

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ТА КОМПЛЕКСАМИ

УДК 65.011.56

*К. А. КУЗНЕЦОВ, С. В. АНТОНЕНКО, Т. І. ДАНИЛОВ, А. О. СКАЧКОВ***РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ З ПОВЕРНЕННЯМ ТОВАРУ**

Розглядаються існуючі точні та евристичні алгоритми розв'язку задачі маршрутизації з поверненням товару. Більш докладно розкривається задумка евристичного алгоритму табу пошуку. На його основі з певними евристичними знаходження початкового рішення, побудови сусідніх розв'язків та покращення знайденого розв'язку пропонується новий алгоритм. Приводяться результати роботи алгоритму на тестових даних, що були запропоновані авторами, які розглядали цю проблему раніше, та їх порівняння. Запропонований алгоритм може бути використаний для розв'язання подібних задач у системах реального часу, оскільки евристичний алгоритм навіть на великих наборах даних надає результат за прийнятний час.

Ключові слова: задача маршрутизації, повернення товару, табу пошук, евристичні алгоритми, евристичні покращення розв'язку.

Рассматриваются существующие точные и эвристические алгоритмы решения задачи маршрутизации с возвратом товара. Подробнее раскрывается задумка эвристического алгоритма табу поиска. На его основе с определенными эвристическими находения начального решения, построения соседних решений и улучшения найденного решения предлагается новый алгоритм. Приводятся результаты работы алгоритма на тестовых данных, предложенные авторами, которые рассматривали эту проблему ранее, а также их сравнение. Предложенный алгоритм может быть использован для решения подобных задач в системах реального времени, поскольку эвристический алгоритм даже на больших наборах данных выдает результат за приемлемое время.

Ключевые слова: задача маршрутизации, возврат товара, табу поиск, эвристические алгоритмы, эвристичні покращення рішення.

The vehicle routing problem (VRP) is a combinatorial optimization and integer programming problem which asks «What is the optimal set of routes for a fleet of vehicles to traverse in order to deliver to a given set of customers?». It generalizes the well-known travelling salesman problem (TSP). Determining the optimal solution is an NP-hard problem in combinatorial optimization, so the size of problems that can be solved optimally is limited. The commercial solvers therefore tend to use heuristics due to the size & frequency of real world VRPs they need to solve. We consider the existing exact and heuristic algorithms for solving vehicle routing problem with backhauls. Reveal the idea of the tabu search heuristic algorithm. Based on certain heuristics find the initial solution, the construction of the neighboring solutions and improve the obtained solution, proposes a new algorithm. We present the results of the algorithm on the test data, proposed by the authors, who considered this issue before, and present the results of a comparison of these algorithms. The proposed algorithm can be used to solve such problems in real-time systems, as a heuristic algorithm, even on large data sets provides the result in an acceptable time.

Keywords: vehicle routing problem, backhauls, tabu search, heuristics.

Вступ. Системи транспортної логістики, як правило мають великомасштабний характер, а їх складність залежить від багатьох чинників, таких як кількість та різноманітність клієнтів, транспортних засобів, фізичної інфраструктури, та взаємозв'язки всередині системи. Крім того, за рахунок постійно зростаючого співробітництва між транспортними компаніями та іншими учасниками систем транспортної логістики, нові задачі стають більшими за розміром, більш складними з точки зору обмежень та цілей, яких потрібно досягнути [1].

В реальності програми, що розв'язують проблеми транспортної логістики (збір відходів, кур'єрські послуги, доставка вантажів), оброблюють дані з 10-100-тисячною базою клієнтів.

Задачі маршрутизації транспортних засобів VRP (Vehicle Routing Problem) являють собою одну з основних проблем оптимізації. Вони є об'єктом багатьох досліджень. Рішення VRP, точне або лише наближене, для великомасштабних випадків представляє великий інтерес. Якщо задача комівояжера (Traveling Salesman Problem) у випадку з тисячами вершин у графі може бути вирішена оптимально на регулярній основі, то для задачі VRP з кількістю клієнтів більше 100 оптимальний розв'язок знайти надзвичайно важко та довго [2]. Саме з цієї причини література рясніє евристичними алгоритмами, кооперативними методами

пошуку, та гібридними підходами, що дозволяють знайти неоптимальне, але прийнятне для практичного застосування рішення VPR, що не займе значну частину обчислювального часу. Однак, незважаючи на нові роботи вчених, та прогрес, що помітний в останні часи, багато проблем залишаються, та з'являються нові.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. VRPB – це NP-важка задача оптимізації. Вона може бути вирішена точно на малих наборах даних, а на великих – лише наближено. Останнім часом ця задача привертає увагу багатьох дослідників, які розробляють точні та наближені процедури для її рішення.

