

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ І КООПЕРАЦІЇ ПЕРЕВІЗНИКА ВІД ВХІДНОГО ПОТОКУ ЗАМОВЛЕНЬ

М.С. Оліскевич¹, О.Л. Мاستикаш², М.П. Рой³

¹к.т.н., доцент,

доцент кафедри «Експлуатація та технічний сервіс машин»,
Львівський національний аграрний університет, Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-6237-0785

²старший викладач кафедри «Експлуатація та ремонт автомобільної техніки»,
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-6353-1672

³аспірант кафедри «Міжнародні перевезення та митний контроль»,
Національний транспортний університет, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-5788-4220

Анотація

Вступ. У статті розглядається проблема розподілу наявних і орендованих транспортних засобів для обслуговування стохастичного потоку замовлень вантажних міжміських перевезень. Зміст проблеми полягає в тому, що загальний обсяг робіт потрібно розподілити між наявними транспортними засобами і тими, які можна орендувати у партнерів, так, щоб загальна ефективність транспортних процесів і сумарний прибуток підприємства були максимальними. Задача є актуальною в даний час через те, що вимоги до перевізників зростають, їх задачі оперативно-го керування ускладнюються, а ефективні методи, які дають гарантовані точні оптимальні розв'язки, є невідомі. **Мета.** Визначити ознаки організаційно-технологічної сумісності завдань транспортного процесу, виконання яких у єдиному потоці є максимально ефективним. Застосування таких ознак повинно приводити до гарантованого точного розв'язку задачі розподілу транспортних засобів при випадковому характері вхідних потоків. **Результати.** Розподіл транспортних засобів по замовленнях, які стохастично виникають, є NP-складною задачею в сильному змісті. Запропоновано додаткові класифікаційні ознаки замовлень, які дають змогу знайти гарантований стійкий розв'язок. Такий розв'язок є можливий завдяки тому, що сумісні або частково сумісні замовлення заздалегідь об'єднуються в множини, які призначаються для виконання в єдиному потоці, одному транспортному засобу. Застосовано модель нелінійного програмування. Для розподілу динамічного вхідного потоку замовлень розподільча задача була розв'язана зі стійким результатом. Критерієм розв'язання є сумарний прибуток, який автотранспортний перевізник може отримати при запропонованій послідовності виконання замовлень. Виконано також лінійну апроксимацію сумарного прибутку від ознак сумісності замовлень. **Висновки.** Структурне моделювання інтегрованого транспортного процесу доцільно проводити для конкретних ознак сумісності вхідного потоку. Коефіцієнт сумісності замовлень є прямою ознакою доцільності кооперації транспортних компаній. Лінійна апроксимація моделі дає більші, як 100% похибку результатів.

Ключові слова: вантажні перевезення, вхідні потоки замовлень, сумісність замовлень, кооперація перевізників.

**DEPENDENCE OF CARRIER EFFICIENCY
AND COOPERATION ON INPUT ORDER FLOW**

M.S. Oliskevych¹, O.L. Mastykash², M.P. Roi³

¹Ph.D., Associate Professor at the Department “Operation and Technical Service of Machines”,
Lviv National Agrarian University, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-6237-0785

²Senior Lecturer at the Department “Operation and Repair of Automotive Engineering”,
National University “Lviv Polytechnic”, Lviv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-6353-1672

³Postgraduate Student at the Department “International Transportation and Customs Control”,
National Transport University, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-5788-4220

Summary

Introduction. The article considers the problem of distribution of available and leased vehicles for servicing the stochastic flow of long-distance freight orders. The content of the problem is that the total amount of jobs should be divided between the available vehicles and those that can be rented from partners, so that the overall efficiency of transport processes and the total profit of the enterprise are maximum. The problem is relevant today because the requirements for carriers are growing, their operational management tasks are becoming more complicated, and effective methods that provide guaranteed accurate optimal solutions are unknown. **The purpose** of research is to determine the signs of organizational and technological compatibility of transport process tasks, the implementation of which in united flow is effective. The use of such features should lead to a guaranteed accurate solution of the problem of distribution of vehicles with a random nature of input flows. **Results.** The vehicles ordering that arise stochastically is NP-difficult task of strong sense. Additional classification features of orders are offered, which allow us to find a guaranteed stable solution. This solution is possible due to the fact that compatible or partially compatible orders are pre-combined into sets that are intended to be executed in a single flow, and single vehicle. The model of nonlinear programming is applied. To distribute the dynamic input flow of orders the distribution problem was solved with a stable result. The solution criterion is the total profit that the road carrier can receive with the proposed sequence of orders. Optimization at linear approximation of total profit on signs of compatibility of orders is executed. **Conclusions.** Structural modeling of the integrated transport process should be carried out for specific signs of compatibility of the incoming flow of orders. A sign of compatibility of orders is the coefficient of time unevenness, has a positive effect on the ability to obtain a higher maximum total profit. Linear approximation of the model gives more than 100% error of results.

Key words: freight transportation, incoming order flows, order compatibility, carrier cooperation.

