УДК 65.012.2

JEL C 690

ORCID ID: 0000-0003-2176-1135

DOI <https://doi.org/10.17721/tppe.2021.43.14>

Голованенко М.В., канд. екон. наук, доц.
КНУ імені Тараса Шевченка

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ПАРКУ ЛОГІСТИЧНОЇ КОМПАНІЇ

Розглянуто проблему оцінювання ефективності транспортного парку на прикладі мережі однієї з провідних логістичних компаній в м. Дніпро. На основі використання можливостей оптимізаційного пакету Google OR-Tools побудовано систему оптимальних транспортних маршрутів для різних варіантів транспортного парку. Продемонстровано ефективність побудови транспортного парку на основі автомобілів великої вантажопідйомності, що дозволяють зменшувати кількість маятникових маршрутів та мінімізувати витрати палива завдяки застосуванню кільцевих маршрутів.

Ключові слова: логістика, оптимізація транспортного парку, задача маршрутизації транспорту (VRP), логістична компанія, Google OR-Tools.

Постановка проблеми. Практична діяльність логістичних компаній полягає в організації експлуатації транспортного парку, якими вони володіють або залучають для виконання перевезень. Широка різноманітність транспортних задач обумовлює необхідність розширювати перелік різновидів вантажного транспорту. Разом з тим, при організації маршрутних перевезень різні види транспорту характеризуються різною ефективністю. Ключовим параметром, що впливає на ефективність застосування певного виду транспортного засобу для організації перевезень, є співвідношення його вантажопідйомності та витрат палива на кілометр пробігу. При цьому в організаційному плані важливим оптимізаційним параметром є вибір між маятниковими та кільцевими схемами перевезень. При використанні кільцевих схем максимальною мірою використовується потенціал транспортних засобів із високою вантажопідйомністю. Проте в разі обслуговування такими транспортними засобами пунктів із малими обсягами вантажооборотів виникає загроза перевитрат палива через рух на значні відстані недостатньо завантажених автомобілів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задача оцінювання ефективності транспортного парку привертає увагу дослідників. Проте більшість з них акцентує увагу на технічному аспекті цього питання. Так, у роботі Ауліна В.В. розглядається проблема підвищення ефективності транспортного парку за рахунок його оновлення [1]. Методичні аспекти оцінювання ефективності діяльності транспортних підприємств досліджує Попова Ю.М. [2]. Статистичний підхід для обґрунтування

методики формування структури парку транспортних засобів застосовано у роботі Лебідь І.Г. [3]. Також близькою за тематикою є робота Полякова А.П., де розглядаються методичні питання вибору маршруту руху транспортних засобів різної вантажопідйомності [4].

Невирішені частини проблеми. Хоча в наведених вище роботах й досліджені окремі аспекти проблеми оцінювання ефективності транспортного парку логістичної компанії, а в останній з них ця проблема розглядається й у контексті взаємозв'язку оптимізації маршрутів транспорту різної вантажопідйомності, все ж вона зберігає свою актуальність. Причиною цього є те, що в згаданій вище публікації вона розглянута на прикладі транспорту двох видів й не досліджено відносний ефект від заміщення маятникових маршрутів кільцевими.

Отже, **метою** даної роботи є розробка методичних засад оцінювання ефективності транспортного парку різної вантажопідйомності логістичної компанії в локальній мережі з одним центральним терміналом на основі побудови оптимальних маршрутів з використанням пакету Google OR-Tools.

