

**Рой М.П.**

Національний транспортний університет

## МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ІНТЕГРОВАНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

*У статті досліджується проблема прийняття рішення транспортними компаніями стосовно горизонтальної кооперації з партнерами під час обслуговування заданої множини замовлень на автомобільні вантажні перевезення. Розглядаються унітарні замовлення, які мають бути виконані за одну поїздку. Підприємство може вибрати, або відхилити одне з  $n$ 'яти можливих рішень відносно оренди або найму автомобільних транспортних засобів, обміну інформацією, або самостійно виконати замовлення. Виконання замовлень власним і орендованим парком повинно при цьому здійснюватись у такій послідовності, за якої сумарні витрати інтегрованого транспортного процесу будуть мінімальними. Це означає, що тривалість непродуктивних простоїв вантажівок, а також тривалість незавантажених поїздок буде мінімізовано. Встановлено обмеження стосовно наявної чисельності парку вантажівок. Критерій прийняття сукупності рішень – максимальний сумарний прибуток, отриманий упродовж горизонту планування діяльності. Рішення, які приймаються перевізником, є суперечливими, тому задача має оптимізаційний характер. Запропоновано формалізацію у вигляді задачі математичного програмування. Оскільки серед обмежень на розв'язок є нелінійні вирази, то задача набуває вигляду нелінійної оптимізації. Змінні задачі є цілочисловими, які визначають спосіб виконання кожного із заданих замовлень: самостійно, власним чи орендованим транспортом або за допомогою партнерів. Для отримання гарантованого розв'язку задачі потрібно задатися крайовими умовами, які стосуються двох крайніх випадків: виконання всіх замовлень самостійно за призначення одного автомобіля на одне замовлення або віддача всіх замовлень партнерам. Методика оптимізації транспортного процесу передбачає ітераційне розв'язування задачі за різної початкової кількості наявних транспортних засобів. Методику апробовано на плановому виконанні 10-ти замовлень і за максимальній чисельності 5 автомобілів. Отримано стійкі розв'язки, які дають змогу підвищити прибуток автомобільного перевізника більш ніж удвічі, залежно від ринкових цін на автотранспортні послуги і вартості ресурсів. Методика може бути використана в оперативному плануванні транспортної діяльності підприємств як ефективний засіб обґрунтування їх кооперації.*

**Ключові слова:** вантажні автомобільні перевезення, горизонтальна кооперація, нелінійне програмування.

**Постановка проблеми.** Транспортні компанії України перебувають у стані, коли їхні внутрішні ресурси в основному вичерпані й не в змозі забезпечити конкурентоздатність на ринку вантажних автомобільних перевезень. Адже під час виконання стохастичного вхідного потоку замовлень знизити вимушені простої і незавантажений пробіг транспортних засобів часто є неможливим. Проектуючи транспортно-логістичні процеси, перевізники натомість приймають рішення: 1) чи доцільним є аутсорсинг; 2) чи доцільним є збереження власної логістики в компанії; 3) щодо пошуку співпраці з подібними компаніями для використання потенційної синергії. Оскільки сучасні вимогливі споживачі послуг очікують, що їхні товари будуть доставлені в потрібне місце, у потрібний час, у потрібній кількості, в ідеальному стані й за відповідною ціною, компанії часто мають труднощі із задоволенням цих вимог інди-

відуально або за допомогою аутсорсингових відносин з постачальниками послуг. Це призвело до того, що третій варіант – тісного співробітництва з іншими компаніями – стає вагомим ресурсом підвищення ефективності вантажних перевезень. Однак рішення стосовно співпраці приймаються без відповідних обґрунтувань. Перед тим як укласти угоду про співпрацю з партнерами, потрібно зважити втрати від неї, оцінити ймовірні додаткові надходження. Найголовніше – розробити такий транспортний процес, в якому парк власних та орендованих транспортних засобів буде використовуватись більш ефективно.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Взаємозв'язок компаній, які працюють на ринку вантажних перевезень з різним рівнем співробітництва у ланцюзі постачань, називається вертикальною кооперацією. Наприклад, перевізники можуть співпрацювати, обмінюючись інформацією