Вступ

Для ефективної діяльності автотранспортного підприємства (АТП) необхідна виробнича структура, що складається з функціональних одиниць, які поєднані відповідними зв'язками і може бути адекватно застосована для задоволення

існуючого попиту. Однак є випадки, коли АТП, під впливом змінного вхідного потоку замовлень на перевезення, відчуває брак функціональних елементів, або потужність таких елементів є недостатньою. У цьому випадку трапляються відмови клієнтам, або ж власний транспорт перевізника простоє. Додатковими ресурсами можна поповнити транспортну компанію із зовнішніх джерел (аутсорсингу). Однак для цього потрібно обґрунтувати потенційну вигоду від взаємодії. Замовлення, які виконує один перевізник, повинні бути технологічно сумісними, а послідовність їх виконання має приводити до вищих показників ефективності. При цьому вхідний потік замовлень є стохастичним. Це ускладнює процес планування перевезень. Тому актуальною задачею є встановлення впливу структури випадкового вхідного потоку замовлень на ефективність процесу його виконання.

Постановка проблеми

Стохастичний характер вхідного потоку замовлень для транспортних підприємств, які можуть взаємодіяти, ускладнює досягнення мети – підвищення ефективності вантажних перевезень та отримання вищого прибутку при самостійній діяльності, та по кооперації. Адже при цьому потрібно виконати розподіл завдань між наявними у підприємства транспортними засобами, а також обмінятися частиною замовлень із партнерами. Зміст проблеми полягає в тому, що при стохастичному вхідному потоці розподіл наявних ресурсів (транспортних засобів) є задачею динамічного планування перевезень, яка до того ж повинна враховувати додаткові ресурси по кооперації. Ці змінні умови роблять дану розподільчу задачу NP-складною в сильному змісті, тобто такою, яку не завжди можна розв'язати недетермінованими алгоритмами за поліноміальний час [1]. Для спрощення умов задачі застосовують певні ознаки оптимальності, однак для стохастичного вхідного потоку замовлень на перевезення унітарних вантажів для міжміських маршрутів такі ознаки є невідомими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Незважаючи на випадковий характер замовлень, між ними можна встановити відношення, які слугуватимуть ознаками для побудови оптимального за структурою інтегрованого транспортного процесу. У статті [2] встановлено, що такими відношеннями є показники сумісності, концентрації, нерівномірності, впорядкованості. Сумісність замовлень означає, що включення їх в єдиний потік виконання не приводить до зниження ефективності перевезень через непродуктивні їздки або простої. У відомих дослідженнях [3] застосовано оцінку сумісності замовлень попарно. Відповідно, використано дискретний показник сумісності замовлень трьох категорій: цілком сумісні, частково сумісні і несумісні. Однак така оцінка є неповною і недостатньою для підбору замовлень в один проект, коли їх є більш, ніж два. Таку ж оцінку неможливо застосувати для обґрунтування взаємодії перевізників-партнерів. Сумісними назвемо такі замовлення i, j , виконання яких у послідовності $i \rightarrow j$ одним транспортним засобом характеризується повною відсутністю незавантажених їздок і простоїв в очікуванні завантаження.

У роботі [4] зроблено огляд методів моделювання руху матеріальних потоків у транспортних системах (ТС). Найбільшої значимості надається в цій дисертації методам теорії систем масового обслуговування (СМО) і мережам Петрі. Автор наголошує, що найбільш вагомим недоліком обох методологій є те, що вони не описують в явному вигляді поведінку, а саме динаміку транспортного процесу (ТП). Виконаний у роботі аналіз методів дав підстави стверджувати, що їх треба обирати гнучко, враховуючи властивості конкретної ТС.

Великої уваги у вирішенні проблеми моделювання СМО заслуговують періодичні потоки [5]. Їх основною перевагою є те, що стохастичні періоди, які відтворюються з певним тактом, є джерелами інформації для корегування правил наступних кроків моделювання. Однак теорія стохастичних періодичних потоків є мало розвинена на даний час. Тому першочергово потрібно виявити вплив параметрів періодичних потоків на виконання ТП.

Згідно із СМО, для вхідного потоку замовлень вагоме значення має післядія випадкових подій. У зв'язку з такими обставинами СМО, як єдину методику аналітичного подання ТС, застосувати неможливо. Крім цього, ТС, які охоплюють вхідні потоки випадкових замовлень і стохастичні процеси їх виконання, є складними і не мають відповідного аналітичного апарату для відображення їх у динаміці. Натомість застосовуються методи імітаційного моделювання [5]. Аналіз переваг і недоліків наявних методів моделювання ТП показано у статті [6]. Доведено, зокрема, що особливо продуктивним є сполучення в одному дослідницькому процесі методів ІМ та методів математичного програмування. Проте основна мета поданих результатів – це наукове обґрунтування методів, моделей та інструментальних засобів інформатизації управління ТП. Дослідженням вхідних потоків і вибору стратегії та методів курування ТП у статті приділено дуже мало уваги.

