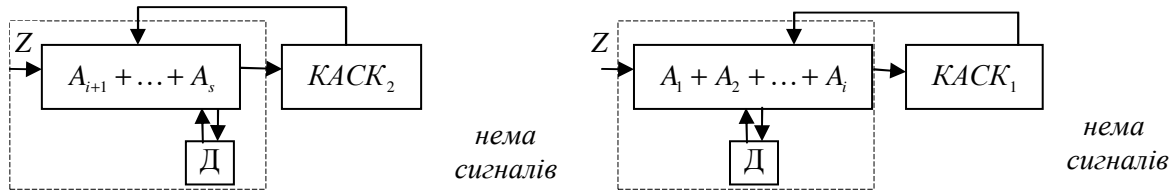


Рисунок 21 – Схема комплексної динамічної автоматизованої системи керування: Д – нерухомий дорожній об'єкт – маяк

Маяк Д, водночас, передає у КАСК₁ ту інформацію, яка набута ним від попередньої групи автомобілів. Коли група автомобілів $A_{i+1} + \dots + A_s$ після такої часової прогалини (відсутності сигналів) порівнюється з маяком Д, то може обмінятися з ним інформацією. Таким чином, нерухомі дорожні об'єкти по чергово стають елементами КАСК_i, а розриву інформаційних потоків немає. Було встановлено також пряму залежність якості керування КАСК від щільності транспортного потоку.

Для вибору контрольних параметрів руху АТЗ на магістральній міжміській дорозі було виконано ряд експериментів на ІМ, якою є модифікований клітковий автомат з двох-направленим рухом АТЗ. Ставилась мета виявити залежність дійсної швидкості АТЗ від параметрів транспортного потоку. Розроблено новий клітковий автомат, який є ковзним вікном з початком відліку, яким є автомобіль-спостерігач. Виконано приклад моделювання руху автомобіля на різних трасах державного та міжнародного значення. Виявлено квадратичні кореляційні залежності вимушеної зміни бажаної швидкості автомобіля-спостерігача від середньої зміни швидкостей автомобілів потоку (рис. 22).

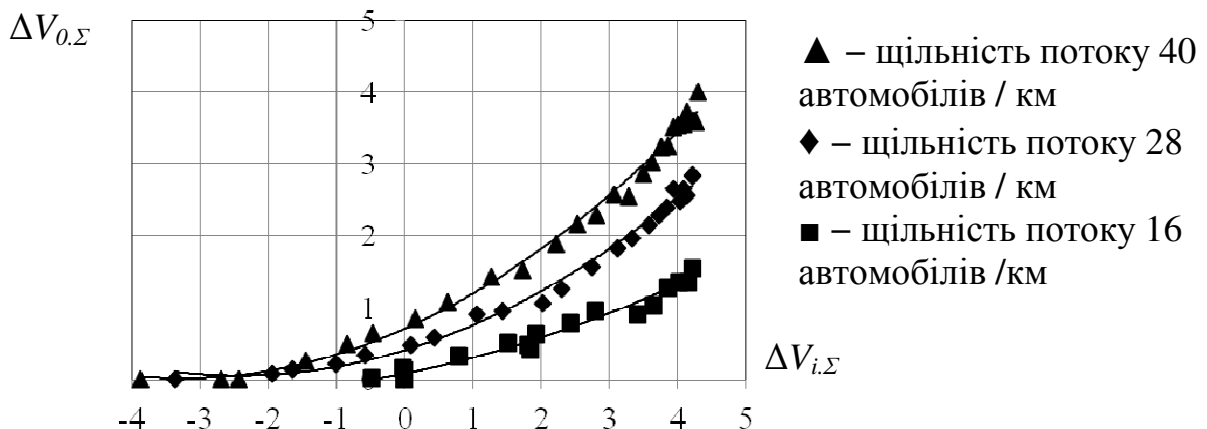


Рисунок 22 – Експериментальні результати моделювання зміни швидкості АС залежно від зміни параметрів потоку, та теоретична апроксимація

Ступінь узгодження теоретичної залежності з емпіричними даними є дуже високий. На основі отриманих залежностей було обґрунтовано вибір прямого діагнос-

тичного параметра транспортного потоку. Отримані результати для різних аргументів ΔV_{av} приводять до зміни дійсної швидкості АС по відношенню до його запланованої швидкості. Для того, щоб обґрунтувати вибір необхідного горизонту прогнозування W швидкості, розглядався рух АТЗ по магістральних дорогах міжміського маршруту. Задано початковий і кінцевий пункти маршруту. Відома довжина їздки L_{max} . Поточна швидкість V АТЗ змінюється залежно від дорожніх і транспортних умов. Припускалось, що дорожні умови, тобто рельєф, план і профіль траси, стан дорожнього покриття, є відомі. Такі умови для заданого АТЗ можна описати програмою вільного руху $V_i(x)$ – швидкістю, що змінюється по довжині маршруту $x=[1, L_{max}]$. Оптимальною в даному випадку назвемо програму руху, яка забезпечує найменші затримки в розкладі АТЗ, при дотриманні мінімальних відхилень від $V_i(x)$. За програмою $V_i(x)$ розраховуються моменти часу оптимального розкладу руху АТЗ $0 < t_i < T_x$, де T_x – оптимальний час прибуття в кінцевий пункт маршруту. Орієнтуючись на цей розклад, вибираємо час відправлення з початкового пункту маршруту, щоб саме вчасно прибути в кінцевий пункт. Таким чином, швидкість $V_{max}(x)$ є обмеженням у застосуванні оптимальної програми руху і дотримання відповідного графіка, якщо $V_{max}(x) < V_i(x)$. Вибір швидкостей здійснюється в межах W . При цьому дійсна інформація про обмеження швидкостей може бути спотворена. Для вирішення поставленої задачі, а також для дослідження впливу горизонту прогнозування на вибір швидкості АТЗ розроблено і застосовано методику й відповідний алгоритм ІМ. Застосовано показники: абсолютне сумарне відхилення від оптимальної програми DV , та відхилення від розкладу поїздки ΔT .

