



**RS Global**  
Journals

**Scholarly Publisher**  
**RS Global Sp. z O.O.**  
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773  
Tel: +48 226 0 227 03  
Email: editorial\_office@rsglobal.pl

<b>JOURNAL</b>	World Science
<b>p-ISSN</b>	2413-1032
<b>e-ISSN</b>	2414-6404
<b>PUBLISHER</b>	RS Global Sp. z O.O., Poland
<b>ARTICLE TITLE</b>	МЕТОДИКА ВИБОРУ ПОСЛІДОВНОСТІ ВИКОНАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ НА МІЖМІСЬКІ ВАНТАЖНІ АВТОМОБІЛЬНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ
<b>AUTHOR(S)</b>	Шарай Світлана Михайлівна, Оліскевич Мирослав Стефанович, Рой Максим Петрович
<b>ARTICLE INFO</b>	Svitlana Sharai, Myroslav Oliskevych, Maksym Roi. (2021) Method of Selection of Sequence of Execution of Orders for Long-Term Freight Road Transportation. World Science. 9(70). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30092021/7688
<b>DOI</b>	<a href="https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092021/7688">https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092021/7688</a>
<b>RECEIVED</b>	04 August 2021
<b>ACCEPTED</b>	07 September 2021
<b>PUBLISHED</b>	11 September 2021
<b>LICENSE</b>	 This work is licensed under a <b>Creative Commons Attribution 4.0 International License</b> .

© The author(s) 2021. This publication is an open access article.

## МЕТОДИКА ВИБОРУ ПОСЛІДОВНОСТІ ВИКОНАННЯ ЗАМОВЛЕНЬ НА МІЖМІСЬКІ ВАНТАЖНІ АВТОМОБІЛЬНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ

*Шарай Світлана Михайлівна, Кандидат технічних наук, доцент, Кафедра «Міжнародні перевезення та митний контроль», Національний транспортний університет, Київ, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6568-4990>*

*Оліскевич Мирослав Стефанович, Доктор технічних наук, доцент, Кафедра Експлуатації та технічного сервісу машин, Львівський Національний аграрний університет, Львів, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6237-0785>*

*Рой Максим Петрович, Аспірант, Кафедра «Міжнародні перевезення та митний контроль», Національний транспортний університет, Київ, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5788-4220>*

DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/30092021/7688](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092021/7688)

---

### ARTICLE INFO

**Received:** 04 August 2021  
**Accepted:** 07 September 2021  
**Published:** 11 September 2021

### KEYWORDS

freight transportation, incoming stochastic flows, order compatibility, mathematical programming.

### ABSTRACT

The article is devoted to the problem of selection and distribution of known orders for long-distance transportation of goods by small transport companies. The ordering of the incoming flow of orders for transportation of cargoes taking into account time restrictions on their performance is considered. The incoming order flows of such enterprises are stochastic and different in the structure of transport cycles. The random nature of orders leads to the fact that their execution requires additional unproductive costs of the carrier's resources. It is taken into account that orders for transportation are unequally correlated. The article assumes that the compatibility of two orders, which are performed in a common route by one vehicle, characterizes the additional time spent on mileage and downtime.

The pairwise coefficient of order compatibility is the ratio of the "net" time for order fulfillment to the time required for preparatory additional operations and trips in connection with the previous execution of another order. The set of orders can also be characterized by the average group value of the compatibility factor. The theoretical research model is based on the principle that from any set of known and ready to execute orders, you can choose a subset for which the average group compatibility factor is maximum. This means that the selected subset can be performed with greater efficiency by a given fleet of vehicles without the involvement of funds for cooperation. Therefore, the task of operational planning of the park in terms of stochastic input flow can be simplified to linear integer programming. A new version of the problem has been formulated, which allows to find a guaranteed exact solution for a suitable operating time of calculation. The approbation of the theoretical model at search of optimum plans of transportation of cargoes at the small motor transport enterprise is executed. The influence of the average group compatibility coefficient on the total profit of the enterprise from transportations in the form of the regression equation is established. The theoretical model agrees well with the empirical data according to Fisher's criterion. An algorithm for using the initial analysis of the incoming flow of orders to increase the profitability of the transport company is proposed.