У дисертації [7] її автор розглядає організацію виконання випадкових разових замовлень. Застосовано СМО для планування сукупності відомих, а для верифікації – імітаційну модель. Проте сумнівними видаються припущення автора про найпростіший потік таких замовлень, особливо якщо йдеться про спеціалізовані вантажі, обслуговування невеликого регіону, або використання малого парку транспортних засобів.

Підсумовуючи опубліковані методи, можна стверджувати, що на даний час відомі лише загальні принципи формування системи прийняття рішень в організації процесів міжміського перевезення вантажів. Проте такі рішення нерідко доводиться приймати в умовах невизначеності або неповної визначеності, що применшує їх ефективність.

Метою досліджень було визначити ознаки організаційно-технологічної сумісності завдань ТП, виконання яких у єдиному потоці є ефективним. Застосування таких ознак повинно приводити до гарантованого точного розподілу транспортних засобів при випадковому характері вхідних потоків.

Виклад основного матеріалу

На основі відомих досліджень [8; 9] прийнято припущення, що виконання кожного замовлення на вантажні перевезення автомобілями залежить від структури ТП, тобто

від ланцюга операцій, які послідовно виконує кожен автомобіль. У такому ланцюгу виконання окремих замовлень може виявитись нераціональним, якщо завдання для АТЗ є несумісними. Для оцінки раціональності структури ТП застосуємо показник, який характеризує сумісність виконання замовлень у послідовності $j \rightarrow i$:

$$K_{i,j}^c = \frac{a_{0,i}}{a_{j,i}}, \quad (1)$$

де $a_{0,i}$ – тривалість виконання замовлення Z_i ізольовано, без попереднього виконання жодних замовлень, а також без підготовчих дій (нульового пробігу, очікування відвантаження тощо);

$a_{j,i}$ – тривалість виконання замовлення Z_i після замовлення Z_j .

Аналогічно можна використати обернений показник, який вказує на сумісність виконання замовлення в порядку $i \rightarrow j$:

$$K_{j,i}^c = \frac{a_{0,j}}{a_{i,j}}. \quad (2)$$

Очевидно, що менше значення K_c відповідає меншій організаційній сумісності. Найвище значення – $K^c=1$. Беручи до уваги відому класифікацію замовлень, $K^c=1$ відповідає цілком сумісним замовленням, а $K^c=0$ – цілком несумісним. Два замовлення, для яких $0 < K^c < 1$, назвемо частково сумісними. Часові зв'язки $a_{i,j}$, $a_{j,i}$ можна оцінити для будь-якої пари замовлень із наперед заданої множини $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_N\}$, яку отримано на деякому горизонті планування T , і яка складатиме інтегрований ТП. У зв'язку із цим можна побудувати матрицю часових зв'язків $|a_{i,j}|$, $i, j = 0 \dots F$, де $0, F$ – фіктивні замовлення, які означають формальний початок і завершення ТП. Також можна побудувати матрицю коефіцієнтів сумісності $|K_{i,j}^c|$ для тієї ж самої множини замовлень. Для оцінки сумісності усіх замовлень горизонту використаємо середнє значення коефіцієнта сумісності:

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N K_c^{i,j}}{N}. \quad (3)$$

Коефіцієнт (3) показує, наскільки сумісними у плані організації процесу вибрані замовлення в одній множині, яка планується до виконання. При обчисленні цього коефіцієнта не береться до уваги те, що замовлення можуть виконуватись різними перевізниками по кооперації. Тому даний коефіцієнт не є достатнім для оцінки ефективності організаційно-технологічної взаємодії АТП з партнерами. Для оцінки концентрації замовлень на заданій території обслуговування використано коефіцієнт концентрації:

$$K_k = \frac{N_z}{N_q}. \quad (4)$$

де N_z – кількість замовлень, готових до виконання впродовж заданого періоду T ; N_q – кількість транспортних пунктів (пунктів відвантаження і приймання вантажів), які стосуються множини замовлень, яка запланована на період T .

Потрібно взяти до уваги, що пункти відправлення вантажів, пункти приймання вантажів в інтегрованому транспортному процесі можуть збігатись. У зв'язку із цим раціонально застосовувати коефіцієнти:

1) концентрації замовлень у пунктах відправлення вантажів:

$$K_{k,d} = \frac{N_z}{N_{q,d}} \quad (5)$$

де $N_{q,k}$ – кількість транспортних пунктів відвантаження на період T ;

2) концентрації замовлень у пунктах приймання вантажів:

$$K_{k,a} = \frac{N_z}{N_{q,a}} \quad (6)$$

де $N_{q,a}$ – кількість транспортних пунктів приймання вантажів на період T .