$$DV = \sum_{x=1}^{L_{max}} \sqrt{(V(x) - V_i(x))^2}. \quad (29)$$

$$\Delta T = t(L_{max}) - T_{max}, \quad (30)$$

де $t(L_{max})$ – тривалість проходження останньої ділянки маршруту. В результаті ІМ було отримано залежності $DV(W)$, $\Delta T(W)$ (рис. 23, а, б).

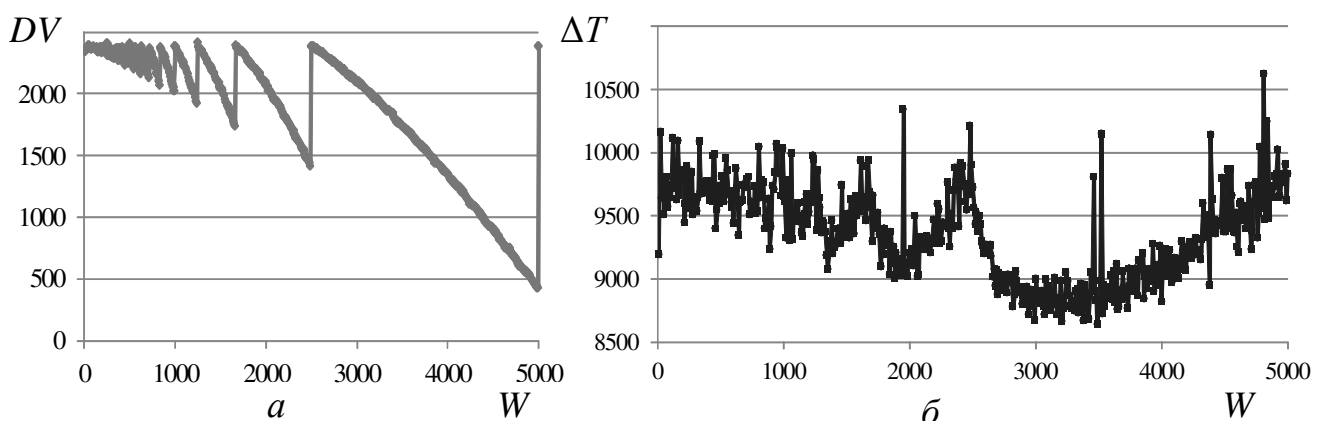


Рисунок 23 – Залежність сумарного відхилення: а) програми руху; б) оптимального розкладу від горизонту прогнозування W

Залежності DV від W мають кусково-неперервний характер. На міжміських сполученнях відстань з відомими дорожніми умовами W є значно меншою, ніж довжина маршруту автомобіля L_m , тому кінцевий час T циклу є невідомим. Маршрут можна поділити на ділянки так, щоб загальна програма руху на магістралі $u(x)$, $x =$

0... L_m , що складається з часткових оптимальних програм $u(x_j)$, $j=x_{j,0} \dots L_j$, була також оптимальною. Розв'язана задача оптимізації функції $u(t)$ контролю руху автопоїзда по магістралі. Критерій – мінімальне вимушене зниження швидкості руху АТЗ, яке приводить до затримок в розкладі. На відміну від відомих організації руху автопоїздів по магістралях, припускалось, що в АТЗ не застосовується вимушене зниження швидкості порівняно з $V_i(x)$, тобто не застосовується гальмування. У той ж час зниження швидкості відбувається за рахунок втрат на опір руху. Але воно є можливе, якщо відомі дорожні і транспортні умови на достатній для реалізації функції $u(t)$ горизонт прогнозування W . Введемо змінні: $x_1(t)=x(t)$, $x_2(t)=\dot{x}(t)$, де x – координата маршруту. Функція мети:

$$E = \int_{t_0}^T u(t) x_2 dt \rightarrow \min, \quad (31)$$

де t_0, T – відповідно, початковий і кінцевий момент транспортного циклу.

Система спряжених рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{x}_2(t) = u(t) - f_o - f_w x_2^2 \\ x_2(t) = \dot{x}_1(t) \end{cases}, \quad (32)$$

де f_o, f_w – коефіцієнти, відповідно, дорожнього опору і опору повітря.

Потрібно знайти фазову траєкторію $x_2 = F(x_1(t))$, а також програму керування $u(t)$ з обмеженнями: $x_1(t_0)=0$; $x_2(t_0)=V_0$ – лівий кінець фазової траєкторії є закріплений; $x_1(T) \geq S$ – впливає з умов дотримання розкладу руху, тобто, якщо на будь-якій ділянці довжиною S граничний час її проходження не витримується, то розклад є недотриманий в цілому; $x_2(t) \leq V_{\max}$ – обмеження максимальної швидкості з умов безпеки руху; $u(t) \leq u_{\max}$ – обмеження за потужністю транспортного засобу. В цій задачі правий кінець фазової траєкторії – рухомий. Крім того, система рівнянь (32) є нелінійною і може не мати стійких розв'язків. Тому застосовано редукцію початкової задачі (31), (32) до кінцево-вимірної задачі математичного програмування, використовуючи принцип максимуму Понтрягіна. Приклад оптимальної фазової траєкторії показана на рис. 24. Теоретичну модель перевірено експериментально на магістралі. В експериментах задіяно автомобіль DAF XF 105, вимірювальну апаратуру для визначення швидкості й координат (GPS навігатор + відео реєстратор + цифровий тахограф), електронний хронограф часу руху.