Точні методи запропоновані Toth та Vigo [3], які розробили алгоритм гілок і меж. Нижня межа оптимального рішення отримана з релаксації Лагранжа деяких обмежень задачі лінійного програмування. Ця межа уточнюється ітеративно шляхом додавання нерівностей для скорочення гілок. Mingozzi та ін. [4] представили інше формулювання задачі лінійного програмування для VRPB. Вони генерують межу поєднуючи різні евристички. Верхня межа отримана з їх релаксації лінійного програмування та з точного алгоритму гілок і меж, розробленого на основі запропонованих процедур нижньої та верхньої меж. Yano та ін. [5] розробили алгоритм точного рішення VRPB для роздрібної торгівлі. У запропонованому додатку транспортний засіб може доставити (або

© К. А. Кузнецов, С. В. Антоненко, Т. І. Данилов, А. О. Скачков. 2016

забрати) товари тільки від обмеженої кількості клієнтів. Не зважаючи на ці успішні спроби, задачі з великими наборами даних не можуть бути ефективно розв'язані цими точними алгоритмами. Отже, наближені методи (евристики) – єдиний спосіб ефективно розв'язати VRPB на практиці.

Класичні конструктивні евристики для VRPB почалися з роботи Deif та Bodin [6], які запропонували два підходи, базуючись на методі збереження для VRP, розробленого Clarke та Wright [7]. В першому підході, коли були побудовані маршрути, враховувалось обмеження, що всі доставки повинні бути зроблені до повернень [8]. У другому підході, клієнти з поверненнями були утримані від додавання у маршрути шляхом додавання штрафу в основну функцію збереження. Golden та ін. [9] представили процедуру вставки, де маршрути спочатку розроблені для клієнтів доставки за допомогою деяких підходів VRP, а потім клієнти з поверненнями вставляються в маршрути відповідно до критерію вставки. Для забезпечення єдиного зв'язку між клієнтами доставки та повернення, вони ввели штраф, який служить для затримки вставки повернень, поки не закінчиться маршрут. Взагалі, недоліком підходу є можливість дострокового припинення окремих маршрутів. Отже, може бути отримана велика кількість коротких маршрутів. Крім того, деякі з наближених методів є примітивними у тому сенсі, що вони не контролюють кількість маршрутів в кінцевому розв'язку. Таким чином, для рішення, яке знайдене для даного екземпляра, може знадобитися більше транспортних засобів, ніж доступний максимум для обслуговування всіх клієнтів. Мета-евристики – новий клас наближених методів, які показали чудовий результат у застосуванні до різних практичних задач комбінаторної оптимізації. Тим не менше, практично немає розробок мета-евристик до VRPB, крім реалізації варіанту реактивного табу пошуку від Osman.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення актуальності застосування деяких евристичних алгоритмів до розв'язання задачі маршрутизації з поверненням товару.

Задачею дослідження є обґрунтувати та розробити алгоритм для розв'язання задачі маршрутизації з поверненням товару і порівняти отримані результати з роботою інших запропонованих алгоритмів.

Метод табу пошуку. Це мета-евристичний алгоритм, який веде локальний пошук, щоб за-побігти його від попадання у пастку в передчасних локальних оптимумах, забороняючи ті переміщення, які змушують повертатися до попередніх рішень і циклічної роботи. Табу пошук (ТП) починається з вихідного рішення. На кожній ітерації генерується околиця рішень, і найкраще з цієї околиці вибирається як нове рішення. Певні атрибути попередніх рішень зберігаються в табу-списку, який оновлюється в кінці кожної ітерації. Вибір кращого рішення в околиці відбувається таким чином, що він не приймає жодного з заборонених атрибутів. Краще допустиме рішення в даний час, оновлюється, якщо нове поточне рішення краще і допустимо. Процедура триває, поки не виконається будь-який з двох критеріїв зупину, якими є максимальне число виконуваних ітерацій і максимальне число ітерацій, під час яких чинне рішення не поліпшується [10].