Вкажемо деякі властивості коефіцієнтів концентрації. Коефіцієнт K_k – це динамічний показник. Його числове значення для однієї і тієї ж території (множини транспортних пунктів) залежить від тривалості й від періоду планування виконання замовлень. Максимальне числове значення коефіцієнта концентрації обмежено лише двома пунктами, незалежно від того, скільки замовлень заплановано. Мінімальне значення коефіцієнта концентрації стосується випадку, за якого кожне замовлення стосується двох окремих транспортних пунктів. Отже, числове значення коефіцієнта K_k коливатиметься в межах $0,5N_z \dots 2N_z$. Коефіцієнти $K_{k,d}$, $K_{k,a}$ є також динамічними і залежать від періоду T . Максимальне числове значення коефіцієнтів $K_{k,d}$, $K_{k,a}$ обмежено одним транспортним пунктом, який може бути або відправником, або споживачем вантажу. Мінімальне числове значення коефіцієнтів $K_{k,d}$, $K_{k,a}$ зумовлене тим, що практично усі транспортні пункти можуть бути відправниками і споживачами вантажів для одного проекту. Тому діапазон їх числових значень становить $1 \dots N_z$. Співвідношення коефіцієнтів $K_{k,d}$, $K_{k,a}$ із загальним коефіцієнтом K_k а також між собою вказує на тип маршрутів (рис. 1).

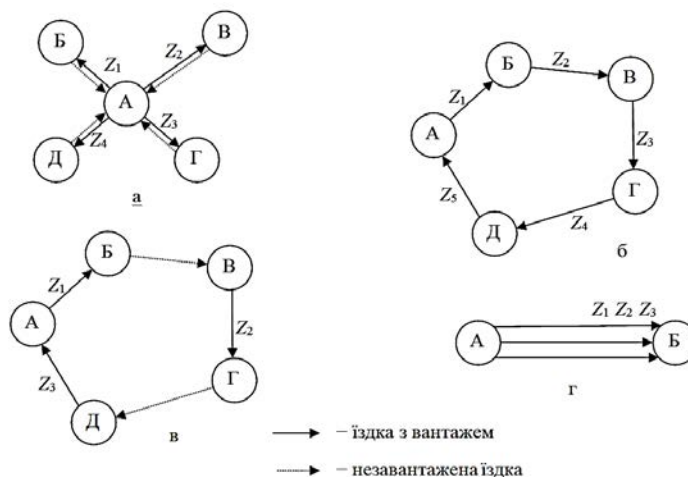


Рис. 1. До розрахунку коефіцієнтів концентрації замовлень

Так, на рис. 1, а відображено модель виконання чотирьох замовлень Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 , що полягає в перевезенні вантажу від єдиного пункту відвантаження до чотирьох споживачів. Коефіцієнт концентрації при цьому за формулою (5) визначиться як $K_k=0,8$, коефіцієнти $K_{k,d}=4$, $K_{k,a}=1$.

На рис. 1, б показано модель послідовного кільцевого виконання замовлень із розривами вантажопотоків, тобто за відсутності незавантажених їздок. Коефіцієнт концентрації визначиться як $K_k=1$, коефіцієнти $K_{k,d}=1$, $K_{k,a}=1$. На рис. 1 в показано модель послідовного кільцевого виконання замовлень, за наявності незавантажених їздок. Коефіцієнт концентрації визначиться як $K_k=0,6$, коефіцієнти $K_{k,d}=1$, $K_{k,a}=1$. На рис. 1, г показано модель виконання трьох замовлень на маятниковому маршруті зі зворотною незавантаженою їзdkою. Коефіцієнт концентрації визначиться як $K_k=1,5$, коефіцієнти $K_{k,d}=1$, $K_{k,a}=1$. Очевидно, що коефіцієнт концентрації, разом з його похідними величинами, відображає ті витрати часу, які потрібні для їздки з вантажем, або без вантажу. Із поданих чотирьох прикладів видно, що найбільш сприятливі значення коефіцієнтів є ті, для яких $K_k=1$, $K_{k,d}=1$, $K_{k,a}=1$. Чим більше основний, або частковий показники відхиляються від одиниці, тим більш несприятливими є умови організації ТП. Замовлення, які надходять перевізникові до виконання, відрізняються середньою тривалістю. Різниця тривалості впливає на впорядкованість транспортного процесу [9], отже, на ефективність взаємодії транспортних засобів одного або декількох перевізників. Часову нерівномірність замовлень оцінюємо коефіцієнтом нерівномірності:

$$\eta_i = \frac{a_{0,i,\max}^s}{a_{0,i}^s}, \quad (6)$$

де $a_{0,i,\max}^s$ – максимальні витрати часу, пов'язані з рухом транспортних засобів, на виконання i -го замовлення без врахування будь-яких, попередньо виконаних замовлень;

$a_{0,i}^s$ – середні витрати часу, пов'язані з рухом транспортних засобів, на виконання i -го замовлення.

На відміну від попередніх коефіцієнтів, η_i стосується лише «чистої» тривалості виконання, тобто без врахування перехідних та підготовчих операцій. Мінімальне значення коефіцієнта нерівномірності – $\eta_i=1$. Чим більшою є нерівномірність тривалості виконання замовлень, тим складніше побудувати ефективний ТП для однотипних транспортних засобів одного і того ж АТП. З іншого боку, наявність різних за тривалістю транспортно-логістичних операцій дає можливість побудови більш впорядкованого інтегрованого процесу для декількох перевізників, які взаємодіють. Отже, η_i має оптимальне значення, яке відповідає вибраному рівню взаємодії перевізників.