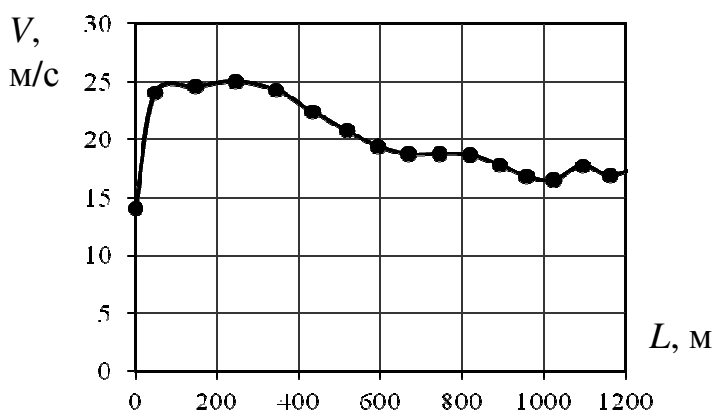


Рисунок 24 – Оптимальна фазова траєкторія

Дослідження проводились на горизонтальній й на горбистій ділянках автомагістралі з відомими дорожніми умовами. Як видно з рис. 24, оптимальне керування автомобілем відбувається в імпульсному режимі (розгін-вільне кочення-розгін) на горизонтальних ділянках магістралі та на під'їзді до підйому. Швидкість руху автомобіля коливається в межах

15,9...16 м/с. На пагорбі автомобіль рухатиметься за імпульсним циклом з обмеженням: розгін-рух з постійною швидкістю-вільне кочення. Тут швидкість його не зазнає значних коливань. Далі, на горизонтальній ділянці автомобіль знову має рухатись в імпульсному режимі без обмеження. Середня технічна швидкість такого циклу – 15,6 м/с. Методика побудови моделі оптимізації стосується магістралей довільної довжини та профілю.

У додатках наведено: роз друк текстів програм комп'ютерного моделювання, початкові дані та результати імітаційного моделювання, залежності показників контролю швидкості АТЗ на магістралі при різних наборах вхідних даних, осцилограми з експериментів, а також список публікацій, акти впровадження, авторські свідоцтва.

Висновки

У дисертаційній роботі вирішується актуальна науково-практична проблема надмірного резервування провізної здатності транспортних засобів при доставці вантажів у магістральних транспортних мережах. Наукові основи організації транспортних процесів без часових затримок враховують квазіперіодичний характер виконання замовлень, ознаки сумісності логістичних операцій, вплив змінних зовнішніх умов та інтенсивності матеріальних потоків. Результати дисертаційних досліджень дозволили сформулювати теоретичні та науково-практичні висновки, основними з яких є такі.

1. З результатів аналізу стану міжміських і міжнародних вантажних автомобільних перевезень можна стверджувати, що затримки доставки вантажів, простої автотранспортних засобів, та інші непродуктивні витрати часу на МТМ, зростають зі збільшенням вантажообігу. Головні причини цієї проблеми: під час виконання ТП не враховується дискретний, періодичний характер МП, а також те, що відсутні взаємодія суб'єктів ТП, відповідна реакція на збурення, та її циклічне повторення.

2. На основі структурного аналізу систематизації властивостей типових схем доставки вантажів, було встановлено, що довільний транспортно-логістичний процес подати у вигляді системи взаємопов'язаних елементарних логістичних операцій. Якщо процес доставки є циклічним, то детермінований зв'язок існує між вхідними і вихідними параметрами його логістичних ланцюгів. Завдяки оптимізації циклічних ТП на МТМ було запропоновано «гнучкі» моделі, впровадження яких дає змогу знизити сукупні затримки доставки вантажів максимум від 2,2 до 5 разів, в діапазоні інтенсивності сумарного вантажопотоку 5...15 транспортних пакетів/год. При цьому запропоновані ТТС характеризуються майже сталою гарантованою тривалістю доставки (не перевищує 129 год. при віддалі перевезення до 1000 км). Кожна оптимальна ТТС може використовуватись на обмеженому діапазоні інтенсивності вантажопотоку, де вона має локальний оптимум.

3. Адаптація ТП до зміни інтенсивності вхідного МП зумовлює збільшення затримок, при відсутності узгодження з інформаційними потоками, які супроводжують ці зміни. Сукупні затримки МП лінійно залежать від зміни його інтенсивності, якщо ТТС не має розгалуження. Це можна нівелювати, якщо застосувати відповідні структурні моделі ТП, які дають змогу узгодити ЕЛО в адаптованому ТП. Для тих ТП, де операції транспортування в ЛЛ є тривалішими, збільшення МП приводить до

зменшення додаткових витрат часу. У ЛЛ, де є багато складів, при зростанні інтенсивності МП збільшуються затримки. Для стабілізації ТП з мінімальними втратами часу і коштів доцільно виконувати перерозподіл потоків між напрямками і джерелами на основі мультиагентної моделі прийняття рішень. При цьому кожним агентом приймається рішення про зміну розміру гурту вантажів і видовження лінійних ЛЛ.