щодо виконаних і/або наявних невиконаних замовлень, для вдосконалення методів прогнозування. Іншим поширеним випадком вертикальної співпраці є наймання сторонніх постачальників транспортно-логістичних послуг. Горизонтальна співпраця, з іншого боку, включає взаємодію між одними й тими ж ланцюгами постачання [1, с. 2213]. Це може бути спільний розподіл клієнтів/постачальників або спільне використання транспортних засобів перевізниками. За наявності проблеми недовикористання власного парку автомобілів дослідники називають горизонтальну співпрацю вагомим ресурсом її вирішення [2, с. 131–135]. У рамках горизонтальної логістичної співпраці декілька компаній об'єднують свої транспортні потенціали з метою більш ефективного їх виконання. На практиці результати цих ініціатив є досить суттєвими: відомо про підвищення ефективності виконання замовлень від такої співпраці майже до 30% [3, с. 490; 4, с. 14–15]. Однак горизонтальне співробітництво в транспортній логістиці вимагає визначення механізму моніторингу замовлень, який часто реалізується за допомогою аукціонів (змагання інтересів). Аукціон не є настільки досконалим механізмом, який можна було би використати для здійснення обміну інформацією між перевізниками. Зокрема, розуміння логістичної співпраці вимагає розгляду механізмів спільного прийняття рішень, за яких група учасників спільно виконує розподіл завдань, який є оптимальним із точки зору всієї групи, але не для конкретного учасника [4, с. 17].

Відомі декілька бажаних властивостей, які повинен виконувати механізм розподілу замовлень на транспортування за кооперації. Головна з них – це ефективність розподілу (далі – EP). У стандартному аукціоні EP часто визначає пошук замовлення для перевізника, який цінує його найбільше [5, с. 18–25]. Однак у комбінаторній обстановці із синергією значення, яке логістичний оператор присвоює замовленню, залежить від інших замовлень, які повинен виконати перевізник, тому єдиної «вартості» замовлень не існує. Отже, ми визначаємо розподіл як ефективний, якщо подальший прибуток від його перепродажу є неможливим або, еквівалентно, якщо розподіл максимізує створення вартості за допомогою обміну.

Кооперація перевізників за певних умов досягає в Європейському Союзі рівня концентрованих мереж. Такі мережі, які називають «хаб-спік», відіграють значну роль у роботі транспортних компаній. За даними UNCTAD приблизно 80% світової торгівлі за обсягом та 70% за вартістю транспортується морем і здійснюється переважно

концентрованими терміналами у всьому світі [6]. Більше того, оскільки уряди вводять щораз більше податкових норм, які просувають екологічну політику в транспортній діяльності, інвестиції в такі мережі стають ще більш важливими. Концентрована мережа співпраці перевізників визначається як така, що повністю керується потоком інформації між будь-якими двома вузлами, які обслуговуються на невеликій кількості вузлових пунктів і переміщуються через міжхабові зв'язки [7, с. 1–11]. Отже, хаби служать пунктами перевалки або комутації потоків товарів між вузлами, що не є хабами, замість того, щоб створювати прямі зв'язки між ними. А це значить, що менша експлуатаційна вартість доставки вантажів може бути досягнута тільки завдяки економії від масштабу транспортної мережі. За відсутності останньої хаби стають неефективними.

Транспортні компанії можуть співпрацювати з метою підвищення рівня їх ефективності, обмінюючись замовленнями або вантажомісткістю транспортних засобів. У роботі [8, с. 360–384] представлений підхід до горизонтальної співпраці перевізників, а саме: спільне використання розподільчих центрів (РЦ) з підприємствами-партнерами. Однак тут існує проблема розміщення об'єктів спільної роботи, яка відома як задача цілочислового лінійного програмування. Щоб забезпечити стійкість співпраці, транспортні компанії повинні бути справедливо розподілені між різними учасниками інтегрованого транспортного процесу. Переваги об'єднання перевізників та наслідки різних методів розподілу витрат між ними було проаналізовано на прикладі вантажних автомобільних перевізників Великої Британії [8, с. 360–384]. Наведено чисельні експерименти на основі експериментального проектування. Спільне використання РЦ, на думку авторів статті, може призвести до 21,6% економії коштів. На відміну від випадку спільного виконання потоку замовлень або транспортних засобів, існує можливість збитків від масштабу, якщо кількість партнерів, які можуть очікувати більшої вигоди від співпраці, мають неоднакову частку потоку замовлень. Більше того, результати вказують на те, що горизонтальна співпраця на рівні РЦ добре працює з обмеженою кількістю партнерів і може базуватися на інтуїтивно привабливих методах розподілу витрат, які можуть зменшити складність кооперації та посилити міцність взаємних партнерських відносин. Однак у згаданій статті не враховано, що ефективність співпраці нелінійно залежить від залучення додаткових

партнерів у кооперацію через РЦ. Тому сформульована задача відноситься до задач нелінійного цілочислового програмування, які до цього часу не вирішувались.