Методологія дослідження. Інструментальною основою дослідження є оптимізаційний пакет Google OR-Tools, а саме його модуль для вирішення задачі маршрутизації транспорту з обмеженнями на вантажопідйомність транспортних засобів (CVRP) [5]. Вказаний пакет доступний як для використання як онлайн, так й для інсталяції його офлайн версії. Обидві версії доступні для вільного використання. Інформаційною базою дослідження є дані про реальну логістичну мережу однієї з провідних логістичних компаній в м. Дніпро, яка налічує 42 відділення. Щоправда на момент проведення дослідження мережа відділень вказаної компанії вже значно розширилася. Оновлення даних про мережу, звісно, є нескладною задачею. Проте для дослідження збережений варіант із 42 відділеннями, оскільки саме для такої кількості відділень доступні реальні дані про їх усереднені обсяги вантажообороту. На думку автора, використання реальних даних щодо розподілу вантажообороту по відділенням є важливою методичною вимогою. Оскільки цей розподіл характеризується значною нерівномірністю, що можливо підпорядковуються особливим закономірностям, таким як правило Парето. Отже заміна даних на штучні може призвести до викривлення результатів. Разом з тим, з метою зниження обчислювальної трудомісткості задачі обсяги вантажообороту було заокруглено до цілої кількості тон, також обмежено обсяги вантажообороту по двом відділенням до максимальної вантажопідйомності найпродуктивнішого транспортного засобу (20 тон). Крім того, вантажопотік розглядався як односторонній. В подальших дослідженнях може бути реалізований варіант без заокруглень та з двостороннім вантажопотоком. Крім даних про структуру відділень та вантажооборот, використано дані компанії про парк транспортних засобів, що включає 5 груп різної вантажопідйомності. Для кожної з груп відомі усереднені витрати пального на 100 км пробігу.

Результати дослідження. На основі даних про адреси розташування відділень досліджуваної логістичної компанії з використанням Google Maps побудовано матрицю попарних відстаней між відділеннями. Це симетрична матриця відносно

діагоналі з нульовими елементами. Фрагмент цієї матриці представлено на рис. 1. Відстані у вказаній матриці представлені в кілометрах і заокруглені до цілих значень.

Базова розмірність матриці становить 42x42, тобто 1 764 елементи.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		Marshala	Akademik	Tvers'ka S	Kniazia Ya	Kniazia Vc	Udarnykyv	8A, Oleks	Haharina	Shmidta S	Sobinova	Slobozhar	житловий	Haharina	Heroiv Av	Pratsi Ave
2	Marshala		0	20	6	11	12	11	11	19	11	6	5	19	16	12
3	Akademik	20		0	16	8	7	10	6	3	7	16	14	17	5	10
4	Tvers'ka S	6	16		0	10	12	11	10	15	10	3	2	16	14	18
5	Kniazia Ya	11	8	10		0	2	4	3	8	2	9	8	11	6	11
6	Kniazia Vc	12	7	12	2		0	5	2	7	3	10	9	12	5	10
7	Udarnykyv	11	10	11	4	5		0	5	10	4	10	9	8	9	15
8	8A, Oleks	11	6	10	3	2	5		0	6	1	10	9	12	5	12
9	Haharina	19	3	15	8	7	10	6		0	8	17	15	19	2	8
10	Shmidta S	11	7	10	2	3	4	1	8		0	9	8	11	5	12
11	Sobinova	6	16	3	9	10	10	10	17	9		0	2	16	14	18
12	Slobozhar	5	14	2	8	9	9	9	15	8	2		0	16	12	16
13	житловий	19	17	16	11	12	8	12	19	11	16	16		0	17	21
14	Haharina	16	5	14	6	5	9	5	2	5	14	12	17		0	6
15	Heroiv Av	12	10	18	11	10	15	12	8	12	18	16	21	6		0
16	Pratsi Ave	16	4	22	11	10	15	8	4	9	22	20	22	5	5	
17	Voskresen	11	8	11	1	1	5	2	7	2	11	8	12	5	9	10
18	Donetske	12	16	8	9	11	6	11	17	10	8	9	9	15	19	20
19	Robocha S	14	5	13	6	7	7	5	6	5	13	11	13	7	13	8
20	Panikakhy	16	5	22	15	13	18	11	6	11	22	20	23	8	6	4
21	проспект	13	5	13	5	4	7	3	4	4	13	10	15	5	10	6
22	Vasylia Ch	9	8	9	1	2	4	2	8	1	9	6	11	6	11	12

Рис. 1. Фрагмент матриці попарних відстаней мережі відділень логістичної компанії в м. Дніпро.