Показники впорядкованості замовлень розкривають взаємозалежність замовлень, яка зумовлена організаційно-економічними, або технологічними факторами. Замовлення Z_i , наприклад, може мати пріоритет у виконанні перед замовленням Z_j , що пов'язано з технологією виконання деякого ТП, якого стосуються замовлення. У такому випадку часовий зв'язок $a_{j,i} \rightarrow \infty$, а часовий зв'язок $a_{i,j}$ – скінченне число. Це узгоджується із прийнятим визначенням $a_{i,j}=\infty$, якщо замовлення Z_j не може виконуватись після замовлення i безпосередньо, одним і тим ж транспортним засобом. У зв'язку із цим для того, щоб порівняти пріоритети заданого замовлення i з іншими замовленнями, які є на горизонті планування T , застосуємо коефіцієнт часової впорядкованості:

$$K_{tw,i} = \frac{\sum_{j=1}^N a_{i,j}}{\sum_{j=1}^N a_{j,i}}, \quad (8)$$

де N – загальна кількість замовлень на горизонті планування.

З формули (8) видно, що коли i -те замовлення має найвищий пріоритет серед N заданих, то будь-яке $a_{j,i} > a_{i,j}$. Отже, чим вищий пріоритет i -го замовлення, тим коефіцієнт $K_{tw,i} \rightarrow 0$.

Організаційно-технологічна взаємодія АТП із партнерами тісно пов'язана зі його спеціалізацією, в даному випадку – стосовно властивостей вхідних потоків замовлень. Тому раціональні взаємозв'язки вантажних перевізників потрібно також пов'язувати з ознаками сумісності транспортних завдань, враховуючи їх часові вікна. Сформульована задача планування виконання замовлень є розподільчою за своїм змістом, багатопараметричною і нелінійною – за видом моделі. Задачу потрібно розв'язувати методами нелінійного програмування. Для оцінювання потоку вхідних замовлень на міжміські перевезення вантажів запропонована система показників, яка складається з показників сумісності, концентрації, нерівномірності, впорядкованості. Такі показники можуть бути ознаками для вибору рівня взаємодії АТП з партнерами. Успішна діяльність АТП із взаємодією з партнерами та конкурентами залежить від попиту на послуги перевезень [8; 9]. Для того щоб дослідити закономірності цієї залежності, було виконано структурне моделювання з оптимізацією за критерієм сукупного прибутку від діяльності перевізника для впорядкованих вхідних потоків замовлень. Моделювання проведено з використанням відомої методики [10].

Для того щоб дослідити вплив коефіцієнтів сумісності і часової нерівномірності замовлень на можливість АТП досягнути мети діяльності – максимального прибутку Π , – було побудовано матрицю $|a_{i,j}|$ зв'язків (5), елементи якої обчислюються за виразом:

$$a_{i,j} = a_{i,j-1} + a_{i,j-1} \cdot B, \quad (9)$$

де $i=1..N, j=0..N$ – номери замовлень;

B – емпіричний коефіцієнт, числове значення якого підбиралось так, щоб середнє значення коефіцієнта сумісності K_c , обчислене за виразом (7), дорівнювало наперед заданому значенню $K_{c,3}$.

Для того щоб підібрати значення матриці $|a_{i,j}|$ за виразом (9), необхідно задатись початковими значеннями $a_{0,j}$, які залежать від коефіцієнта часової нерівномірності замовлень η_t . Для того щоб підібрати вектор початкових значень $a_{0,j}$, де $j=1..N$, використано вираз:

$$a_{0,j} = a_{0,j-1} + a_{0,j-1} \cdot C, \quad (10)$$

де $j=2..N$; C – емпіричний коефіцієнт, числове значення якого впливає на формування необхідного значення коефіцієнта нерівномірності η_t серед величин $a_{0,j}$ за формулою (10).

Для того щоб підготувати вхідні дані для дослідження замовлень, вибрано початкове значення $a_{0,1} = 2$ год., що відповідає середній тривалості їздки з вантажем на під-