Оскільки метою горизонтальної транспортно-логістичної співпраці є підвищення ефективності бізнесу учасників, а співпраця часто призводить до додаткових прибутків або зменшення витрат, чимало досліджень з питань спільної логістики присвячено виявленню ефективних схем розподілу [9, с. 1–34]. Справедливий розподіл витрат або прибутків коаліції є ключовим питанням, оскільки запропонований механізм розподілу повинен спонукати партнерів поводитися відповідно до спільних цілей та може покращити стабільність співпраці.

У цьому дослідженні розглядається горизонтальна співпраця між перевізниками. Співпраця повинна дозволити перевізникам обмінюватися замовленнями клієнтів, щоб зменшити транспортні витрати. Такі види горизонтальних альянсів пов'язані з різними перевагами, в тому числі екологічними, включаючи зменшення викидів шкідливих газів, заторів на дорогах та шумового забруднення. Завдяки цьому величезному потенціалу спільне використання вантажів нещодавно стало широко досліджуваною темою в галузі маршрутизації транспортних засобів [10, с. 1–24]. Однак насправді транспортні компанії неохоче вступають у горизонтальну співпрацю. Потенційні учасники мереж співпраці висловлюють занепокоєння щодо роботи з конкурентами. Вони побоюються, що замість того, щоб виграти від ефектів синергії, вони втратять постійних клієнтів та зазнають збитків від потенційно шкідливої інформації по відношенню до конкурентів. Чесне навантаження та розподіл прибутку вважаються найважливішими аспектами для забезпечення горизонтальної співпраці в реальних відносинах [11, с. 32]. Емпіричні докази цього представлені в роботі [2, с. 138–141]. На основі широкомасштабного опитування щодо потенційних переваг та перешкод для горизонтального співробітництва автори роблять висновок, що загальні постачальники транспортно-логістичних послуг вірять у потенційні переваги горизонтального співробітництва. Однак існує кілька бар'єрів. Переважна більшість респондентів погоджується з тим, що менші компанії в рамках партнерства можуть втратити клієнтів або можуть бути повністю витіснені з ринку. Отже, автори рекомендують потенційним партнерам явно враховувати ці перешкоди та намагатися подолати їх до початку співпраці.

Автори статті [10, с. 1–24] емпірично аналізують, чи є страх втратити клієнтів для конкурентів перешкодою для горизонтальної співпраці між постачальниками логістичних послуг. Дослідники проводять мультиметодний підхід, що складається із спостережень, глибоких інтерв'ю та експериментів на основі генераторів випадкових чисел. У своїх емпіричних результатах автори розрізняють ролі респондентів. Вони показують, що великі компанії, де планування транспортного процесу, та рішення з питань зовнішнього замовлення приймаються різними особами, страх втратити клієнтів для конкурентів є однією з трьох найсильніших перешкод для горизонтальної співпраці.

Увесь проаналізований теоретичний доробок, а також ці емпіричні висновки дослідників, підкреслюють необхідність ретельного вивчення процесу прийняття рішення транспортної компанії про доцільність утримувати конкретних споживачів або конкурентні частки ринку.

**Постановка завдання.** Метою наукової статті є розроблення методики обґрунтування рішення стосовно вибору оптимальних видів співпраці автотранспортного підприємства з партнерами для підвищення ефективності обслуговування відомої множини замовлень на перевезення вантажів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Постановку задачі формалізовано так. Задано множину замовлень  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_N\}$ , яку спрогнозовано на деякий період  $T$ . Замовлення виникають незалежно, але між ними існують відношення сумісності, концентрації, нерівномірності, часової впорядкованості [12, с. 146–147]. Крім цього, кожне замовлення характеризується пунктами відправлення і призначення унітарного вантажу, які позначимо як  $q_v$  та  $q_y$ ,  $v, y = 1..M$ . Відстань доставки  $l_{v,y}$  є відома. З достатнім рівнем точності можна надати оцінку витрат часу на перевезення вантажу між пунктами  $q_v$  і  $q_y$ . Однак для умов даної задачі використаємо величину  $a_{i,j}^m$ . Це є час для руху автотранспортного засобу (АТЗ) під час виконання замовлення  $j$ , яке виконується після виконання замовлення  $i$ . Цей час є більш узагальнений, ніж час, необхідний для поїздки на  $l_{v,y}$ . Час  $a_{i,j}^m$  суттєво залежить від попереднього замовлення  $i$ , оскільки пункт останнього розвантаження може не збігатися з пунктом наступного навантаження, і може бути потрібен нульовий пробіг. Якщо  $a_{i,j} = \infty$ , то це означає, що замовлення  $j$  не може виконуватись після замовлення  $i$ . Є також витрати часу на простій АТЗ у пунктах відправлення і призначення вантажу  $a_{i,j}^s$ , які виникають унаслідок неузгодження операцій транспортного