4. Відобразивши ТП у вигляді мультиагентної багаторівневої моделі з детермінованими залежностями організаційних параметрів ЕЛО, які утворюють ЛЛ виконання множини замовлень з доставки вантажів, розроблено методику побудови гарантованого оптимального розкладу упорядкованої роботи АТЗ, за критерієм мінімальних сумарних затримок доставки вантажів, при умові максимальної продуктивності АТЗ на МТМ. Підвищення інтенсивності використання АТЗ на МТМ приводить до збільшення простоїв їх в транспортних пунктах. Побудова розкладу АТЗ є нелінійною оптимізаційною задачею. Для розв'язання її необхідно сформулювати крайові умови щодо максимальної чисельності парку АТЗ, та функцій розподільчих вузлів МТМ. З'ясовано, що не усі оптимальні за складом автомобіле-потоки можуть забезпечити заданий попит на перевезення. Цей недолік зменшується при зростанні кількості паралельних автомобілепотоків, які взаємодіють.

5. Оптимальні рішення про реакцію на зовнішні збурення, враховуючи циклічний характер ТП магістральних перевезень, велику просторову розсосередженість транспортних пунктів, мають бути не тільки централізованими, а й прийматись внаслідок обміну інформацією агентів. Інформаційний потік в МТМ являється суперпозицією часткових потоків. Тому розроблена методологія побудови циклічного розкладу для групи АТЗ, на основі мультиагентного підходу дає гарантований розв'язок достатньої точності за прийнятний час для малих і великих масивів даних, які періодично поновлюються.

6. Запропоновано концепцію організації руху АТЗ на магістральних дорогах, згідно із якою прогнозування швидкості його руху можна здійснювати за відносною швидкістю усіх тих АТЗ, які перебувають в його інформаційному полі. В результаті побудови оптимальної за швидкістю програми руху автомобіля по магістралі, при умові відсутності примусового сповільнення, а також після верифікації моделі за низкою проведених експериментів встановлено, що цикл руху «розгін - вільне кочення» є більш придатним для такої програми, ніж рівномірний рух. Використати запропоновану модель оптимального керування АТЗ можна, побудувавши низку типових транспортних циклів, які відрізняються середньою швидкістю, довжиною, структурою, але характеризуються мінімальними витратами енергії руху без застосування нераціональних режимів.

6.1. Будь-який за складністю, планом траси та іншими мінливими умовами маршрут можна розглядати як сукупність елементарних оптимальних циклів, які можна оптимально скомбінувати. У цьому випадку розроблені розклади мають вищий якісний рівень, ніж ті, що складені за одноразовим планом. Для виконання системи руху міжміських вантажних перевезень «не пізніше визначеного терміну» з дотриманням оптимальних швидкостей, необхідно обґрунтовано вибирати спосіб, кількість джерел та моменти отримання повідомлень про дорожні, транспортні та організаційні умови виконання транспортних завдань АТЗ. Використання декількох не-

залежних інформаційних потоків зменшує відхилення від оптимальної програми руху, однак скорочує час на прийняття ефективних рішень.

6.2. Використання комбінованого методу активного спостерігача та кліткових автоматів в ІМ магістрального транспортного потоку дає змогу сприймати досить великі обсяги вхідних даних, оскільки відображає динаміку ситуації довкола заданого інформаційного поля. Розроблена методика ІМ враховує усі прискорення / сповільнення АТЗ, детально відображає достатньо велику ділянку магістралі без залучення розподілених засобів. Усі маневри АТЗ здійснюються за принципом об'єктивної доцільності. Це відповідає концепції створення ІТС на МТМ.

7. Розроблено практичні методи організації роботи парку АТЗ, зокрема метод прогнозування показників процесу обслуговування вхідних потоків замовлень, який, при застосуванні певної стратегії організації транспортних процесів на МТМ, та програми «Simulation-3», дає змогу знизити кількість відмов у виконанні замовлень, в середньому на 30..40% по АТП – до 35% від загального потоку заявок; тривалість виконання замовлень на міжміських маршрутах скорочується на 12...20%; метод оптимізації розкладів автопоїздів та метод оптимізації роботи та відпочинку водіїв з врахуванням параметрів маршрутів, покращують систему диспетчерського керування парком магістральних АТЗ з використанням розроблених пакетів комп'ютерних програм «Schedule-14» і «Schedule-20». Непродуктивні витрати часу автопоїздів на міжміських маршрутах скорочуються, в середньому, на 20...25% від загальної тривалості транспортних циклів. Тривалість доставки вантажів скорочується на 15...20%. Позитивний техніко-економічний ефект від впровадження практичних методів досягається від зниження непродуктивних простоїв АТЗ не менш, як на 20%, зменшення штрафних санкцій через порушення термінів доставки, а також раціональним використанням робочого часу водіїв.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії:

1. Оліскевич М. Передумови створення інтелектуальних систем оперативного керування автотранспортом при доставці вантажів у міжміському сполученні. *Бізнес-моделі розвитку транспортних, агропромислових і інших підприємницьких структур: сучасні реалії та перспективи*. Колективна монографія з міжнародною участю / за ред. Л. М. Савчук, Л. М. Бандоріної. Дніпро: Пороги, 2018. 416 с. (параграф 4.5, С. 200-209).
2. Oliskevych M. Modelling of complex highway automated control system as tool for reducing fuel consumption and emission in heavy-duty trucks. *Energetic and ecological aspects of agricultural production*. Chapter 5. Warsaw Un. of Life Sciences. Warsaw, 2010. P. 48-58.