---

**Citation:** Svitlana Sharai, Myroslav Oliskevych, Maksym Roi. (2021) Method of Selection of Sequence of Execution of Orders for Long-Term Freight Road Transportation. *World Science*. 9(70). doi: 10.31435/rsglobal\_ws/30092021/7688

---

**Copyright:** © 2021 Svitlana Sharai, Myroslav Oliskevych, Maksym Roi. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

---

**Вступ.** Автомобільні транспортні підприємства, які виконують вантажні міжміські перевезення і володіють невеликим парком транспортних засобів (5-15 одиниць), зазнають

значного утиску від конкуренції. Потоки транспортних замовлень для таких підприємств є стохастичними. У більшості випадків ці потоки є найпростішими Марковськими [1]. Однак, виконання цих замовлень у порядку їх надходження до перевізника, без обґрунтування їх розподілу між транспортними засобами, відповідної маршрутизації і порядку приводить до того, що парк вантажівок використовується неефективно. Міжміські вантажні перевезення є розподілені на значній території. Пробіги з вантажем як і незавантажені пробіги є досить значними. Замовлення характеризуються часовими вікнами. Робота водійських екіпажів є регламентованою. Ці фактори зумовлюють невідворотні простої рухомого складу, недотримання термінів доставки, великі марні пробіги, що позбавляє автотранспортне підприємство конкурентних переваг [2].

Іноді перевізники застосовують горизонтальну співпрацю, зміст якої полягає в спільному розподілі клієнтів/постачальників, або спільному використанні транспортних засобів перевізниками. Однак, обсяги і види співпраці також впливають на кінцеву ефективність кожного підприємства зокрема [3]. Тому задача впорядкування вхідного потоку замовлень на перевезення вантажів з врахуванням часових обмежень на їх виконання є актуальною. Актуальність її посилюється й тим, що така задача містить велику кількість змінних, яка зростає у міру того, як збільшуються кількість підприємств, що взаємодіють, провізна спроможність перевізників, концентрація замовлень на заданій транспортній мережі, та зростають вимоги до оперативності виконання перевезень [4, 6]. Зрештою, впорядкування вхідного потоку випадкових замовлень є задачею нелінійної оптимізації, оскільки вона пов'язана з розподілом вантажопотоків між окремими транспортними засобами, а фактична продуктивність і прибутковість вантажних перевезень є показниками, які дискретно залежать від кількості замовлень, які виконуються і від кількості автомобілів, які залучені за одиницю часу [7].

У зв'язку зі складністю аналітичного розгляду задачі були спроби застосувати імітаційне моделювання для пошуку рішення [5, 8]. Однак, результати імітації не завжди вказують на ефективні шляхи вирішення проблеми. Тому нами було застосовано редукцію початкової задачі до рівня поліноміального алгоритму, який можна виконати для достатнього великого масиву вхідних даних з допомогою сучасних комп'ютерів та відомого програмного забезпечення [10].

Метою цих досліджень було підвищити ефективність керування парком вантажних автотранспортних засобів шляхом впорядкування вхідного потоку замовлень і раціонального розподілу їх виконання між наявними вантажівками з врахуванням часових обмежень. При цьому оперативні рішення перевізника повинні бути обґрунтовані на основі гарантованого точного розв'язку комплексної задачі про призначення, маршрутизацію та впорядкування структури інтегрованого транспортного процесу.

**Матеріали і методи.** При наявному стохастичному потоці замовлень і ймовірній кооперації з партнерами, автомобільний перевізник вимушений приймати такі рішення: 1) виконати самостійно, чи доручити виконання замовлення партнерам; 2) залучити увесь власний парк вантажівок для виконання відомого обсягу перевезень, чи орендувати/здати в оренду, відповідно, необхідні додаткові / зайві, що не використовуються засоби. А якщо парк власних + орендованих транспортних засобів є сформований, то потрібно розробити інтегрований транспортний процес для нього, тобто обґрунтувати маршрути і розклади роботи вантажівок. Саме такі задачі є експоненційними за складністю [12]. Тобто при зростанні обсягу вхідних даних їх розв'язок не є гарантованим. Нами застосовано припущення, що із загальної задачі оперативного керування можна виокремити часткові задачі на основі попереднього аналізу вхідного потоку замовлень. Така декомпозиція загальної задачі дає змогу отримати загальне рішення на основі точних часткових, що не зменшує його практичної цінності. Тому у цих дослідженнях нами оцінювалось вплив рішення перевізника лише стосовно вибору замовлень та послідовності виконання на прибуток підприємства.