процесу. Часові затримки  $a_{i,j}^s$  виникають тому, що дозволені часові обмеження замовлень  $i, j$  можуть не збігатися і через неритмічність процесу [13, с. 149]. Для цього розглянемо такий параметр, як часове вікно. Кожне  $Z_i$  замовлення характеризується часовим вікном  $W_i$ , яке визначає дозволений термін виконання замовлення, тобто:

$$W_i = t_i^e - t_i^b, \quad (1)$$

де  $t_i^e$  – найбільш можливе пізніє закінчення виконання замовлення;  $t_i^b$  – найбільш можливий ранній початок виконання замовлення.

У перевізника є в наявності  $R$  АТЗ. Цими транспортними засобами потрібно виконати означену множину замовлень  $Z$ . Однак наявної кількості автомобілів може бути недостатньо, тобто  $R < R_z$ , або надлишок, тобто  $R > R_z$ , де  $R_z$  – кількість фактично задіяних власних АТЗ для виконання заданої множини відомих замовлень. Припускається, що для перевезення можна задіяти  $R_0$  АТЗ перевізників-партнерів на правах оренди. Головну вигоду від орендування може отримати орендар. За наявності інформації про сукупність замовлень, яка відома тільки йому, перевізник приймає рішення про можливість виконання. При цьому можливі його такі дії.

1. Здати в оренду власний транспортний засіб. Дія приймається за допустиму, якщо не вистачає рентабельних замовлень за  $R > R_z$ . Ціна оренди одиниці транспортного засобу приймається на увесь період  $T - P_r$ . Таким чином, дохід від здачі в оренду всіх транспортних засобів можна визначити за виразом:

$$D_1 = (R - R_z) \cdot P_r \quad (2)$$

2. Взяти в оренду додаткові АТЗ, яких не вистачає, тобто  $R < R_z$ . Дія приймається, якщо вигідних замовлень менше, ніж вільних АТЗ. У цьому випадку приймається, що витрати на оренду транспортних засобів перевізника відносяться на собівартість, на увесь період  $T - C_r$ . Витрати на оренду визначаються з виразу:

$$D_2 = (R_z - R) \cdot C_r \quad (3)$$

3. Купити інформацію про невідомі перевізнику замовлення. Ця дія виконується тоді, коли  $R > R_z$ . Вартість інформації про одне замовлення –  $C_z$ . Власне, купівля додаткової інформації відбувається, якщо замовлень недостатньо, і це є альтернативою до здавання в оренду власних АТЗ. Однак при цьому є ризик, що куплене й прийняте до виконання замовлення може бути нерентабельним.

4. Продати інформацію про наявні, проте не прийняті до виконання замовлення. Ціна продажу –  $P_z$ . Це рішення приймається, коли наявні замовлення є збитковими для перевізника.

5. Виконати замовлення власними АТЗ. У цьому випадку здійснюються витрати підприємства на рух транспортних засобів  $C_m$  і на простоювання  $C_r$ . Для виконання цієї дії необхідно, щоб наявних АТЗ було достатньо, а доступні замовлення були рентабельними. У результаті отримуються надходження від перевезень  $P_m$ , обсяг яких залежить від пробігу транспортних засобів з вантажем на даному замовленні  $l_z$ .

Дії 1–5 приймаються для кожного замовлення так, щоб загальний прибуток від перевезень був максимальний. Очевидно, що дії 1–5 є взаємно суперечливими. Тому задача максимізації прибутку є багатоваріантною, оптимізаційною. Потрібно виконати план перевезення так, щоб отримати максимальний прибуток, використавши при цьому власні АТЗ, орендувавши необхідні, а також здійснивши маніпуляції з наявною інформацією стосовно наявних чи відсутніх замовлень. При цьому допускається, що окремі замовлення не будуть виконуватись через їх невідповідність. Якщо після розподілу АТЗ деякі з них залишаються нерозподіленими, то вони здаються в оренду. Якщо внаслідок аналізу наявних замовлень виявляється брак АТЗ у перевізника, то перевізник орендує їх у наявних партнерів. Таким чином, у результаті оптимізації вибираються ті варіанти розподілу замовлень, які дають максимальний прибуток за заданими початковими даними. Для її розв'язування введемо змінну  $x_{i,j} = \{0,1\}$ . Змінна набуває значення «0», якщо замовлення  $z$  не виконується власними АТЗ, і «1», якщо виконується ними. Вираз для знаходження максимального прибутку матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \Pi = & (R - R_z) \cdot P_r - (R_z - R) \cdot C_r - (R_z - R) \cdot C_z + \\ & + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot (1 - x_{i,j}) \cdot P_z + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot x_{i,j} \cdot P_m - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot x_{i,j} \cdot C_m - \\ & - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^s \cdot x_{i,j} \cdot C_s \Rightarrow \max \end{aligned} \quad (4)$$