Зв'язок з традиційним терміном табу, насамперед, випливає з того факту, що табу, як правило, передаються за допомогою соціальної пам'яті, яка змінюється з плином часу. Це головний зв'язок значення «табу» у загальному понятті та у термінах табу пошуку. Заборонені елементи табу пошуку отримали свій статус, покладаючись на розвиток пам'яті, що дозволяє змінювати його в залежності від часу та обставин.

Більш точно, алгоритм пошуку із заборонами, щоб кваліфікувати його як евристичний, повинен включати адаптивну пам'ять та гнучке дослідження. Адаптивна функція пам'яті ТП дозволяє реалізувати процедури, які здатні шукати розв'язки в просторі рішень економічно і ефективно. Оскільки локальний вибір робиться на основі інформації, зібраної під час пошуку, ТП відрізняється від методів без пам'яті, які значною мірою покладаються на піввипадкові процеси. Наприклад, півжадібні евристики та відомі «генетичні» алгоритми і алгоритми «імітації відпалу», розроблені на основі процесів фізики та біології. Адаптивна пам'ять також контрастує з жорсткими конструкціями пам'яті типових стратегій гілок та меж. Можна стверджувати, що деякі види еволюційних процедур, які працюють шляхом об'єднання рішень, такі як генетичні алгоритми, втілили форму неявної пам'яті [3]. Акцент на гнучкому дослідженні в табу пошуку, в детермінованій або ймовірнісній реалізації, відбувається з припущення, що поганий стратегічний вибір може дати більше інформації, ніж гарний випадковий. У системі, що використовує пам'ять, поганий вибір стратегії може забезпечити корисні підказки про те, як стратегія може бути вигідно змінена на наступному кроці. Гнучке дослідження об'єднує основні принципи інтелектуального пошуку, тобто, використовуючи можливість хорошого рішення, досліджуючи нові перспективні регіони. Табу пошук концентрується на пошуку нових, більш ефективних способах, користуючись механізмами адаптивної пам'яті та гнучкого дослідження. Розробка нових алгоритмів і гібридних стратегій робить ТП великою областю для вивчення та досліджень [2].

Опис алгоритму. Табу пошук належить до класу наближених мета-евристик. Основна мета-евристика ТП використовує агресивну стратегію направлення будь-якої локальної процедури пошуку, щоб проводити розвідку в просторі рішень для того, щоб уникнути пастки локального оптимуму. Коли зустрічається локальний оптимум, ТП переміщується на краще рішення в цільній околиці, навіть якщо це може погіршити значення цільової функції. Для запобігання повернення до раніше відвіданих рішень, ТП використовує структури пам'яті для зберігання в табу списку атрибутів нещодавно прийнятих рішень [8]. Обрані атрибути, які зберігаються у списку, позначені табу-активними, а рішення, які містять табу-активні елементи, позначені табу. Атрибут залишається у табу списку протягом певної кількості ітерацій, званих табу-періодом, перш ніж він буде вилучений з нього. Алгоритм ТП продовжує пошук, поки не досягне заданої кількості ітерацій [1].

Запропонована реалізація табу пошуку полягає у визначенні початкового розв'язку S , механізму для генерації набору сусідніх рішень $N(S)$ та набору компонентів для алгоритму ТП.

Початковий розв'язок

Для знаходження початкового розв'язку була використана евристика бережливої вставки. Спочатку знаходиться набір маршрутів для набору клієнтів доставки, використовуючи функцію S_{ij} яка обчислює, наскільки краще обслужити клієнтів i та j в одному маршруті, ніж у двох різних.

$$S_{ij} = C_{0i} + C_{0j} - \gamma \times C_{ij},$$

де γ – множник маршруту, який набуває значень від 0 до 2 з шагом 0,1. Для кожного значення множника будуються маршрути доставки: послідовно додаються клієнти, відсортовані за зменшенням функції S_{ij} , поки всі вони не будуть належати якомусь маршруту. Потім додаються клієнти повернення відповідно до критерію найкращої ціни вставки. Побудований розв'язок покращується процедурою 2-орт обміну. Вибирається найкраще рішення з 20 побудованих та надалі покращуються метаевристикою табу пошуку.