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

3. Stotsko Z., Oliskevych M. Vehicle driving cycle optimisation on the highway. *Transport Problems: an International Scientific Journal*, 2016. Vol. 11 (2), Issue 2. P. 123-133. (Scopus) DOI: 10.20858/tp.2016.11.2.12

4. Oliskevych M. Optimization of periodic unitary online schedule of transport tasks of highway road trains. *Transport Problems*, 2018. Vol. 13 Issue 1. P. 111-122. (*Scopus*) DOI: 10.21307/tp.2018.13.1.10
5. Prokudin G., Oliskevych M., Chupaylenko O., Dudnik O. Development of vehicle speed forecasting method for intelligent highway transport system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019. № 4/3 (100). P.6–14. (*Scopus*) DOI: 10.15587/1729-4061.2019.174255
6. Sharai S., Oliskevych M., Roi M. Development of the procedure for simulation modeling of interrelated transport processes on the main road network. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 5/3 (101). 2019. P.70-83. (*Scopus*) DOI: 10.15587/1729-4061.2019.179042
7. Oliskevych M., Kovalyshyn S., Magats M., Shevchuk V., Sukach O. The optimization of trucks fleet schedule in view of their interaction and restrictions of the european agreement of work of crews. *Transport Problems*, 2020. Vol. 15 Issue 2. P. 157-170. (*Scopus*) DOI: 10.21307/tp-2020-028
8. Oliskevych M., Pelo R., Prokudina I., Silenko V., Sorokivskyi O., Zaiats O. Optimization of vehicle speed forecasting horizon on the intercity highway. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. 3/3 (105). P.57-68. (*Scopus*) DOI: 10.15587/1729-4061.2020.204273

Наукові статті які входять до переліку фахових видань

9. Вільковський Є.К., Оліскевич М. С., Дорош В. М. Методика визначення необхідної кількості автотранспортних засобів на маятникових маршрутах. *Вісник НТУ*, 2006. №13. Ч.2. С.68–72.
10. Оліскевич М. С. Вплив завантаженості автопотяга на питомі витрати палива. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. №6 (112). Луганськ, 2007. С. 169–173.
11. Доля В. К., Оліскевич М. С. Оптимізація параметрів інформаційних потоків при виборі режимів руху автотранспортних засобів на вантажних магістральних перевезеннях. *Коммунальное хозяйство городов*. Серія: технічні науки та архітектура. Харків. Техніка, 2007. Вип. 79. С. 305–313.
12. Оліскевич М. С. Класифікація логістичних операцій в транспортно-технологічних схемах. *Вісник НТУ*. ч. 2. Київ, 2007. Вип. 15. С. 144-148.
13. Оліскевич М. С. Імітаційне моделювання вибору програми руху автотранспортних засобів на магістральних перевезеннях. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка*. Харків, 2008. Вип. 75. том 2. С. 122-130.
14. Оліскевич М. С. Залежність швидкості і прискорення автомобіля в транспортному магістральному потоці від характеристик інформаційного поля. *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту*, 2008. №2(6). С.132–137.
15. Оліскевич М. С. Концепція архітектури інформаційної системи магістральної транспортної мережі. *Вісник ЖДТУ*. Технічні науки, 2008. №3 (46). Том 2. С. 98–106. DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2008-3\(46\)-%p](https://doi.org/10.26642/tn-2008-3(46)-%p)

- 16.Форнальчик Є. Ю., Оліскевич М. С. Концепція автоматизованої системи керування магістральними автотранспортними потоками. *Вісник НТУ*. Київ, 2009. №18. С. 60–69.
- 17.Оліскевич М. С. Оптимізація інтервалів дискретизації навігаційної інформації при дотриманні найбільш ощадних програм руху автомобілів в логістичних системах. *Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів*. Київ, 2009. №17. С. 304–310.
- 18.Оліскевич М. С. Механізм ситуаційного керування автомобілем в магістральному транспортному циклі. *Вісник Східноукраїнського Національного університету ім. В. Даля*. Луганськ, 2010. №6(148). с. 89–93.
- 19.Оліскевич М. С., Дорош В. М. Умови ефективного застосування магістральних програм імпульсного руху вантажних автомобілів. *Проектування, виробництво, експлуатація автотранспортних засобів та автопоїздів*. Львів. НКЦ НТУ, 2010. №18. С. 172–178.
- 20.Оліскевич М. С. Дискретно-подійне моделювання магістральних транспортно-технологічних систем автомобільного транспорту. *Вісник Східноукраїнського Національного університету ім. В. Даля*. Луганськ, 2011. №5(159). С. 242–248.
- 21.Оліскевич М. С., Дорош В. М. Оптимізація логістичних витрат у транспортно-технологічній системі доставки продуктів харчування. *Вісник Львівського Національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження*. Львів. нац. агроуніверситет, 2011. № 15. С. 32-39.
- 22.Оліскевич М. С. Алгоритм інформаційного забезпечення вільного руху автомобіля на магістралі за енергоощадною програмою. *Вісник СевНТУ*, 2012. Вип. 135. С. 142-145.
- 23.Оліскевич М. С., Дорош В. М. Імітаційне моделювання логістичних центрів в системі збуту продукції, яка швидко псується. *Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля*, 2012. № 6 (177). Ч. 1. С. 98-103.
- 24.Оліскевич М. С. Оптимізація транспортних циклів залежно від обсягу прогнозованих вантажопотоків. *Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля*, 2013. № 5 (194). Ч. 1. С. 140-145.
- 25.Оліскевич М. С. Обґрунтування періоду формування оптимальних планів перевезення вантажів на заданій транспортній мережі. *Вісник СевНТУ*, 2013. Вип. 142. С. 162-165.
- 26.Оліскевич М. С. Оптимізація структури автомобілепотоків для обслуговування заданого пункту відправлення вантажів. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. Луцьк, 2014. Вип № 45. С. 386-395.
- 27.Оліскевич М. С. Дослідження структури та параметрів транспортно-технологічної системи матеріального постачання за умов прогнозованої зміни попиту на продукцію. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*, 2015. №1 (218). С. 226-229.
- 28.Оліскевич М. С. Стабілізація матеріальних потоків в транспортно-технологічних системах доставки вантажів. *Вісник Східноукраїнського Національного університету ім. В. Даля*, 2016. № 1 (225). С. 150-154.