У виразі (4) перший – четвертий члени відповідають описаним діям 1–4. П'ятий член – це надходження від виконання перевезень власними АТЗ. Шостий член – це витрати на перевезення власним транспортом, пов'язані з поїздками з вантажем. Сьомий член – це витрати, пов'язані з простоюваннями і затримками транспортних засобів під час виконання замовлень. Для розв'язування задачі введено ще два фіктивні замовлення:  $Z_0$  – формальний початок проекту,  $Z_F$  – формальне закінчення проекту наприкінці терміну  $T$ . Змінна  $x_{0,j}$ , а також величина  $a_{0,j}$ , означають виконання замовлення  $Z_j$  без попереднього виконання жодного замовлення. Таким чином, це – змінні, які визначають «чисте»

виконання замовлення під час виїзду з бази перевізника. У цьому випадку організація процесу не впливає на тривалість виконання замовлень.

Під час складання плану перевезень повинні виконуватись обмеження на змінні:

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} - \sum_{i=1}^N x_{i,j} = 0, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{N+F} x_{i,j} - \sum_{j=0}^N x_{i,F} = -R_z, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{N+F} x_{i,j} - \sum_{j=0}^N x_{j,F} = R_z, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} \leq 1, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j} \leq 1, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^N (|x_{0,i} - x_{i,F}|) = R_z, \quad (10)$$

де  $x_{i,F}$ ,  $x_{j,F}$  – формальні змінні, які відповідають завершеному виконання замовлень  $Z_i$ ,  $Z_j$  відповідно;  $x_{0,i}$ ,  $x_{0,j}$  – формальні змінні, які відповідають початку виконання замовлень  $Z_i$ ,  $Z_j$  відповідно;  $R_z$  – наперед задана кількість АТЗ, які використовуються в процесі виконання перевезень. Ця величина застосовується тому, що під час кожного кроку моделювання спочатку невідомо, за якого значення  $R_z$  числове значення критерію (4) буде максимальним. Тому величина  $R_z$  змінюється в межах  $1 \leq R_z \leq R$ , де  $R$  – максимальна кількість автомобілів (власних та орендованих), які можна залучити до перевезень. Очевидно, що  $R < N$ .

Обмеження (5) означає, що кількість вихідних автомобілепотоків для виконання  $j$ -го замовлення не повинно перевищувати кількості вхідних. Таке обмеження чинне для всіх змінних  $x_{i,j}$ ,  $i, j = 1..N$  і не стосується фіктивних.

Обмеження (6) означає, що кількість вихідних автомобілепотоків від формального початку проекту не перевищує наперед заданої величини  $R_z$ . Така ж кількість автомобілепотоків повинна входити у формальне завершення проекту, про що означає обмеження (7).

Оскільки в даній задачі замовлення є унітарними, тобто кожне з них виконується однією поїздкою з вантажем, то застосовано обмеження (8), яке означає, що кількість вихідних автомобілепотоків для виконання  $j$ -го замовлення не перевищує одного. З цієї ж причини обмеження (9) означає, що кількість вхідних автомобілепотоків для виконання  $j$ -го замовлення не перевищує одного.

Для того щоб у результаті розв'язання задачі оптимізації позбутись циклічних автомобілепотоків, які не беруть початок у формальному моменті проекту  $Z_0$  і не завершуються у формальний момент

$Z_F$ , було введено обмеження (10). Це обмеження означає, що кількість маршрутів від формального початку до формального завершення проекту в цілому має дорівнювати кількості задіяних АТЗ, що фактично виключає можливість циклів, отже, і неоднозначних результатів моделювання. Обмеження (2.10), власне, приводить задачу оптимізації до нелінійного вигляду, оскільки в його виразі використано модуль різниці змінних.