Механізм генерації сусідніх рішень

Нехай $S = \{R_1, \dots, R_p, \dots, R_v\}$ – рішення VRPB, що представляє маршрути для кожного з v транспортних засобів. Механізм генерації сусідніх рішень визначає набір операторів, які застосовуються до S для того, щоб згенерувати інше, сусіднє рішення S' в околі S , що позначається $N(S)$.

Було взято деякі оператори механізму λ -обміну. Є пара маршрутів (R_p, R_q) з S , λ -обмін міняє місцями підмножину S_p розміром $|S_p| \leq \lambda$ з R_p та підмножину S_q розміром $|S_q| \leq \lambda$ з R_q . Таким чином, побудовані 2 нових маршрути R'_p та R'_q . Нові маршрути приймають вигляд $R'_p = \{R_p - S_p\} \cup S_q$ та $R'_q = \{R_q - S_q\} \cup S_p$. У нашій реалізації застосовується механізм 1-обміну: з кожної пари маршрутів береться по одному клієнту та вставляється у найкраще місце другого маршруту; та механізм обміну 2-х сусідніх вузлів: з кожної пари маршрутів вилучається по 2 сусідніх вузла та вставляються у найкраще місце іншого.

Компоненти табу пошуку

Успіх алгоритму табу пошуку залежить від того, як визначені його складові частини.

Табу-список. У нього запам'ятовуються клієнти, які брали участь у останніх ітераціях. Якщо клієнт був перенесений з одного маршруту до іншого за останні декілька ітерацій, то алгоритм його не буде використовувати для знаходження нового околу.

Табу-обмеження. Це критерій для визначення статусу табу-шагу. При обміні двох сусідніх клієнтів між маршрутами не можна їх вертати назад.

Критерій прямування (aspiration criterion) та правило зупинки

Якщо рух, який заборонено, приводить до нового, найкращого, розв'язку, то цей рух вважається допустимим. Правило зупинки обрано таким чином, щоб загальна кількість ітерацій табу пошуку не перевищувала $T_{iter} = 200 \times n$, де n – загальна кількість клієнтів доставки та повернення.

2-орт обмін

Класичні методи локального пошуку основані на ітеративному вдосконаленні розв'язку шляхом перебору сусідніх розв'язків. Вони створюють ці сусідні розв'язки шляхом зміни одних або кількох атрибутів базового розв'язку. В нашому випадку атрибути – це дуги та вузли маршрутів. Після того, як новий розв'язок визначений, він порівнюється з поточним рішенням. Дві стратегії прийняття є звичними для проблеми VRPB:

- 1) First-accepted (перший кращий)
- 2) Best-accepted (найкращий)

При роботі за першою стратегією алгоритм зупиняється при знаходженні першого сусіднього розв'язку, що задовольняє умовам задачі, та покращує його.

Друга стратегія бере до уваги всі сусідні розв'язки, та вибирає найкращий серед всіх них.

Локальний оптимум, отриманий за допомогою алгоритмів локального пошуку, може бути далеким від оптимального розв'язку. Результат значно залежить від початкового рішення та алгоритму знаходження сусідів.

Більшість ітеративних методів покращення рішення, що використовуються в транспортній логістиці, пов'язані з заміною ребер.

Сусідні розв'язки отримуються шляхом заміни k ребер в маршруті на інші k ребер. Складність таких замін – $O(n^k)$. При $k=2$ отримаємо наступну картину:

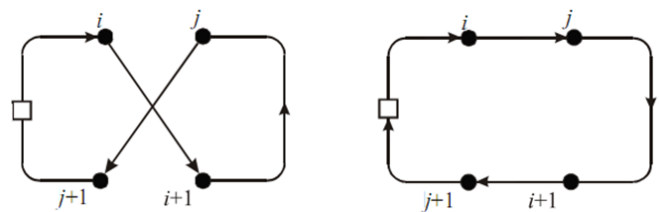


Рис. 1 – 2-орт обмін

Ребра $(i, i+1)$ та $(j, j+1)$ ми замінюємо на ребра (i, j) та $(i+1, j+1)$.