Джерело: побудовано автором з використанням сервісу Google Maps

Дані матриці попарних відстаней між відділеннями, дані про обсяги вантажообороту відділень, а також інформація про вантажопідйомність транспортних засобів та їх кількість передаються як параметри в пакет Google OR-Tools. На першому кроці розглядався варіант монопарку з автомобілями максимальної вантажопідйомності, тобто 20 т. В такому випадку базова матриця 42x42 не потребує додаткових модифікацій і запускається процедура пошуку оптимальних маршрутів. За результатами роботи оптимізаційної процедури було отримано оптимальну загальну довжину маршруту – 299 км. З урахуванням даних про витрати палива на 100 км обчислюються загальні витрати палива на реалізацію оптимального маршруту – 95,7 л.

Далі процедура повторювалася для монопарку інших варіантів вантажопідйомності. При цьому для варіантів транспорту з вантажопідйомністю менше 20 т виникло додаткове методичне ускладнення щодо використання пакету OR-Tools. А саме, для відділень, по яким вантажооборот перевищував вантажопідйомність транспортного засобу (для транспорту 10 т таких відділень було 6) оптимізаційний пакет не будував кілька рейсів до одного відділення, щоб забезпечити весь обсяг перевезення вантажу. Вантаж відділення розглядався пакетом як неподільний і тому оптимальний маршрут взагалі не будувався через недотримання обмеження по вантажопідйомності транспортного засобу. З метою подолання цього обмеження оптимізаційного пакету для кожного типу транспорту вантажопідйомністю 10 т і менше здійснювався штучний поділ загального обсягу вантажообороту відділення на частини, що не перевищують вантажопідйомність відповідного типу транспортного засобу, а також здійснювалася трансформація матриці попарних відстаней, щоб забезпечити відповідність її розмірності новій кількості елементів вектору обсягів вантажообороту. Як результат, розмірність

матриці для транспорту тип 10 т збільшилася до 48х48, тобто 2 304 елементів, що незначно збільшило розмірність задачі. Проте для транспорту 1 т таке зростання становило вже 150х150, тобто 22 500 елементів, або більше, ніж у 10 разів.

Зведені результати обчислень представлені у табл. 1.

Таблиця 1.

**Результати обчислення оптимальних маршрутів мережі відділень
логістичної компанії в м. Дніпро**

	Вантажопідйомність, т				
	20	10	5	3	1
Необхідна кількість рейсів	8	15	30	50	149
Довжина оптимального маршруту, км	299	508	913	1417	3976
Питомі витрати палива, л/100 км	32	26	19	16	13
Загальні витрати палива, л	95,7	132,1	173,5	226,7	516,9

Джерело: побудовано автором з використанням OR-Tools

Як свідчать результати обчислень, наведені у табл. 1, при переході від транспортних засобів більшої вантажопідйомності до меншої, очікувано збільшується кількість рейсів та довжина оптимального маршруту. Це зростання є вкрай відчутним, і при заміні транспортного парку найбільшої вантажопідйомності (20 т) на найменшу (1 т) довжина оптимального маршруту зростає більше, ніж у 13 разів (з 299 км до 3 976 км). Хоча менш вантажопідйомний транспорт характеризується меншими витратами палива, як свідчать результати обчислення загальних витрат на реалізацію оптимальних маршрутів, перехід від більш вантажопідйомних до менш вантажопідйомних транспортних засобів і за цим критерієм теж не є ефективним. Щоправда, розрив дещо скорочується – до трохи більше, ніж у 5 разів.

Основна причина переваги транспорту високої вантажопідйомності – можливість застосування довгих кільцевих маршрутів, що замінюють значну кількість маятникових маршрутів. При цьому, звісно, скорочується й кількість маятникових маршрутів. Але як свідчить емпіричний досвід та результати окремих дослідників (зокрема, й [4]), ефективним може бути поєднання транспортних засобів різних типів вантажопідйомності.

Пряма оцінка ефективності застосування комбінованої мережі з різними типами транспорту з використанням пакету OR-Tools виявилася проблемною. Оскільки перевагою транспорту малої вантажопідйомності є менші витрати палива, а в рамках параметрів оптимізаційного пакету задати диференційовані тарифи перевезень для транспорту різної вантажопідйомності неможливо.