29. Оліскевич М. С. Дослідження циклічних режимів роботи автомобіля на прямолінійній горизонтальній непересіченій ділянці дороги. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. Луцьк, 2016. Вип № 55. С. 261-268.
30. Оліскевич М. С. Методика оцінювання стабільності транспортно-технологічних схем за умов змінних матеріальних потоків. *Вісник Житомирського держ. технологічного ун-ту*, 2016. №2(77). С. 193-200.
31. Прокудін Г. С., Оліскевич М. С. Методика оптимізації спільного розкладу парку магістральних автомобілів при наявності часових обмежень. *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*, 2018. №2 (82). С. 118-126. DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2018-2\(82\)-118-126](https://doi.org/10.26642/tn-2018-2(82)-118-126)
32. Прокудін Г. С., Оліскевич М. С. Вплив структури транспортної системи на показники якості доставки вантажів у міжміському сполученні. *Вісник Національного транспортного університету*. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник, 2019. Випуск 1 (43). С. 143-158. DOI: 10.33744/2308-6645-2019-1-43-143-158
33. Прокудін Г. Шарай С., Оліскевич М., Рой М. Моделювання взаємодії автомобільних транспортних підприємств на міжміських перевезеннях вантажів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2019. 10 (2). С. 95-101. URL: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-95-101>

Опубліковані праці апробаційного характеру:

34. Оліскевич М. С., Дорош В. М. Дискретне моделювання матеріальних потоків в логістичних схемах доставки вантажів, які швидко псуються. *Вісник НТУ*, 2006. №200. С. 72–78.
35. Оліскевич М. С., Дорош В. М. Визначення необхідної кількості автотранспортних засобів в логістичній схемі збуту готової продукції. *Маркетинг та логістика в системі менеджменту: тези доп. VI міжнар. наук.-практ. конф.* (Львів. 9-10 лист. 2006) НУ „Львівська політехніка”. Львів, 2006. С. 251.
36. Oliskevych M. Providing with optimal information amount the choice of hauling and speed modes of lorry on main transportations. *Problemy recyklingu*. Warszawa, 2007. P. 280-286.
37. Оліскевич М. С., Дорош В. М. Визначення необхідної кількості автотранспортних засобів у логістичній схемі збуту готової продукції. *Вісник Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Логістика*, 2007. № 580. С. 307-313.
38. Оліскевич М. С., Дорош В. М. Залежність витрат енергії від динаміки виробничого процесу постачання замороженого м'яса. *Вісник Львівського Національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження*. Львів. нац. агроуніверситет, 2008. № 12. С. 64-75.
39. Oliskevycz M. Wpływ czynników organizacyjnych na toksyczność spalin emitowanych przez samochody ciężarowe w cyklu przewozowym w obrębie miasta. *Problemy recyklingu*. Warszawa, 2008. S. 83-87.
40. Оліскевич М., Козлинський М. Комплексна динамічна автоматизована система керування магістральними транспортними потоками. *Дев'ятий міжнародний симпозиум українських інженерів механіків у Львові: тези доповідей*. (Львів. 18-19 травня. 2009). Львів, 2009. С. 273-275.

41. Оліскевич М. С. Визначення параметрів розподілу бажаних швидкостей транспортних засобів у магістральному транспортному потоці: *65 наукова конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доп. (Київ. 14-18 травн. 2009) НТУ. Київ, 2009. С. 417-418.
42. Оліскевич М. С. Дослідження умов ефективності імпульсного руху магістральних автопоїздів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі*: тези доп. Всеукраїнська наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. (Донецьк. 23-26 жовтн. 2011). Донецьк, 2011. С. 59.
43. Оліскевич М. С. Моделювання системи керування магістральними автомобілями як засобу рекуперації енергії за змінних дорожніх умов. *Десятий міжнародний симпозіум українських інженерів-мех. у Львові*: тези доп. (Львів 14-18 трав. 2011). Львів, 2011. С. 323-325.
44. Оліскевич М. С. Моделювання дискретних матеріалопотоків вантажних транспортних терміналів. *Проблеми підготовки професійних кадрів з логістики в умовах глобального конкурентного середовища*: матеріали 10-ї міжнар. наук.-практ. конф. (Київ. НАУ, 18-19 жовтня 2012). Київ, 2012. С. 38-43.
45. Оліскевич М. С., Дорош В. М. Оптимізація спільного розписання автомобілей і погрузчиків. *Современные фундаментальные и прикладные исследования*. УЦ «МАГИСТР». Кисловодск, 2013. №4(11) С. 55-60.
46. Оліскевич М. С. Устаткування для дослідження циклічних режимів роботи силових агрегатів автомобіля. *Одинадцятий міжнар. симпозіум українських інженерів-мех. у Львові*: тези доп. (Львів 23-28 квітн. 2013). Львів, 2013. С. 121-122.
47. Оліскевич М. С. Дослідження умов ефективності імпульсного руху магістральних автопоїздів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі*: тези доп. II Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студ. (Донецьк. 14-18 лист. 2013). Донецьк, 2013. С. 103-105.
48. Оліскевич М. С. Оптимізація транспортно-технологічних систем регіональної магістральної транспортної мережі. *Проблеми підготовки професійних кадрів з логістики в умовах глобального конкурентного середовища*: матеріали 11-ї міжнар. наук.-практ. конф. (Київ. НАУ, 25-26 жовтня 2013). Київ, 2013. С. 44-48.
49. Оліскевич М. С. Методика оптимізації транспортних циклів. *Проблеми розвитку транспортних систем і логістики*: тези доп. IV Міжнародної науково-практичної конференції. (Євпаторія. 14-16 травня 2013). Євпаторія, 2013. С.89-90.
50. Оліскевич М. С. Моделювання та оптимізація інформаційних потоків в логістичному ланцюзі постачання. *Міські регіональні транспортні проблеми*: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (Харків 17-19 лис. 2015). Харків, 2015. С. 55.
51. Оліскевич М. С. Теоретичне обґрунтування структури транспортного циклу магістрального автопоїзда. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: тези доп. VIII міжнар. наук.-практ. конф. (Вінниця. ВНТУ. 19-21 жовтня 2015). Вінниця, 2015. С. 169-171.
52. Оліскевич М. С. Обґрунтування оснащення експериментального автомобіля-тягача при побудові емпіричної моделі оптимального керування. *Дванадцятий міжнародний симпозіум українських інженерів механіків у Львові*: тези доп. (Львів. 22-26 квітн. 2015). Львів, 2015. С. 139.