2-орт обмін застосовується на кожному маршруті окремо для набору клієнтів доставки та клієнтів повернення, поки алгоритм не буде давати зменшення ціни маршруту.

Результати розробки програми наведеного алгоритму

Розроблена програма виводить маршрут для кожного транспортного засобу, сумарну ціну цих маршрутів та зображає їх графічно.

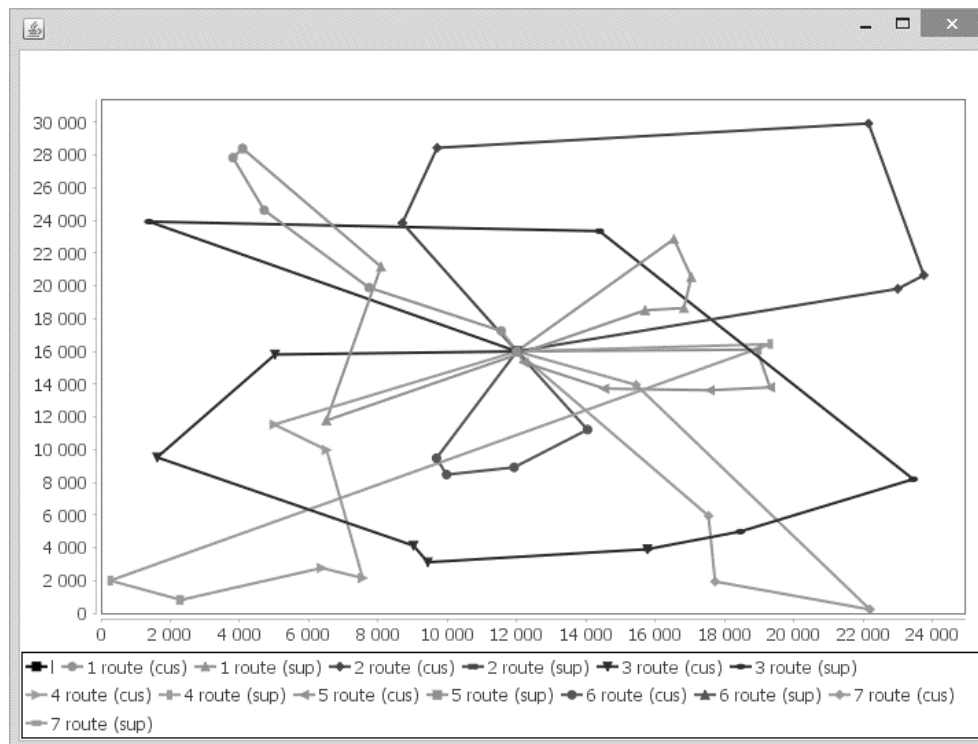


Рис. 2 – Робота на тестових даних E1

Порівняння з іншими алгоритмами

В табл. 1 наведено рішення, отримані за точними алгоритмами Mingozzi (MBG) та Toth і Vigo (TV), за допомогою евристичного алгоритму Toth і Vigo (HTV96) та власного алгоритму на основі табу пошу-

ку (X1), на тестових даних для VRPB. Стівпчики у таблиці позначені літерами: З – назва тестового прикладу; К – загальна кількість клієнтів; Т – кількість транспортних засобів у депо; М – місткість транспортного засобу.