приємстві ТОВ «Орлан-Транс Сервіс» (Львівська область), яке здійснює вантажні автомобільні великогуртові перевезення. Для генерації ряду початкових даних $a_{0,j}$, $j=1..N$ застосовано пакет аналізу «What-if» з електронних таблиць *Excel*. Даний пакет дає змогу знайти таке значення змінної/константи, за якого задана формула набуває потрібного значення. Бажані значення коефіцієнта нерівномірності η_i вибирались послідовно із кроком 0,1, з множини $\{1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 2,0, 2,2\}$. Так, якщо потрібно, щоб $\eta_i=1,1$, то пакет аналізу «What-if» видав значення $C=0,02186$. При цьому ряд початкових значень для $N=10$ за формулою (10) набуває вигляду: $a_{0,1}=2,0$; $a_{0,2}=2,0$; $a_{0,3}=2,1$; $a_{0,4}=2,1$; $a_{0,5}=2,2$; $a_{0,6}=2,2$; $a_{0,7}=2,3$; $a_{0,8}=2,3$; $a_{0,9}=2,4$; $a_{0,10}=2,4$. Усі інші елементи матриці $|a_{i,j}|$ встановлюються залежно від наперед заданого коефіцієнта сумісності K_c , який послідовно вибирався із множини ймовірних значень $K_c \in \{0,9, 0,8, 0,7, 0,6, 0,5, 0,4, 0,3, 0,2\}$. Для обчислення матриці $|a_{i,j}|$ використано формулу (9), у якій коефіцієнт B вибирався з допомогою пакету аналізу «What-if». Так, наприклад, при $\eta_i=1,8$ вектор даних $a_{0,j}=\{2,0, 2,3, 2,7, 3,1, 3,7, 4,3, 5,0, 5,8, 6,7, 7,8\}$. Задано було, що коефіцієнт сумісності має бути $K_c=0,6$. При застосуванні пакету аналізу для формули (9) знайдено $B=0,112418$ і побудовано відповідну матрицю. Для повнофакторного дослідження впливу коефіцієнтів K_c і η_i на структуру інтегрованого ТП та на прибуток від діяльності та від кооперації перевізника потрібно побудувати $K_c \times \eta_i$ таких матриць, які охоплюють увесь вектор початкових значень, як K_c так і η_i . Для розв'язання задачі структурної оптимізації застосовано прикладний пакет *Solver*. Описана в [10] і застосована нами модель оптимізації структури ТП має такий вигляд. Критерій – сумарний прибуток АТП за період T :

$$\begin{aligned} \Pi = & (R - R_z) \cdot P_r - (R_z - R) \cdot C_r - (R_z - R) \cdot C_z + \\ & + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot (1 - x_{i,j}) \cdot P_z + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot x_{i,j} \cdot P_m - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot x_{i,j} \cdot C_m - \\ & - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^s \cdot x_{i,j} \cdot C_s \Rightarrow \max \end{aligned} \quad (11)$$

де R_z – кількість фактично задіяних власних транспортних засобів;

P_r – ринкова ціна здавання в оренду транспортного засобу, грн.;

C_r – витрати на оренду одиниці транспортного засобу, грн.;

C_z – вартість інформації про одне замовлення;

C_m, C_t – витрати коштів АТП на 1 год., відповідно, руху і простою транспортних засобів;

$a_{i,j}^m$ – тривалість руху транспортного засобу при виконанні замовлення j , після виконання замовлення i ;

$a_{i,j}^s$ – витрати часу на простій транспортних засобів у пунктах відправлення і призначення вантажу;

$x_{i,j}$ – двійкова змінна задачі.

Обмеження:

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} - \sum_{i=1}^N x_{i,j} = 0, \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^{N+F} x_{i,j} - \sum_{j=0}^N x_{i,j} = -R_z, \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^{N+F} x_{i,j} - \sum_{j=0}^N x_{j,F} = R_z, \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} \leq 1, \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j} \leq 1, \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^N (|x_{0,i} - x_{i,F}|) = R_z \quad (17)$$

де $x_{i,F}$, $x_{j,F}$, $x_{0,i}$, $x_{0,j}$ – формальні змінні, які означають, відповідно, завершення/ початок виконання замовлень Z_i , Z_j .

Через вирази (11) і (17) модель ТП є нелінійною. Це потрібно обумовити в панелі діалогового вікна програми Solver. Для успішного знаходження розв'язку потрібно вибрати градієнтний метод. Однак розв'язування потрібно починати з крайових умов, тобто тоді, коли $R=1$, $\eta_i=1$, $K_c=1$. Друга крайня точка, – коли $R=10$, $\eta_i=1$, $K_c=1$. Далі методом швидкого спуску, змінюючи умови, знаходимо проміжні розв'язки. Результати оптимізації подано на рис. 2. З результатів видно, що максимальний прибуток АТП залежить від коефіцієнта сумісності замовлень в єдиному потоці.

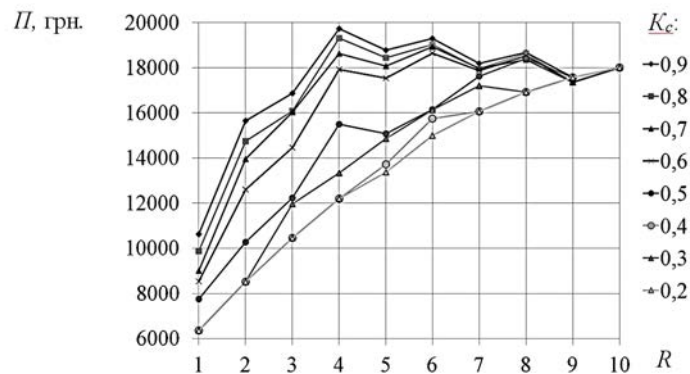


Рис. 2. Залежність сукупного прибутку АТП від кількості задіяних транспортних засобів та коефіцієнта сумісності замовлень