53. Оліскевич М. С. Оптимізація розкладу роботи міських автобусів із застосуванням дискретно-подійного моделювання. *Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конференції. (Львів. 24-25 вересня 2015). Львів, 2015. С. 78-79.
54. Оліскевич М. С. Моделювання інформаційних потоків у транспортно-технологічній системі постачання вантажів. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті* : тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф. студ. та молодих вчених. (Харків. 18-20 лист. 2015). Харків, 2015. С. 88-90.
55. Oliskevych M. Optimization of information flows of logistic supply chain. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*, 2015. Vol. 4, No. 4. P. 71-76.
56. Оліскевич М. С. Стабілізація матеріальних потоків в транспортно-технологічних системах доставки вантажів. *Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи*: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (Трускавець. 11-17 квітня 2016). Сєверодонецьк, 2016. С. 133-134.
57. Оліскевич М. С. Алгоритм оптимізації циклів міжміських вантажних перевезень. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка», Динаміка, міцність та проектування машин і приладів*, 2017. № 866. С. 206-210.
58. Оліскевич М. Оптимізація транспортних циклів міжміських вантажних перевезень. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання*: тези доповідей. наук.-практ. конф. Нац. ун-т «Львівська політехніка». (Львів. 16-18 березня 2017). Львів, С. 12-13.
59. Oliskevych M. Optimization of load scheme of heavy vehicle for a given flow of goods. *Econtechmod. An International quarterly journal*, 2017. Vol. 06. № 1. P. 55-62.
60. Oliskevych M. Dynamic scheduling of highway cargo transportation ICCPT 2019 Proceedings of 1st International Scientific Conference «*Current Problems of Transport 2019*» May, 2019. Ternopil, Ukraine. P. 141-151.
61. Lebid I., Shevchenko D., Kravchenya I., Luzhanska N., Prokudin G., Oliskevych M. Rationing of the number of signals and interlockings in the operational stock of railway stations. *MATEC Web of Conferences*, 03036 (2019) EOT-2019. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/2019???03036>

Свідоцтва та патенти:

62. Свідоцтво серія № 94207 “SCHEDULE-20” – програма побудови оптимального розкладу роботи вантажних автопоїздів на магістральній транспортній мережі. Прокудін Г.С., Оліскевич М.С., Шарай С.М. Дата реєстрації 26.11.2019.
63. Свідоцтво серія № 94208. Комп'ютерна програма “Imitation16” – програма, яка виконує імітацію міжміських автомобільних перевезень вантажів при випадковому вхідному потоку замовлень. Прокудін Г. С., Оліскевич М. С., Шарай С. М., Рой М. П. Дата реєстрації 26.11.2019
64. Свідоцтво серія № 94209 Комп'ютерна програма “Simulation 3” – програма імітаційного моделювання транспортного потоку на автостраді. Оліскевич М.С., Шарай С. М. Дата реєстрації 26.11.2019.

65. Свідоцтво серія № 94018. Науковий твір «Імітаційне моделювання транспортних процесів на магістральній мережі» Шарай С.М., Оліскевич М.С., Рой М.П. Дата реєстрації 19.11. 2019.
66. Свідоцтво серія № 89420. Науковий твір «Алгоритм комп'ютерної програми побудови оптимального розкладу роботи вантажних автопоїздів на магістральній транспортній мережі» (“Schedule-14”). Прокудін Г. С., Оліскевич М. С., Чупайленко О. Дата реєстрації 05.06.2019.

АНОТАЦІЯ

Оліскевич М. С. Наукові основи організації транспортних процесів магістральної автомобільної доставки вантажів. На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. Національний транспортний університет, Київ. 2020.

Вирішується актуальна науково-практична проблема надмірного резервування провізної здатності парку транспортних засобів. Обґрунтовано науково-методичні основи впорядкування та узгодження циклічних матеріальних й інформаційних потоків. Розроблено теоретичні моделі гнучких транспортних процесів. Досліджено закономірності впливу системи контролю на рівень використання транспортних засобів. Розроблено методологію структурної оптимізації транспортно-логістичних процесів із застосуванням ознак сумісності операцій. Запропоновано методику оцінювання стабільності транспортно-технологічних схем за умов змінних вхідних потоків. Розроблено концепцію комплексної системи організації руху автопоїздів. Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці програмно-інструментального комплексу з оптимізації доставки вантажів.