Таблиця 1 – Результати, що отримано різними методами

З	К	Т	М	MBG	TV	HTV96	X1
A1	25	8	1550	229886	229886	229886	229886
A2	25	5	2550	180119	180119	180119	180119
A3	25	4	4050	163405	163405	163405	163405
A4	25	3	4050	155796	155796	155796	155796
B1	30	7	1600	239080	239080	239080	239165
B2	30	5	2600	198048	198048	198048	198048
B3	30	3	4000	169372	169372	169372	169671
C1	40	7	1800	249448	249448	253318	251081
C2	40	5	2600	215020	215020	215020	215612
C3	40	5	4150	199346	199346	199346	200116
C4	40	4	4150	195366	195366	195367	195366
D1	38	12	1700	322530	322530	322705	326170
D2	38	11	1700	316709	316709	318476	317075
E1	45	7	2650	238880	238880	238880	238880
E2	45	4	4300	212263	212263	212263	213258
E3	45	4	5225	206659	206659	206659	206839

Висновки. Задача маршрутизації з поверненням товару – цікава варіація добре відомої VRP з різноманітними практичними застосуваннями. Вона грає провідну роль в інформаційних системах, які використовують логістичні компанії. У роботі розглянуто алгоритми для рішення цієї задачі. Також на основі попереднього сформувано декілька варіантів алгоритму для розв'язку задачі та варіант мета-евристики табу пошуку, який дозволяє отримати адекватний результат за прийнятний час, тому алгоритм можна використовувати у системах, що працюють у реальному часі.

Список літератури:

1. Osman, I. H. A reactive tabu search meta-heuristic for the vehicle routing problem with back-hauls [Text] / I. H. Osman, N. A. Waswan // Journal of Scheduling. – 2002. – Vol. 5, № 4. – P. 263–285. doi:10.1002/jos.122
2. Glover, F. Tabu Search hauls [Text] / F. Glover, M. Laguna. – Boulder: Springer US, 1997. – 383 p. doi:10.1007/978-1-4615-6089-0
3. Toth, P. An Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls [Text] / P. Toth, D. Vigo // Transportation Science. – 1997. – Vol. 31, № 4. – P. 372–385. doi:10.1287/trsc.31.4.372
4. Mingozzi, A. An Exact Method for the Vehicle Routing Problem with Backhauls [Text] / A. Mingozzi, S. Giorgi, R. Baldacci //

- Transportation Science. – 1999. – Vol. 33, № 3. – P. 315–329. doi:[10.1287/trsc.33.3.315](https://doi.org/10.1287/trsc.33.3.315)
5. Yano, C. A. Vehicle Routing at Quality Stores [Text] / C. A. Yano, T. J. Chan, L. K. Richter, T. Cutler, K. G. Murty, D. McGettigan // Interfaces. – 1987. – Vol. 17, № 2. – P. 52–63. doi:[10.1287/inte.17.2.52](https://doi.org/10.1287/inte.17.2.52)
 6. Deif, I. Extension of the Clarke and Wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling [Text]: proc. Babson conf. / I. Deif, L. D. Bodin // Proceedings of the Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistic Management. – Babson Park, 1984. – P. 75–96.
 7. Casco, D. Vehicle routing with backhauls: models algorithms and case studies [Text] / D. Casco, B. L. Golden, E. Wasil // Vehicle Routing: Methods and Studies. – 1988. – № 16. – P. 127–147.
 8. Clarke, G. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points [Text] / G. Clarke, J. W. Wright // Operations Research. – 1964. – Vol. 12, № 4. – P. 568–581. doi:[10.1287/opre.12.4.568](https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568)
 9. Golden, B. The vehicle routing problem with backhauling: two approaches. [Text]: Proc. 21st An. Meeting / B. Golden, E. Baker, J. Alfaro, J. Schaefer // Proceedings of the 21st Annual Meeting of SE TMS. – South Carolina, 1985. – P. 90–92
 10. Toth, P. A Heuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls [Text] / P. Toth, D. Vigo // Transportation Analysis. – 1996. – P. 585–608. doi:[10.1007/978-3-642-85256-5_26](https://doi.org/10.1007/978-3-642-85256-5_26)
 2. Glover, F., Laguna, M. (1997). Tabu Search. Boulder: Springer US, 383. doi:[10.1007/978-1-4615-6089-0](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6089-0)
 3. Toth, P., Vigo, D. (1997). An Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls. Transportation Science, 31 (4), 372–385. doi:[10.1287/trsc.31.4.372](https://doi.org/10.1287/trsc.31.4.372)
 4. Mingozzi, A., Giorgi, S., Baldacci, R. (1999). An Exact Method for the Vehicle Routing Problem with Backhauls. Transportation Science, 33 (3), 315–329. doi:[10.1287/trsc.33.3.315](https://doi.org/10.1287/trsc.33.3.315)
 5. Yano, C. A., Chan, T. J., Richter, L. K., Cutler, T., Murty, K. G., McGettigan, D. (1987). Vehicle Routing at Quality Stores. Interfaces, 17 (2), 52–63. doi:[10.1287/inte.17.2.52](https://doi.org/10.1287/inte.17.2.52)
 6. Deif, I., Bodin, L. (1984). Extension of the Clarke and Wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling. Proceedings of the Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistic Management. Babson Park, 75–96.
 7. Casco, D., Golden, B. L., Wasil, E. (1988). Vehicle routing with backhauls: models algorithms and case studies. Vehicle Routing: Methods and Studies, 127–147.
 8. Clarke, G., Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. Operations Research, 12 (4), 568–581. doi:[10.1287/opre.12.4.568](https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568)
 9. Golden, B., Baker, E., Alfaro, J., Schaefer, J. (1985). The vehicle routing problem with backhauling: two approaches. Proceedings of the 21st Annual Meeting of SE TMS, South Carolina, 90–92.
 10. Toth, P., Vigo, D. (1996). A Heuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls. Transportation Analysis, 585–608. doi:[10.1007/978-3-642-85256-5_26](https://doi.org/10.1007/978-3-642-85256-5_26)
- Bibliography (transliterated):**
1. Osman, I. H., Wassan, N. A. (2002). A reactive tabu search meta-heuristic for the vehicle routing problem with back-hauls. Journal of Scheduling, 5 (4), 263–285. doi: [10.1002/jos.122](https://doi.org/10.1002/jos.122)