Теоретична модель досліджень базується на такій формалізації. Замовлення на перевезення вантажів складають стаціонарний потік і за деякий час  $T$  вони утворюють множину  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_N\}$ . Замовлення є незалежними. Але між ними існують відношення часової сумісності, зміст якої полягає у тому, що витрати часу, коштів, або інших ресурсів на виконання заданим транспортним засобом будь-якого з множини  $Z$  замовлення  $z_j$ ,  $j=1..N$  суттєво залежить від того, яке замовлення  $z_i$  виконувалось безпосередньо перед  $z_j$  [11]. Кожне замовлення характеризується пунктами відправлення і призначення консолідованого вантажу, які позначимо як  $q_v$  та  $q_y$ ,  $v, y=1..M$ . Відстань доставки  $l_{v,y}$  є відомою. З достатнім рівнем

точності можна надати оцінку витрат часу на перевезення вантажу між пунктами  $q_v$  і  $q_u$ . Величина  $a_{i,j}$  – це є час, для руху автотранспортного засобу під час виконання замовлення  $j$  після виконання замовлення  $i$ . Цей час є більш узагальненим, ніж час, необхідний для поїздки на  $l_{v,u}$ . Якщо  $a_{i,j} = \infty$ , то це означає, що замовлення  $j$  не може виконуватись після замовлення  $i$ . Є також витрати часу на простій транспортного засобу у пунктах відправлення і призначення вантажу  $a_{i,j}^s$ , які виникають внаслідок неузгодження операцій транспортного процесу. Часові затримки  $a_{i,j}^s$  виникають тому, що дозволені часові обмеження замовлень  $i, j$  можуть не співпадати і через неритмічність процесу [13]. 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 пізнє закінчення виконання замовлення;  $t_i^b$  – найбільш можливий ранній початок виконання замовлення.

Враховуючи часові вікна замовлень, а також витрати часу на їх виконання, можна оцінити сумісність замовлень коефіцієнтом сумісності у послідовності  $i \rightarrow j$ , який визначимо з виразу [10]:

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

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

Аналогічно виразу (2) можна вказати сумісність будь-яких двох замовлень при вказаній послідовності їх виконання. Якщо замовлення не виконуються безпосередньо і послідовно одним і тим ж транспортним засобом, то величина  $a_{i,j}$ , а також їх коефіцієнт сумісності не має змісту. Бажаним значенням коефіцієнта сумісності є  $K_{c.i,j} \approx 1.0$ , оскільки при цьому зникають непродуктивні витрати на виконання перевезень. У перевізника є в наявності  $R$  вантажівок. Цими транспортними засобами потрібно виконати означену множину замовлень  $Z$ . Однак, якщо скласти відповідну матрицю часових зв'язків ( $a_{i,j}$ ), а також матрицю коефіцієнтів сумісності ( $K_{c.i,j}$ ) для тієї ж самої множини замовлень, то можна побачити, що коефіцієнти  $0 \leq K_{c.i,j} < 1$ . Це було основою для поділу множини замовлень  $Z$  при аналізі вхідного потоку на такі підмножини  $Z_1, Z_2, \dots, Z_U$ , для кожної з яких  $K_{c.i,j} \geq [K_{c.min}]$ , де  $[K_{c.min}]$  – деяке мінімальне значення коефіцієнта сумісності. Якщо в множині  $Z$  є деяке замовлення  $z_\xi$ , для якого не існує жодного значення коефіцієнта  $K_{c.i,\xi} \geq [K_{c.min}]$ , або  $K_{c,\xi,i} \geq [K_{c.min}]$ , то таке замовлення потрібно виконувати ізольовано, окремим транспортним засобом. Для оцінки сумісності усіх замовлень горизонту використаємо середнє групове 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 є замовлення, які вибрані в одну підмножину. При обчисленні цього коефіцієнта не береться до уваги те, що замовлення можуть виконуватись різними перевізниками по кооперації. Тому даний коефіцієнт є достатнім для оцінки ефективності діяльності лише одного перевізника. Тому для такої оцінки використано критерій, – сумарний прибуток автотранспортного підприємства ( $TI$ ) за період  $T$ :

$$TI = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N l_{i,j} \cdot x_{i,j} \cdot P_m - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot x_{i,j} \cdot C_m - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^s \cdot x_{i,j} \cdot C_s \Rightarrow \max \quad (4)$$

де  $l_{i,j}$  – пробіг автомобіля з вантажем для виконання  $j$ -го замовлення після  $i$ -го;  $P_m$  – тариф на виконання пробігу з вантажем  $C_m$ ,  $C_t$  – 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.