Під час виконання оптимізації наперед невідомо, за якої кількості необхідних АТЗ прибуток від виконання плану перевезень буде максимальним. Тому застосовано ітераційне моделювання при зміні кількості задіяних автомобілів. На рис. 1, а–д показано приклади результатів оптимізації інтегрованого транспортного процесу за кількості необхідних транспортних засобів, відповідно  $R = 1, 2, 3, 4, 5$ . На рис. 1, а–д позначено: 0 – початкове фіктивне замовлення, яке означає формальний початок проекту;  $F$  – кінцеве фіктивне замовлення, яке означає формальне завершення проекту

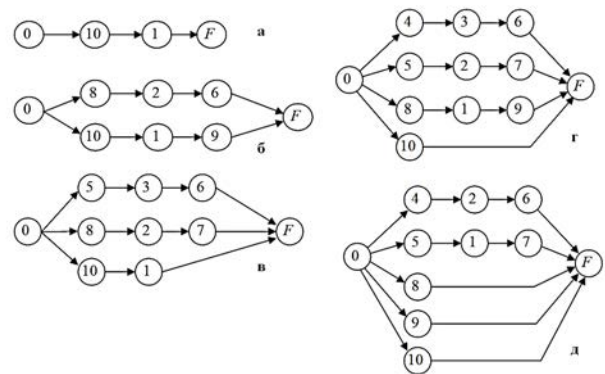


Рис. 1. Оптимальні схеми виконання замовлень: а)  $R=1$ ; б)  $R=2$ ; в)  $R=3$ ; г)  $R=4$ ; д)  $R=5$

Як видно з рис. 1а, оптимальним є варіант виконання лише двох замовлень – № 10 і 1 у названому порядку. Прибуток, який отримується при цьому – 10 418 грн. При цьому частина прибутку отримується: а) 71,7% – виконання двох замовлень; б) 16,8% – від продажу інформації про 8 інших відомих замовлень; в) 11,5% – від здачі в оренду незадіяних 4-х АТЗ. Кількість власних транспортних засобів всього – 5. На рис. 1б показано оптимальний варіант виконання замовлень, якщо кількість вільних АТЗ –  $R=2$ . У цьому випадку виконується 6 замовлень. Прибуток, який отримується при цьому – 14 815 грн. Частина прибутку отримується: а) 87,2% – виконанням шести замовлень; б) 6,7% – від продажу інформації про 4 інші відомі замовлення; в) 6,1% – від здачі в оренду незайнятих АТЗ. В оренду здаються 3 АТЗ. На рис. 1в показано оптимальний варіант виконання замовлень

за кількості вільних АТЗ, які можна задіяти –  $R=3$ . Виконується 8 замовлень. 2 замовлення продається партнерам. Прибуток, який отримується при цьому – 18 793 грн. При цьому частина прибутку отримується: а) 95,5% – виконанням 8 замовлень; б) 1,3% – від продажу інформації про 2 інших відомих замовлень; в) 3,2% – від здачі в оренду зайвих транспортних засобів. При цьому в оренду здаються 2 АТЗ. На рис. 1г показано оптимальний варіант виконання замовлень за кількості вільних АТЗ, які можна задіяти –  $R=4$ . Прибуток, який отримується при цьому – 20 624 грн. Частина прибутку отримується: а) 98,5% – виконанням дев'яти замовлень; б) 0% – від продажу інформації про одне інше відоме замовлення; в) 1,5% – від здачі в оренду АТЗ. При цьому в оренду здається 1 транспортний засіб. На рис. 1д показано оптимальний варіант виконання замовлень за кількості вільних транспортних засобів, які можна задіяти –  $R = 5$ . Сумарний прибуток – 20 624 грн. Частина прибутку отримується: а) 98,5% – виконанням дев'яти замовлень; б) 1,2% – від продажу інформації про одне інше відоме замовлення; в) 0% – від здачі в оренду зайвих транспортних засобів. При цьому в оренду не здається жоден транспортний засіб. Отримано також варіанти транспортного процесу за потреби, відповідно,  $R = 6 - 10$  АТЗ. При  $R = 10$  розв'язок задачі є тривіальним, оскільки всі 10 відомих замовлень виконуються всіма 10-ю наявними транспортними засобами. Таким чином, отримані результати моделювання за сталих параметрів вхідного потоку замовлень і змінної кількості залучених АТЗ можна відобразити на рис. 2. Як видно з гістограми, найбільша частина доходів отримується підприємством саме від перевезення. Лише коли підприємство має в наявності 5 власних АТЗ, а використовує для перевезень 1–2, то доходи від здачі в оренду

автомобілів ледве перевищують 10% від сукупних. Доходи від продажу інформації для підприємства означають, що з 10-ти відомих замовлень  $10-R$  буде продано партнерам, де  $R$  – кількість задіяних АТЗ, разом з орендованими. Максимальні (100%) доходи від перевезень отримано в разі залучення 6 АТЗ: 5 – власних + 1 орендований і за 8 залучених АТЗ: 5 власних + 3 орендованих.