Надійшла (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Розробка та дослідження алгоритмів розв’язання задачі маршрутизації з поверненням товару/ К. А. Кузнецов, С. В. Антоненко, Т. І. Данилов, А. О. Скачков// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.20–25. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Разработка и исследование алгоритмов решения задачи маршрутизации с возвратом товара/ К. А. Кузнецов, С. В. Антоненко, Т. И. Данилов, А. А. Скачков// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.20–25. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Design and research algorithms for vehicle routing problem with backhauls/ К. Kuznetsov, S. Antonenko, T. Danylov, A. Skachkov//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).–P.20 –25. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кузнецов Костянтин Анатолійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, кафедра математичного забезпечення ЕОМ, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010

Кузнецов Константин Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра математического обеспечения ЭВМ, Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара; пр. Гагарина 72, г. Днепр, Украина, 49010

Kuznetsov Kostiantyn – candidate of physics and mathematics, associate professor, Dnipropetrovsk National University named by Oles Honchar, Applied Mathematics Department, a Mathematical support of PC; Naharina ave., 72, Dnipro, Ukraine, 49010

Антоненко Світлана Валентинівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра математичного забезпечення ЕОМ, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: szemlyanaya@gmail.com

Антоненко Светлана Валентиновна, кандидат технических наук, доцент, кафедра математического обеспечения ЭВМ, Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара; пр. Гагарина 72, г. Днепр, Украина, 49010; e-mail: szemlyanaya@gmail.com

Antonenko Svitlana – candidate of technical sciences, associate professor, Dnipropetrovsk National University named by Oles Honchar, Applied Mathematics Department, a Mathematical support of PC; Naharina ave., 72, Dnipro, Ukraine, 49010; e-mail: szemlyanaya@gmail.com

Данилов Тарас Ігорович – магістрант, Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара; кафедра математичного забезпечення ЕОМ, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: tdanilov0@gmail.com

Данилов Тарас Ігорович – магістрант, Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара; кафедра математического обеспечения ЭВМ, пр. Гагарина 72, г. Днепр, Украина, 49010; e-mail: tdanilov0@gmail.com

Danylov Taras – master student, Dnipropetrovsk National University named by Oles Honchar, Applied Mathematics Department, a Mathematical support of PC; Naharina ave., 72, Dnipro, Ukraine, 49010; e-mail: tdanilov0@gmail.com

Скачков Андрій Олександрович – магістрант, Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара; кафедра математичного забезпечення ЕОМ, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: lskachkovl@gmail.com

Скачков Андрей Александрович – магістрант, Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара; кафедра математического обеспечения ЭВМ, пр. Гагарина 72, г. Днепр, Украина, 49010; e-mail: lskachkovl@gmail.com

Skachkov Andrii – master student, Dnipropetrovsk National University named by Oles Honchar, Applied Mathematics Department, a Mathematical support of PC; Naharina ave., 72, Dnipro, Ukraine, 49010; te-mail: lskachkovl@gmail.com.