Однак варіант опосередкованої оцінки було побудовано шляхом поступової заміни в транспортному парку з автомобілями мінімальної вантажопідйомності на автомобілі максимальної вантажопідйомності. Для кожного такого варіанту транспортного парку з використанням пакету OR-Tools будувався оптимальний маршрут, фіксувалася його довжина й оцінювалися витрати пального. Оцінка витрат пального здійснювалася шляхом множення довжини пробігу автомобілів великої та

малої вантажопідйомності на відповідні їм норми витрат палива. Результат обчислень представлено на рис. 2.

Рис. 2. Оцінка витрат пального при експлуатації комбінованого автопарку та економії від заміщення малотонажних на великотонажні автомобілі.

Джерело: побудовано автором з використанням OR-Tools

Ось абсцис графіку на рис. 2 показує кількість великотонажних (20 т) автомобілей, що додаються в базовий автопарк малотонажних (1 т) автомобілей. Лінія «Витрати» на графіку витрат пального при експлуатації комбінованого автопарку (кожна її точка відповідає кількості великотонажних автомобілей, включених до автопарку). Лінія «Економія» обчислюється шляхом віднімання від вартості експлуатації малотонажного автопарку вартості експлуатації комбінованого автопарку.

Як свідчать наведені на рис. 2 результати, заміщення в автопарку малотонажних автомобілей на великотонажні стабільно призводить до зменшення витрат пального аж до повного переведення усього вантажообороту на великотонажні автомобілі.

Висновки. Результати проведеного аналізу свідчать про ефективність побудови транспортного парку логістичної компанії на основі автомобілів великої вантажопідйомності. Такий підхід дозволяє зменшувати кількість маятникових маршрутів та мінімізувати витрати палива завдяки застосуванню кільцевих маршрутів.

В якості критерію ефективності для вибору оптимальної структури транспортного парку логістичної компанії запропоновано обрати такий економічний параметр, як витрати палива на здійснення перевезень заданої кількості вантажу між центральним терміналом та мережею відділень компанії. Застосування такого критерію для вирішення задачі порівняно з найбільш поширеним в задачах маршрутизації транспорту (VRP) критерієм мінімізації загального пробігу транспортних засобів має перевагу. А саме, критерій мінімізації загальних витрат палива дозволяє врахувати диференційовані норми витрат палива транспорту різної вантажопідйомності, що сприяє адекватному порівнянню ефективності маятникових маршрутів малотонажного та кільцевих маршрутів великотонажного транспорту.

Також застосування запропонованої ітеративної процедури, яка передбачала заміщення на кожному кроці все більшої кількості малотонажних автомобілей на великотонажні з побудовою оптимальної мережі маршрутів для комбінованого парку відповідної структури, дозволила подолати технічне обмеження оптимізаційного пакету Google OR-Tools, в якому відсутня можливість прямо диференціювати витрати палива транспортних засобів різної вантажопідйомності. При цьому за іншими параметрами оптимізаційний пакет Google OR-Tools проявив себе як високоефективний інструмент вирішення задач такого типу, оскільки дозволяв швидко знаходити оптимальну мережу маршрутів на кожній ітерації.

Перспективи подальших досліджень. Попри значні переваги оптимізаційного пакету Google OR-Tools, перспективи подальших досліджень полягають у перевірці отриманих результатів з використанням альтернативних оптимізаційних інструментів. Крім того, викликає зацікавлення порівняльний аналіз ефективності отриманої на основі оптимізаційних розрахунків системи транспортних маршрутів та фактично застосовуваної логістичною компанією.