Як видно з результатів, доходи перевізника в разі залучення орендованих АТЗ зростають. Це пояснюється використанням більшої кількості замовлень. Однак прибуток перевізника не збільшується. Це видно з рис. 3. Так, якщо кількість орендованих АТЗ перевищує 3, або понад 60% від задіяних власних, то прибуток перевізника зменшується, що пов'язано зі зростанням орендної плати і неефективним використанням АТЗ, які є у власному розпорядженні.

**Висновки.** Сформульована задача планування виконання замовлень за умови горизонтальної кооперації перевізників є розподільчою за своїм змістом, багатопараметричною і нелінійною – за видом моделі. Структурне моделювання та оптимізація інтегрованого транспортного процесу, згідно із розробленим методом, дало змогу з'ясувати розподіл власних АТЗ, необхідність оренди та обсягу інформації, які в сукупності призводять до максимального прибутку транспортної компанії за наявності часових вікон. Різниця максимального прибутку за оптимальної структури процесу може перевищувати інші, неоптимальні варіанти на 10–12 тис. грн. за 10-ти відомих замовлень, 5 наявних АТЗ, що становить 71–73% від сукупного доходу. Запропонований метод може бути використаний для оперативного прийняття рішення стосовно доцільності співпраці транспортної компанії з партнерами.

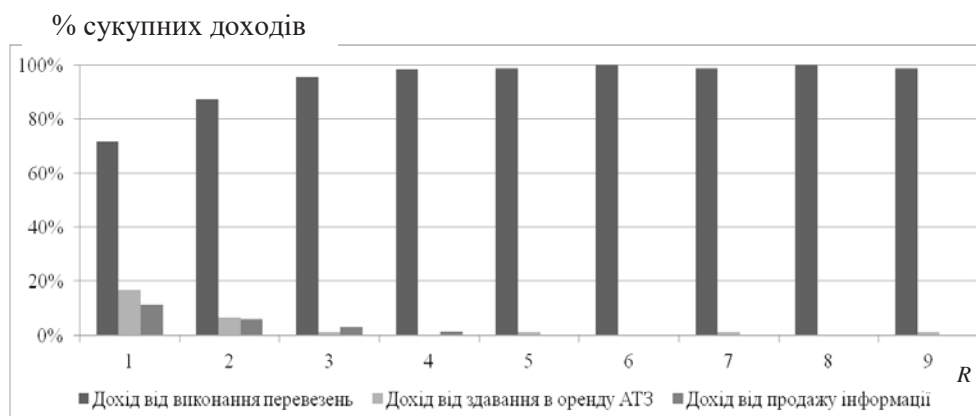
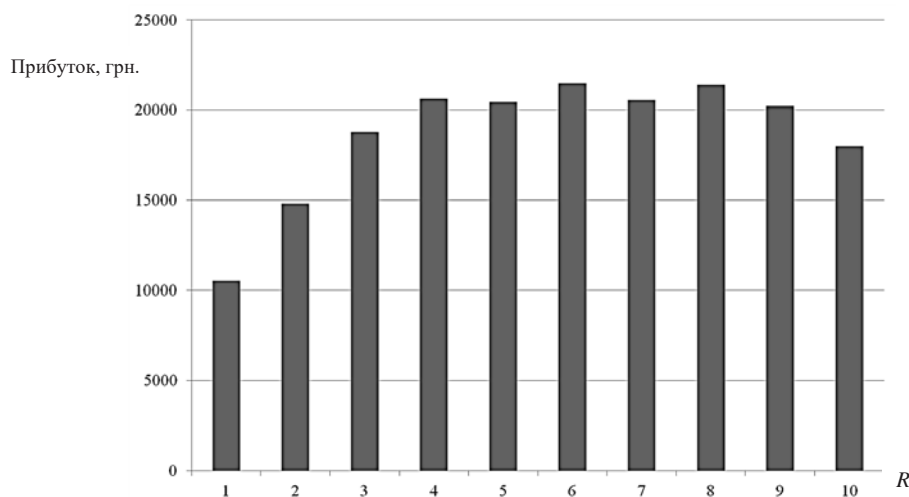


Рис. 2. Структура доходів перевізника за різної кількості задіяних АТЗ



**Рис. 3. Залежність прибутку перевізника від кількості задіяних власних та орендованих транспортних засобів за максимальної кількості 10 відомих замовлень**