УДК 656.6

С. П. ОНИЩЕНКО, О. Д. ВИШНЕВСКАЯ

МЕТОД ОЦЕНКИ ОТКЛОНЕНИЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ СУДНОМ РЕЙСА ПОД ВЛИЯНИЕМ ФАКТОРОВ РИСКА

В данной статье идентифицирована система факторов риска, обуславливающих изменения результатов выполнения судном рейса. Установлено влияние указанных факторов на временные и стоимостные параметры, характеризующие работу судна в рейсе. Получено выражение суточной прибыли судна с учетом возможных отклонений временных и стоимостных параметров. Для оценки величины возможных отклонений рассматриваемых параметров предлагается подход, основанный на идее VAR-метода, представлены результаты соответствующих статистических исследований.

Ключевые слова: судно, риск, рейс, отклонения, вероятность, параметры, время, стоимость, суточная прибыль.

У даній статті ідентифікована система факторів ризику, що обумовлюють зміни результатів виконання судном рейсу. Встановлено вплив зазначених чинників на часові і вартісні параметри, що характеризують роботу судна в рейсі. Отримано вираз добової прибутку судна з урахуванням можливих відхилень тимчасових і вартісних параметрів. Для оцінки величини можливих відхилень розглянутих параметрів пропонується підхід, заснований на ідеї VAR-методу, представлені результати відповідних статистичних досліджень.

Ключові слова: судно, ризик, рейс, відхилення, ймовірність, параметри, час, вартість, добовий прибуток.

The system of risk factors is identified in the article. These factors lead to changes in the vessel's voyage results: weather and climatic conditions; crew errors; management problems; problems in the organization of the vessel service; inconsistencies in the delivery process; technical problems with the vessel; changes in tariffs of port services; changes in bunker costs. The influence of these factors is determined on the time and cost (bunker costs, port charges and fees) parameters characterizing vessel operation during voyage. The influences of the time and cost parameters, as well as their deviations in the cost elements of the vessel are determined. The expression of the daily profit according to the vessel's voyage results is obtained taking into account possible deviations of time and cost parameters. To estimate the possible deviations of considered parameters an approach based on the idea of VAR-method is proposed. This approach estimates the amount of potential deviations with a given probability on the basis of normal distribution parameters. The results of relevant statistical research are presented on the example of the travel time and laytime of the vessel, justifying the legitimacy of this method, as well as demonstrating the technique of using it.

Keywords: vessel, risk, voyage, deviation, probability, parameters, time, cost, daily profit.

Введение. Общеизвестным является тот факт, что судоходство – отрасль, сопряженная с большим количеством рисков, которые обуславливаются, прежде всего, наличием «агрессивного» компонента природно-климатических условий в процессе эксплуатации судов и опасностей мореплавания как такового.

Также судоходному бизнесу присущи высокого уровня рыночные риски, которые определяются значительной изменчивостью фрахтового рынка и сложностью прогнозирования динамики его конъюнктуры.

Таким образом, и производственные процессы в судоходстве, и сам судоходный бизнес являются высокорискованными. Из этого следует, что практически любые запланированные результаты работы судов

фактически достигаются с отклонениями. Причем эти отклонения могут в каких-то случаях не представлять особой угрозы результатам работы судоходной компании, а в каких-то случаях могут иметь значительные последствия в виде вывода судна из эксплуатации на время, необходимости проведения ремонтных работ, срыва выполнения обязательств по договорам с фрахтователями.

Анализ источников и выделение нерешенной части проблемы. Многоаспектность рисков, связанных с судоходством, обуславливает их изучение на различных объектно-предметных уровнях.

Так, минимизация рисков с точки зрения безопасности мореплавания обусловило отдельное