Пошук оптимального значення критерію (4) є задачею цілочисельного програмування. Задача є лінійною, а її обмеження стосуються заданої кількості транспортних засобів, часових

вікон замовлень, пріоритетності замовлень. Така задача має гарантований точний розв'язок, на відміну від відомого її формулювання з врахуванням кооперації [9]. Однак, щоб розв'язати таку задачу методами лінійного програмування, потрібно виконати поділ множини  $Z$  на підмножини, оскільки початкова множина  $Z$  є занадто великою для провізної спроможності парку одного перевізника, а замовлення, які до неї входять характеризуються низьким коефіцієнтом  $K_c$ . Тому було сформульовано і розв'язано задачу вибору замовлень для одної підмножини  $Z_u$ , як найпростіший випадок.

Отже, задано множину  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_N\}$  замовлення, що входять до множини  $Z$ , характеризуються матрицями  $(a_{i,j})$ ,  $(K_{c,i,j})$  і середнім груповим коефіцієнтом  $K_c$ , який служить, у даному випадку, критерієм відбору:

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (K_{c,i,j} \cdot \lambda_j)}{N} \rightarrow \max, \quad (5)$$

де  $\lambda_j = \{0;1\}$  – двійкова змінна, яка набуває значення 1, якщо  $j$ -е замовлення входить до підмножини  $Z_u$  і 0 – в протилежному випадку.

Обмеження:

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j > 1. \quad (6)$$

Обмеження (6) стосується того факту, що хоча б одне замовлення із множини  $Z$  повинно бути виконане. Оскільки максимальна кількість замовлень, яку мають виконати автомобілі перевізника, є невідома, то й максимальне значення суми (6) залишається відкритим і буде виконуватись лише нерівність:

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j < N.$$

Наведемо приклад застосування задачі впорядкування вхідних потоків, який був застосований для малої транспортної компанії (в наявності  $R_{\max}=6$  вантажних автопоїздів), що виконує міжміські перевезення вантажів на території Львівської області (Україна). Щодобовий наряд на перевезення складається з випадкових одноразових замовлень. Середня кількість замовлень, готових до виконання – 20. Коефіцієнт сумісності замовлень  $K_c$  коливається в межах 0,182-0,288, при частці цілком несумісних замовлень ( $K_{c,i,j} \approx 0$ ) 13%. Ймовірність появи у вхідному потоці цілком сумісних замовлень  $P_c < 0,3\%$  за увесь період спостереження на підприємстві (травень-липень 2020 року). Тому такі замовлення вважаються рідкісними. Використовуючи методіку, викладену в статті [12], було обчислено матрицю часових зв'язків для структурної оптимізації. За ними обчислено коефіцієнти попарної сумісності. Оскільки максимальна кількість замовлень, які повинні увійти в множину  $Z_u$ , залежить від кількості задіяний транспортних засобів і від послідовності виконання замовлень, то наступні дії в розв'язку задачі проводились ітераційно.

1. Приймаємо, що кількість задіяних транспортних засобів  $R=R_{\max}$ . Максимальна кількість замовлень у множині  $Z_u=10$ , становить 50% від кількості у множині  $Z$ .

2. Проводиться вибір дійсної кількості замовлень за критерієм (5). В результаті отримано множину  $Z_u$ , для якої було досягнуто числового значення  $K_c \geq 0,43$  на максимальній ітерації.

3. Для отриманої множини  $Z_u$  розв'язано задачу розподілу і маршрутизації за критерієм (4). Якщо внаслідок розв'язку отримано, що кількість задіяний транспортних засобів  $R \leq R_{\max}$ , то потрібно перейти до кроку 1 і збільшити розмір  $Z_u$  на 1. Якщо  $R=R_{\max}$ , однак при цьому у множині  $Z_u$  виявлені невиконані замовлення, то потрібно перейти до кроку 1 і зменшити множину  $Z_u$  на 1. В іншому випадку оптимальне рішення вважалось знайденим.