#### Список літератури:

1. Ma Ke., Pal R., Gustafsson E. What modelling research on supply chain collaboration informs us? Identifying key themes and future directions through a literature review. *International Journal of Production Research*. 2019. № 57 (7). P. 2203–2225. DOI: 10.1080/00207543.2018.1535204
2. Cruijssen F., Cools M., Dullaert W. Horizontal cooperation in logistics: Opportunities and impediments. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2007. № 43 (2). P. 129–142. DOI: 10.1016/j.tre.2005.09.007
3. Gansterer M., Hartl R., Vetschera R. The cost of incentive compatibility in auction-based mechanisms for carrier collaboration. *Networks*. 2019. № 73 (4). P. 490–514. DOI: 10.1002/net.21828
4. Ganstererand M., Hartl R.F. Collaborative vehicle routing: A survey, *Eur. J. Operational Research*. 2018. № 268. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.10.023
5. Wurman P., Walsh W., Wellman M. Flexible double auctions for electronic commerce: Theory and implementation. *Decision Support Systems*. 1998. № 24. P. 17–27. DOI: 10.1016/S0167-9236(98)00060-8
6. Road freight transport statistics. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road\\_freight\\_transport\\_statistics#Growth\\_in\\_EU\\_road\\_freight\\_transport\\_for\\_the\\_fifth\\_consecutive\\_year](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_statistics#Growth_in_EU_road_freight_transport_for_the_fifth_consecutive_year) (дата звернення: 01.09.2020).
7. Two genetic algorithms for solving the uncapacitated single allocation p-hub median problem / J. Kratica et al. *European Journal of Operational Research*. 2007. № 182. P. 15–28. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.06.056
8. Yee Ming Ch., Bo-Yuan W. Vehicle-based interactive management with multi-agent approach. *Journal of Industrial Engineering and Management*. 2009. Vol. 2. Iss. 2. P. 360–386. DOI: 10.3926/jiem.v2n2.p360-386
9. Analysis of collaborative savings and cost allocation techniques for the cooperative carrier facility location problem / L. Verdonck et al. *Journal of the Operational Research Society*. 2016. № 67 (6). P. 853–871. DOI: 10.1057/jors.2015.106
10. Improved collaborative transport planning at Dutch logistics service provider Fritom / P. Buijs et al. *Interfaces*. 2016. № 46 (2). P. 119–132. DOI: 10.1287/inte.2015.0838
11. Собкевич О.В., Михайличенко К.М., Смельянова О.Ю. Механізми ефективного використання та розвитку потенціалу транспортно-дорожнього комплексу України: аналіт. доп. Київ : НІСД, 2014. 60 с.
12. Olishevych M. Dynamic scheduling of highway cargo transportation ICCPT 2019 : Proceedings of 1st Internat. Scientific Conference «Current Problems of Transport 2019» (Ternopil. May, 2019). Ternopil, Ukraine, 2019. P. 141–151. DOI: 10.1007/s10489-006-0033-z
13. Прокудін Г.С., Олісевич М.С. Вплив структури транспортної системи на показники якості доставки вантажів у міжміському сполученні. *Вісник Національного транспортного університету*. 2019. № 1. С. 143–158.



---

**Roi M.P. METHOD OF OPTIMIZATION OF THE INTEGRATED TRANSPORT PROCESS OF CARGO ROAD TRANSPORTATION**

*The article investigates the problem of decision making by transport companies regarding horizontal cooperation with partners by servicing a given set of orders of road freight. Unitary orders to be executed in one ride are considered. The company can choose, or reject one of the five decisions regarding the lease or rental of vehicles, the exchange of information, or the self-fulfillment of known orders. Execution of orders by own and leased fleet should be carried out in such a sequence that the total costs of the integrated transport process will be minimal. This means that the duration of unproductive downtime of trucks, as well as the duration of unloaded rides will be minimized. Restrictions have been placed on the available fleet of trucks. The criterion for making a set of decisions is the maximum of total profit received in planning horizon. The decisions made by the carrier are contradictory, so the problem is optimizing one. Method formalization in the form of a problem of mathematical programming is offered. Since the constraints on the solution include nonlinear expressions, the problem formed as nonlinear optimization. Variable tasks are integers that determine how to fulfill each of the given orders: independently, by oneself, or by rented transport, or with a help of partners. To obtain a guaranteed solution of the problem, one needs to set boundary conditions, which apply to two extreme cases: the execution of all orders independently when assigning one car to one order; or the return of all orders to partners. The method of optimization of the transport process involves iterative solution of the problem with different initial number of available vehicles. The method was tested on the planned execution of 10 orders and a maximum number of 5 trucks. There are stable solutions that can more than double the profit of a road carrier; depending on market prices for road transport services and the cost of resources. The technique can be used in the operational planning of transport activities of enterprises as an effective tool of justifying their cooperation.*

**Key words:** road freight transportation, horizontal cooperation, nonlinear programming.