Так, при $K_c = 0,9$ максимальний прибуток становить 19,75 тис. грн. При цьому не усі замовлення приймаються до виконання. Частина замовлень продається партнерам. А вже при $K_c = 0,2$ максимальний прибуток становить 18,1 тис. грн. При цьому усі замовлення з горизонту прогнозування T виконуються власним і орендованим транспортом. Як можна помітити, максимальний прибуток при зменшенні коефіцієнта сумісності замовлень зміщується в сторону збільшення задіяних власних + орендованих транспортних засобів. У цілому при збільшенні коефіцієнта сумісності замовлень максимальний прибуток починає зростати майже лінійно, але починаючи від числового значення $K_c = 0,4$. Це пов'язано з тим, що при низьких значеннях коефіцієнта сумісності АТП цілком перекладає функції виконання замовлень на орендовані транспортні засоби, тобто на партнерів. Низький

коефіцієнт сумісності спричинює більші витрати на перевезення при тій самій ціні. А орендна плата – фіксована величина. Тому числове значення K_c можна цілком пов'язати з рівнем спеціалізації та концентрації АТП. Результати оптимізації ТП при лінійній апроксимації моделі (11) – на рис.3. Розв'язки лінійної моделі отримуються без уведення крайових умов. Якщо порівняти ці результати з нелінійною моделлю (рис. 4), то максимальний прибуток отримується удвічі більший.

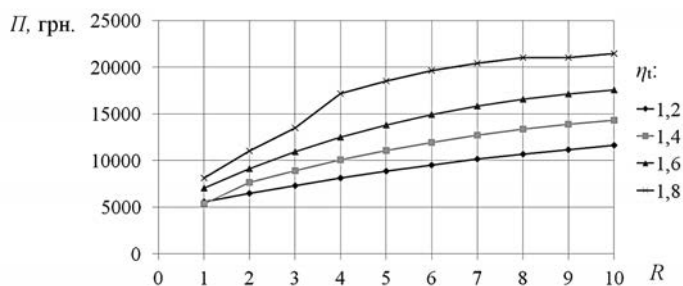


Рис. 3. Залежність сумарного прибутку АТП від кількості задіяних (власних і орендованих) транспортних засобів та коефіцієнта нерівномірності η_1 при лінійній апроксимації моделі

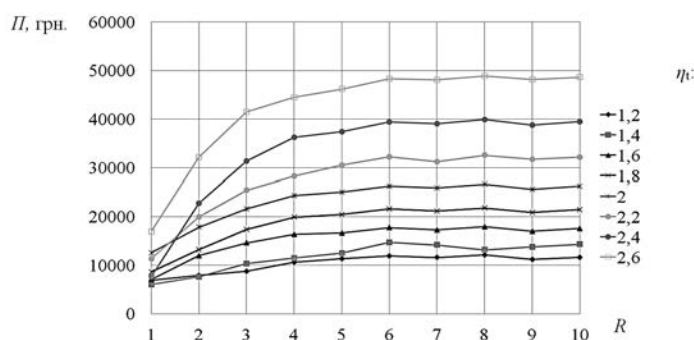


Рис. 4. Залежність сумарного прибутку АТП від кількості задіяних (власних і орендованих) транспортних засобів та коефіцієнта нерівномірності η за нелінійною моделлю

При лінійній апроксимації власні транспортні засоби АТП виконують лише по одній завантаженій їзді за цикл, що пов'язано з недосконалістю моделі. Нелінійний варіант моделі дає складніші цикли для кожного транспортного засобу, у тому числі – для орендованих, коли вибираються сумісні замовлення, які включаються в єдиний маршрут.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Коефіцієнт часової нерівномірності замовлень позитивно впливає на можливість отримати більший максимальний сумарний прибуток АТП. Це пояснюється наявністю в горизонті планування різних за тривалістю замовлень, які дають змогу побудувати досконалі цикли.

Структурне моделювання інтегрованого ТП доцільно проводити для конкретних умов заданого АТП.

Коефіцієнт сумісності замовлень є прямою ознакою доцільності кооперації транспортних компаній, оскільки максимальні прибутки прямо-пропорційно залежать від його числового значення.

Лінійна апроксимація моделі господарської діяльності АТП при відомій інформації про потік замовлень дає більш, як 100% похибку результатів. Побудована нелінійна модель дає вищі результати, однак для її розв'язку потрібно використовувати крайові умови.