Також замість критерію (5) можна використовувати його видозміну:

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (K_{c,i,j} \cdot \lambda_j)}{N} \geq [K_{c,\min}], \quad (7)$$

Однак, вираз (7) можна застосувати при наявності апріорної інформації про потік замовлень. Для цього було виконано експериментальні дослідження на підприємстві, яке виконує замовлення з міжміської доставки вантажів.

#### Результати.

Метою проведення експериментального дослідження було встановити емпіричну залежність між керованими факторами і функцією відгуку, а саме сумарним прибутком підприємства:

$$TI = F(K_c, R), \quad (8)$$

де  $TI$  – сукупний прибуток підприємства від перевезень вантажів;  $K_c$  – коефіцієнт сумісності замовлень;  $R$  – кількість залучених транспортних засобів.

Проводився пасивний експеримент, – спостереження за отриманими результатами від діяльності АТП при застосуванні рекомендацій стосовно розподілу замовлень між екіпажами і маршрутизацією транспортних засобів. Кількість рівнів факторів: для  $K_c$  – 19, для  $R$  – 3. Був проведений повнофакторний експеримент. Кількість спостережень –  $19 \times 3 = 57$ . На першому етапі фактори  $K_c$  і  $R$ , було перевірено на мультиколінеарність, тобто на відсутність лінійних зв'язків між незалежними змінними. Математично ознака відсутності мультиколінеарності виражається через коефіцієнт парної регресії, який має прямувати до нуля, тобто:

$$r_{x_1, x_2} \rightarrow 0 \quad (9)$$

Для перевірки факторів на мультиколінеарність отримані внаслідок спостережень на підприємстві вхідні дані було введено в таблицю вхідних даних (WorkSheet) в програмі Statistica 10. Дослідження мультиколінеарності у цій програмі проводиться методом Феррара-Глобера. Для цього було обчислено парну кореляцію. З неї визначено, що коефіцієнт парної кореляції  $r_{R, K_c} = 0,0349$  при наборі даних  $N = 57$ . Істотним вважається кореляційний зв'язок факторів при  $r_{R, K_c} > 0,05$ . Оскільки ця умова не виконується, то фактори  $R$  і  $K_c$  не є мультиколінеарними.

Отримані результати статистичних експериментів опрацьовано за відомою методикою [13]. Оскільки усі проведені спостереження мають однакову повторюваність, то для оцінювання їх відтворюваності застосовано оцінювання їх за критерієм Кохрена (G-критерій):

$$G_p \leq G_T, \quad (10)$$

де  $G_T$  – табличне значення критерію Кохрена, яке визначається для ступенів вільності  $f_1 = N - 1$ ,  $f_2 = N$  і 5%-го рівня значимості;  $N$  – кількість дослідів;  $G_p$  – розрахункове значення критерію Кохрена.

Таким чином, ступені вільності для критерію Кохрена становлять  $f_1=18$ ,  $f_2=57$ . Розрахункове значення критерію Кохрена становить  $G_p=0,1125$ . Оскільки табличне значення критерію  $G_T=0,1738$ , то досліді є такими, що відтворюються.

Після цього було проведено регресійний аналіз і побудовано рівняння регресії виду:

$$TI = 7287,45 + 28,93 \cdot R + 45685,53 \cdot K_c - 3,228 \cdot R^2 - 16,96 \cdot K_c. \quad (11)$$

Проводимо оцінку значимості коефіцієнтів регресії. Для цього з допомогою програми Statistica визначено середню дисперсію  $S^2 = 5837,59$ . Для порівняння кожного коефіцієнта регресії потрібно визначити  $t$ -критерій Стюдента для рівня значимості 0,95 і ступеня свободи 56. Табличне значення критерію дорівнює 1,672. Проведемо оцінку значимості кожного коефіцієнта виразу (11) (табл. 1). З даних табл.1 робимо висновок, що коефіцієнти регресії при факторі  $R$  є незначимими, що означає неістотність впливу на загальний прибуток  $TI$  кількості автомобілів. Тому було проведено повторний, але однофакторний регресійний аналіз.