Ключові слова: транспортний процес, магістральна мережа, вантажні перевезення, транспортний цикл, матеріальні потоки, інформаційні потоки, розклад операцій, мультиагентний підхід.

АННОТАЦИЯ

Олискевич М. С. Научные основы организации транспортных процессов магистральной автомобильной доставки грузов. На правах рукописи. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. Национальный транспортный университет, Киев. 2020.

Решается актуальная научно-практическая проблема избыточного резервирования провозной способности парка транспортных средств. Обоснованы научно-методические основы упорядочения и согласования циклических материальных и информационных потоков. Разработано теоретические модели гибких транспортных процессов. Исследованы закономерности воздействия системы контроля на уровень использования транспортных средств. Разработано методологию структурной оптимизации транспортных процессов с применением признаков совместимости опера-

ций. Предложена методика оценки стабильности транспортно-технологических схем в условиях переменных входных потоков. Разработана концепция комплексной системы организации движения автопоездов. Практическое значение полученных результатов заключается в разработке программно-инструментального комплекса по оптимизации доставки грузов.

Ключевые слова: транспортный процесс, магистральная сеть, грузовые перевозки, транспортный цикл, материальные потоки, информационные потоки, расписание операций, мультиагентный подход.

ABSTRACT

Oliskevych M. S. Scientific bases of the organization of transportation processes of the main automobile delivery of cargoes. On the rights of the manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.22.01 - transport systems. National Transport University, Kyiv. 2020

The dissertation deals with the actual scientific and practical problem of excessive reservation of carrying capacity of vehicles during delivery of cargoes in the main transport networks. An analytical review of the results of existing theoretical, practical and experimental studies showed: the structure of cargo delivery chain is not shown as a combination of basic material, energy and information transformation, interacting; there are no regularities in quasi-theory or deterministic cycles; the origin of the necessary information should be considered precisely that, with regard to these properties; at each of these points, there is an objectively necessary amount of information that one needs to further investigate; the lack of theoretical substantiation makes it impossible to use telemetry facilities effectively in the organization of traffic for choosing the most rational in given transport conditions; analysis of transport conditions on the backbone transport network by means of on-board information-analytical complexes that receive, process and compare information in messages from different sources is not carried out. The dissertation is based on the proposed by the author *scientific idea*: the main reasons of the inequality of cargo flows, of the increase of vehicle downtime in all categories, of increasing delays in delivery of goods, of reducing the speed of delivery, and of losses and damages of freight, as well as overloading of transportation the drivers are information growing in today's and expanding transportation systems is underutilized. The research methodology is developed and the optimization of cyclic transport processes on the main transport networks in the dissertation is performed. The single "flexible" models of transport process are proposed which the maximum possible cumulative delays in the delivery of goods from 2.2 to 5 times exceed the minimum, in the intensity range of the cumulative cargo flow 5 ... 15 transport packages per hour. There are several optimal structures of a cyclic transport process on a given main transport network. However, each structure is characterized by a single value of the intensity of cargo flow. The transport processes ability of adaptation to change the intensity of the input material flow are investigated. It is proposed to apply the appropriate structural changes in transport and technological schemes that coordinate individual logistical operations. To stabilize the transport process with minimal loss of time and money measures such as partial and complete redistribution of flows between sources

and destinations and resizing of groups of goods and elongation linear logistic chains recommended. Transportation processes on the backbone network are reflected in the form of logistic operations models that form logistics chains. Determined dependencies of organizational parameters of operations in logistics chains are substantiated. For the first time, we managed to solve the problem of constructing a guaranteed optimum schedule of work of vehicles involved by the criterion of minimum total process delays, subject to the maximum performance of the vehicle fleet on the backbone transport network. A multi-agent cyclic scheduling methodology that provides a guaranteed solution of sufficient accuracy within a reasonable time for periodically updated data sets developed for a group of vehicles. A simulation technique for simulating vehicle motion along a highway has been developed, which takes into account all acceleration / deceleration, and reflects in detail a sufficiently long highway distance without the use of distributed means. All motor vehicles maneuvers are carried out on the principle of objective expediency. This is in line with the concept of creating intelligent transportation systems on highways. The method, the number of sources and the moments of reports receipt by road transport and on organizational conditions of performance of transport tasks during the performance of long-distance freight transportation on the principle of "not before a certain time", with observance of optimal modes of traffic are substantiated. On the one hand, the use of multiple independent information streams reduces the deviation from the optimal motion program, on the other, it reduces the time for effective decisions.

The practical implementation of the results of the study made it possible to achieve the following results: thanks to the application of the vehicle fleet management methodology and the corresponding computer program "Simulation-3", the number of refusals in the execution of orders is reduced overall by motor transport enterprises by 28..35% of the total flow. The duration of orders for long-distance freight transportation at these and other enterprises is reduced by 12...20%. Improved system of dispatching of the fleet of trucks, which perform freight haulage with the help of the developed recommendations and packages of programs "Schedule-14"; which made it possible to indicate the times of departure and arrival of vehicles from the transport points. The unproductive time spent on self-driving truck trains on long-distance routes is reduced for the aggregate truck fleet of these enterprises by an average of 20... 25% of the total time of transport cycles as a result of the use of the "Schedule-20" computer program. The duration of delivery of goods on the known long-distance inland routes serving the enterprises is reduced by 15... 20%. All submitted results are confirmed by the relevant implementing acts.

Keywords: transport process, backbone network, freight flows, transport cycle, material flows, information flows, joint operation schedule, multi-agent approach.