ЛІТЕРАТУРА

1. Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струсевич В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы. Москва : Наука, 1989. 328 с.
2. Oliskevych, M. Dynamic scheduling of highway cargo transportation. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми транспорту»*. 2019. С. 141–151.
3. Apfelst A., Dashkovskiy S., Nieberding B. Modeling, optimization and solving strategies for matching problems in cooperative full truckload networks. *IFAC Papers OnLine*. 2016. Vol. 49. Issue 2. P. 18–26. URL : <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.03.004>.
4. Нагорний Є.В., Наумов В.С., Омельченко Т.О., Літвінова Я.В. Аналіз теоретичних підходів до вдосконалення логістичного управління в транспортних вузлах. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 4/4. Вып. (64). С. 61–64.
5. Приймак М.В., Мацюк О.В., Маєвський О.В., Прошин С.Ю. Моделі та методи дослідження систем масового обслуговування марківського типу в умовах стохастичної періодичності та їхнє застосування в енергетиці. *Технічна електродинаміка*. 2014. № 2. С. 11–16.
6. Samimi, A., Mohammadian A., Kawamura K., Pourabdollahi Z. An activity-based freight mode choice microsimulation model. *Transportation Letters, The International Journal of Transportation Research*. 2014. № 6(3). P. 142–151. URL : <https://doi.org/10.1179/1942787514Y.0000000021>.
7. Мосьпан Н.В. Формування стратегій автотранспортних підприємств по обслуговуванню разових замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні : дис ... канд. техн. наук : 05.20.01 «Транспортні системи». Харків, 2018. 238 с.
8. Naumov V. Definition of the optimal strategies of transportation market participants. *Transport Problems*. 2012. № 7(1). P. 43–52.
9. Аземша С. Статистическое моделирование работы грузовых автомобилей на международных маршрутах при различных стратегиях принятия обратной загрузки. *Transport and Telecommunication*. 2007. Vol. 8. No 1. P. 53–61.
10. Dai B., Chen H. A multi-agent and auction-based framework and approach for carrier collaboration. *Logistics Research*. 2011. № 3(2-3). С. 101–120.

REFERENCES

1. Tanaev, V.S., Sotskov, Yu.N., & Strusevich, V.A. (1989). Scheduling theory: Multistage systems. The Science. Ch. ed. physical-mat. lit. [Tanaev V. S.,

- Sotskov Iu. N., Strusevich V. A. Teoriia raspisani. Mnogostadiiinye sistemy. Moskva. Nauka [In Russian].
2. Oliskevych, M. (2019). Dynamic scheduling of highway cargo transportation. Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine, 141-151. Available: <https://iccpt.tntu.edu.ua>.
 3. Apfelst A., Dashkovskiy S., Nieberding B. (2016). Modeling, optimization and solving strategies for matching problems in cooperative full truckload networks, IFAC PapersOnLine. Available: <https://www.sciencedirect.com/S2405>.
 4. Nagorniy, E. V., Naumov, V.S., Omelchenko, T.O., & Litvinova, Ya. V. (2013). Analysis of theoretical approaches to thoroughly logistic management in transport. Eastern European Journal of Advanced Technologies, (4 (4)), 61-64. 4/4. [Nagornii E. V., Naumov V. S., Omelchenko T. O., Litvinova Ia. V. Analiz teoretichnikh pidkhodiv do vdoskonalennia logistichnogo upravlinnia v transportnikh vuzlakh. Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii, 4 (4)), 61-64. 4/4 [In Ukrainian].
 5. Priymak, M.V., Matsyuk, O.V., Majeviskiy, O.V., & Proshin, S. Yu. (2014). Models and methods for the advancement of mass service systems of the mark type in the minds of stochastic periodicity and storage in the power industry. Tekhnichna elektrodynamika, (2), 11-16. [Pryimak, M. V., Matsiuk, O. V., Maievskiy, O. V., & Proshyn, S. Yu. (2014). Modeli ta metody doslidzhennia system masovoho obsluhovuvannia markivskoho typu v umovakh stokhastychnoi periodychnosti ta yikhnie zastosuvannia. Tekhnichna elektrodynamika, (2), 11-16) Available: <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/handle/123456> [In Ukrainian].
 6. Samimi, A., Mohammadian A., Kawamura K., Pourabdollahi Z. (2014). An activity-based freight mode choice microsimulation model. Transportation Letters, The International Journal of Transportation Research 6(3) July. 142–151. doi: <https://doi.org/10.1179/1942787514Y.0000000021>.
 7. Mospan, N.V. (2018). Formation of strategies of motor transport enterprises on service of one-time orders for transportation of cargoes in long-distance communication (Doctoral dissertation). [Mospan, N. V. (2018). Formuvannia stratehii avtotransportnykh pidpriemstv po obsluhovuvanniu razovykh zamovlen na perevezennia vantazhiv u mizhmiskomu spoluchenni Available: <http://dSPACE.khadi.kharkov.ua/dSPACE/handle/123456789/2291> [in Ukrainian].
 8. Naumov, V. (2012). Definition of the optimal strategies of transportation market participators. Transport Problems, 7, 43-52.
 9. Azemsha, S.A. (2007). Statistical modeling of the work of trucks on international routes with different strategies for accepting the return load [Electronic resource]. Transport and Telecommunication, 8(1), 53-61. [Azemsha, S. A. (2007). Statisticheskoe modelirovanie raboty gruzovykh avtomobilei na mezhdunarodnykh marshrutakh pri razlichnykh strategiakh priniatiia obratnoi zagruzki [Elektronni resurs] Available: http://www.tsi.lv/sites/default/files/Research_journals/Tr_Tel/V1/7.pdf. [In Russian].
 10. Dai, B., & Chen, H. (2011). A multi-agent and auction-based framework and approach for carrier collaboration. Logistics Research, 3(2-3), 101-120.