Таблиця 1. Оцінкові критерії значимості коефіцієнтів рівняння регресії

Коефіцієнт регресії	$t$ -критерій
$b_0$	0,001064
$b_1$	0,8752
$b_2$	0,195
$b_{12}$	1696
$b_{11}$	0,840
$b_{22}$	0,000

Нова модель сукупного доходу визначиться з виразу:

$$y = -123586x^3 + 169188x^2 - 7094,4x + 8589,6$$

$$\text{Total Income: } TI = -2829,6 + 88437 \cdot K_c - 34728 \cdot K_c^2, \quad (12)$$

при рівні значимості фактору  $K_c$  – не нижче 0,95. Коефіцієнт детермінації при цьому –  $R^2=0,9235$ .

Придатність рівняння для опису реальної залежності критерію оптимізації транспортних процесів визначено за критерієм Фішера, який обчислюємо за виразом:

$$F_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_r^2}, \quad (13)$$

де  $S_r$  – головна дисперсія вибірки;  $S_{\text{ад}}$  – дисперсія адекватності, яку визначають за виразом:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_{pi} - \bar{y}_{ci})^2}{N-d}, \quad (14)$$

де  $\bar{y}_{ci}$  – середнє значення змінної, отримане дослідним шляхом;  $\hat{y}_{pi}$  – середнє значення змінної, отримане розрахунковим шляхом.

Підставивши у вирази (12)–(14) числові значення статистичного ряду, отримаємо  $S_{\text{ад}}^2 = 10782$  і  $S_r^2 = 14422,98$ . Таким чином, критерій Фішера  $F_{\text{розр}} = 0,74362$ . Табличне значення критерію становить 2,37. Оскільки вираз (12) виконується, рівняння регресії вважаємо адекватним.

Графічне відображення теоретичної моделі та емпіричних значень, отриманих внаслідок структурної оптимізації, подано на рис. 1.

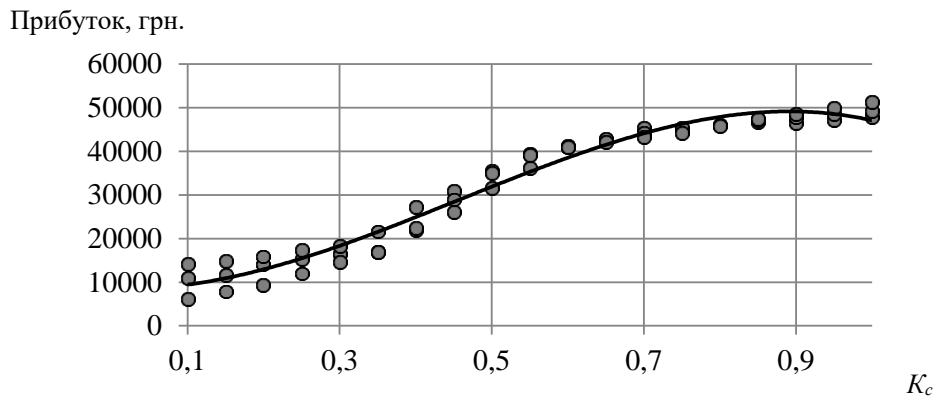


Рис. 1. Залежність отриманого прибутку від виконання замовлень від коефіцієнта сумісності замовлень

Як видно з рис., прибуток, отриманий підприємством, при підвищенні значення коефіцієнта групової сумісності замовлень на 0,2 приводить до подвоєння отриманого прибутку, незалежно від кількості залучених транспортних засобів. Цьому сприяє вибір і сортування замовлень за сумісністю.

**Висновки.** Кількість задіяних власних автомобілів для виконання заданого обсягу замовлень є несуттєвим чинником, який визначає загальний дохід від вантажних перевезень. Натомість між властивістю сумісності замовлень в одному потоці і отриманим прибутком існує суттєвий кореляційний зв'язок, який можна використати для планування процесу перевезень.