Література

1. Аулін В.В. Вплив виробничо-технічної бази автотранспортного підприємства на ефективність його роботи та використання парку машин / В.В. Аулін, А.О. Головатий, М.В. Бродовий // Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/8390/1/1029.pdf>.
2. Попова Ю.М. Особливості оцінювання ефективності діяльності транспортних підприємств в сучасних умовах / Ю.М. Попова, В.В. Серебряк // Економіка та управління підприємствами. – Випуск 14. - 2017. - С. 173-179.
3. Лебідь І.Г. Розробка методики формування структури парку транспортних засобів / І.Г. Лебідь, Т.Г. Ануфрієва, Н.О. Лужанська // Science Review [Електронний ресурс]. - №1(36). - 2021. - Режим доступу: <https://rsglobal.pl/index.php/sr/article/download/1836/1652/>
4. Поляков А.П. Методика вибору рухомого складу, маршруту і графіка перевезення вантажів / А.П. Поляков, О. О. Галушак; Д. О. Галушак; М. Д. Грабенко // Наукові праці ВНТУ. Машинобудування та транспорт [Електронний ресурс]. - №3 - 2011. - Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/download/288/286/296>
5. Google OR-Tools [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://developers.google.com/optimization/routing/cvrp>

References.

1. Aulin V.V. Vplyv vyrobycho-tekhnichnoi bazy avtotransportnoho pidpriemstva na efektyvnist yoho roboty ta vykorystannia parku mashyn / V.V. Aulin, A.O. Holovaty, M.V. Brodovyi // Innovatsiini tekhnolohii rozvytku ta efektyvnosti funktsionuvannia avtomobilnoho transportu. [Elektronnyi resurs]. - Rezhym dostupu: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/8390/1/1029.pdf>.
2. Popova Yu.M. Osoblyvosti otsiniuvannia efektyvnosti diialnosti transportnykh pidpriemstv v suchasnykh umovakh / Yu.M. Popova, V.V. Serebriak // Ekonomika ta upravlinnia pidpriemstvamy. – Vypusk 14. - 2017. - S. 173-179.
3. Lebid I.H. Rozrobka metodyky formuvannia struktury parku transportnykh zasobiv / I.H. Lebid, T.H. Anufrieva, N.O. Luzhanska // Science Review [Elektronnyi resurs]. - №1(36). - 2021. - Rezhym dostupu: <https://rsglobal.pl/index.php/sr/article/download/1836/1652/>

4. Poliakov A.P. Metodyka vyboru rukhomoho skladu, marshrutu i hrafika perevezennia vantazhiv / A.P. Poliakov, O. O. Halushchak; D. O. Halushchak; M. D. Hrabenko // Naukovi pratsi VNTU. Mashynobuduvannia ta transport [Elektronnyi resurs]. - №3 - 2011. - Rezhym dostupu: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/download/288/286/296>

5. Google OR-Tools [Elektronnyi resurs]. - Rezhym dostupu: <https://developers.google.com/optimization/routing/cvrp>

Golovanenko M., Ph.D., Associate Professor
Taras Shevchenko National University of Kyiv

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE LOGISTICS COMPANY'S TRANSPORT PARK

The article is devoted to the conceptual issues of evaluation of the efficiency of the logistics company's transport park. The information base of the study is data of the real logistics network of one of the leading logistics companies in Dnipro, which has 42 branches. Based on the capabilities of the Google OR-Tools optimization package, a system of optimal transport routes for different fleet options has been built. According to the results of calculations, the transition from vehicles with higher capacity to lower capacity increases the number of passages and the length of the optimal route. Replacing the fleet of the largest load capacity (20 tons) with the smallest (1 ton) leads to considerable increasing of the optimal route' length. Less capable vehicles are characterized by lower fuel consumption. But the results of calculating the total cost of implementing optimal routes proves that the transition from more capable to less capable vehicles is not effective. Indirect estimation of the efficiency of the combined fleet was built by gradually replacing of the minimum capacity vehicles in the fleet with the maximum capacity vehicles. For each such variant of the fleet, the optimal route was built, its length was recorded and fuel consumption was estimated. Estimation of fuel consumption was carried out by multiplying the length of mileage of large and small-capacity vehicles by the corresponding fuel consumption rates. Prospects for further research are to verify the results using alternative optimization tools. The results of the analysis indicate the effectiveness of building a transport fleet of logistics company based on heavy-duty vehicles. This approach reduces the number of pendulum routes and minimizes fuel consumption through the use of ring routes.

Keywords: logistics, fleet optimization, vehicle routing problem (VRP), logistics company, Google OR-Tools