Впровадження управлінських рекомендацій із застосуванням попереднього аналізу та сортування замовлень дає змогу впровадити новий, оптимальний інтегрований транспортний процес із більш ефективним використанням наявного власного парку транспортних засобів. Збільшення економічної ефективності діяльності підприємства може бути досягнуто за рахунок обґрунтованих рішень стосовно розподілу власних транспортних засобів, вибору замовлень, які характеризуються вищими значеннями коефіцієнта сумісності та удосконалення інформаційного забезпечення. Економічний ефект від впровадження результатів досягається шляхом збільшення надходжень у зв'язку із обслуговуванням більшої кількості замовлень, зменшення відмов, а також прогнозування рентабельності замовлень, які надходять в загальному потоці. З іншого боку, транспортна компанія, яка використовує запропоновану в роботі методику оптимізації процесу обслуговування вантажопотоків, знижує витрати через зменшення незавантаженого пробігу і простою рухомого складу.

## REFERENCES

1. Horbachov, P. F., Mospan, N. V., & Horbachëv, P. F. (2017). "Imitatsiina model obsluhovuvannia razovykh zamovlen na mizhmiski vantazhoperevezennia". ["Simulation model of service of one-time orders for long-distance cargo transportation"] "*Vestnyk Kharkovskoho natsyonalnoho avtomobylno-dorozhnoho unyversyteta*" ["*Bulletin of Kharkiv National Automobile and Road University*"]. 76, 32–39. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad\\_2017\\_76\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad_2017_76_8).
2. Ke Ma, Rudrajeet Pal, Eva Gustafsson. 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), pp. 2203–2225. DOI: 10.1080/00207543.2018.1535204.
3. Gansterer M., Hartl R., Vetschera R. The cost of incentive compatibility in auction-based mechanisms for carrier collaboration. *Networks*, 2019. №73(4), pp. 490–514. DOI: 10.1002/net.21828.
4. Cruijssen F., Cools M., Dullaert W. Horizontal cooperation in logistics: Opportunities and impediments. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2007. №43(2), pp. 129–142. DOI: 10.1016/j.tre.2005.09.007.
5. Crainic, T. G., Perboli G., Rosano M. (2018). Simulation of intermodal freight transportation systems: a taxonomy. *European Journal of Operational Research*, 270, 2/16, 401–418. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.11.061>
6. Robinson, S. R., Pasupathy, S.-H., Kim, A., Tolk, R., Hill, M., Kuhl E. (Eds.). (2013). Conceptual Modeling for Simulation. Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, IEEE Press, Piscataway, 377–388. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/WSC.2013.6721435>
7. Novoa, C. and Storer, R. (2009). An approximate dynamic programming approach for the vehicle routing problem with stochastic demands. *European Journal of Operational Research*, 196(2):509–515.
8. Gansterer M., Hartl R., Vetschera R. The cost of incentive compatibility in auction-based mechanisms for carrier collaboration. *Networks*, 2019. №73(4), pp. 490–514. DOI: 10.1002/net.21828.
9. Ganstererand M., Hartl R.F. Collaborative vehicle routing: A survey, *Eur. J. Operational Research*, 2018. № 268, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.10.023.
10. Roi M. P. "Metod optymizatsii intehrovanoho transportnoho protsesu vantazhnykh avtomobilnykh perevezen". ["Method of optimization of integrated transport process of freight road transport"]. "*Vcheni zapysky Tavriiskoho NU im. V.I. Vernadskoho. Serii: tekhnichni nauky*" *Scientific notes of Tavriya National University named after VI Vernadsky. Series: technical sciences*. 31 (70), № 5, 220-227.
11. Oliskevych, M. S., Mastyakash, O. L., & Roi, M. P. (2020). "Zalezhnist efektyvnosti diialnosti i kooperatsii pereviznyka vid vkhidnoho potoku zamovlen" ["Dependence of carrier efficiency and cooperation on inlet order flow"]. *Transport development*, (1 (6)), 103-115. № 1(6). 103-115. Retrieved from <https://doi.org/10.33082/td.2020.1-6.09>
12. Sharai, S. M., & Roi, M. P. (2021). "Zastosuvannia systemnoho pidkhodu do orhanizatsii vantazhnykh avtomobilnykh perevezen iz chasovymy viknamy". ["Application of system approach to organization of freight carriage with time windows"]. "*Vcheni Zapysky*", ["*Scientific Notes*"] 32 (71) № 1. Part.2. 148-155. Retrieved from <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/24>
13. Peck, R., Olsen, C., & Devore, J. L. (2015). *Introduction to statistics and data analysis*. Cengage Learning.