


Л. П. Гащук, П. М. Гащук
 Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5522-2757> – Л. П. Гащук
<https://orcid.org/0000-0002-2345-4879> – П. М. Гащук
 reivenor2099@gmail.com

ПРИНЦИПИ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДРІБНОГУРТОВИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Критично аналізується підхід до маршрутизації дрібногуртових автомобільних перевезень, відомий під іменем «метод Кларка — Райта». Дрібногуртові автомобільні перевезення — дуже особливе явище: у таких перевезеннях може бути задіяна 1/2 наявного рухомого складу, але обсяг перевезень при цьому може становити лише 1/50 загального обсягу. Незважаючи на це, такі перевезення є конче потрібними і завжди вигідними.

Та ефективність перевезень істотно залежить від якості їх маршрутизації. Метод Кларка — Райта в класичному своєму варіанті спирається на принцип згортання маятникових маршрутів у кільцевий звільно-розвільний з мінімізацією пробігу автомобіля та раціональнішим використанням його вантажності. У роботі натомість доводиться, що такий підхід до маршрутизації супроводжується неконтрольованим зростанням транспортної роботи без жодного реального зиску. Насправді транспортний засіб перебирає на себе невластиві йому функції складу (він стає коморою на колесах). Це загалом доволі вартісна і погано вмотивована операція. Тож зростання транспортної роботи — це своєрідний штраф за перебирання автомобілем на себе невластивих йому функцій.

В аналізованому методі Кларка — Райта насправді значною мірою спотворюється зміст поняття «досконалий план дрібногуртових перевезень». Мінімізуючи пробіг транспортного засобу, ніби вдається зменшити тривалість перевезень. Звісно, час — найцінніший ресурс у житті людини й суспільства. Але збільшення навантаги на транспортний засіб та на дорожню інфраструктуру інтенсифікує їх зношування. Відновлення кондицій транспорту потребує інших ресурсів, за якими обов'язково також стоїть такий час. Але ж цього до уваги від початку ніхто не брав. Звісно, замість пробігу можна оперувати й іншим різновидом «тарифу/ціни/зиску». Але тоді виникає проблема, як об'єктивно визначати тариф/ціну/зиск.

Метод Кларка — Райта сприймається доволі природно, якщо мова заходить, скажімо, про «розвезення послуг» — працівник з ремонту побутової техніки, приміром, планує турне (замкнутий тур), аби раціонально за винагороду розвезти свій інтелект, знання, вміння (разом з інструментом у валізі та дрібними запасними частинами). Його філософію мав би сповідувати також і мандрівний продавець (комівояжер), покликаний, приміром, поширити ювелірні прикраси (масою не більше, скажімо, унції).

Ключові слова: автомобільні перевезення, дрібногуртові перевезення, маршрутизація, метод згортання маятникових маршрутів у кільцеві, ефективність, пробіг, транспортна робота

L. P. Hashchuk, P. M. Hashchuk
 Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

PRINCIPLES OF SMALL - SCALE ROAD TRANSPORTATION ROUTING

Abstract. The article critically analyses the approach to the routing of small-scale road transportation, known as the "Clark and Wright method". Small-scale automobile transportation is a very special phenomenon: such transportation employs 1/2 of the available rolling stock; however, the volume of transportation may reach only 1/50 of the total volume. Despite this, such transportation is necessary and always profitable. Nevertheless, the efficiency of transportation depends significantly on the quality of their routing. The Clark and Wright method in its classic version is based on the principle of folding pendulum routes into circular pick-up and drop-off ones with minimisation of car mileage and more rational use of its load. Instead, the research proves that such an approach to routing is accompanied by uncontrolled growth of transport work without any real profit. The vehicle takes over the functions of a warehouse that are not characteristic of it (it becomes a warehouse on wheels). This is generally a rather expensive and poorly motivated operation. Therefore, the increase in transport work is a kind of penalty for the situation where the car takes on functions not inherent to it.

The analysed Clark and Wright method distorts largely the meaning of the concept "perfect plan of small-scale transportation". Minimising the mileage of the vehicle seemingly reduces the time of transportation. Time is the most valuable resource in the life of a person and society. However, increasing the load on the vehicle and the road

infrastructure intensifies their wear and tear. Restoring transport conditions requires other resources, which must be also time-consuming. However, this fact was not taken into account from the very beginning. Obviously, instead of mileage, one can operate with other types of "tariff/price/profit". But then, the problem arises, how to objectively determine the tariff/price/profit.

The Clark and Wright method is perceived quite naturally when we speak about "delivering services" - a home appliance repair worker, for example, plans a tour (closed tour) in order, for a certain reward, to deliver his intelligence, knowledge, skills (together with the instruments and small spare parts in a suitcase) rationally. His philosophy should also be followed by a travelling salesman, intending, for example, to distribute jewellery (which weight is no more than, say, an ounce).

Keywords: automobile transportation, small-scale transportation, routing, method of folding pendulum routes into circular routes, efficiency, mileage, transportation work

Вступ. Формулювання проблеми.

Надзвичайно вагому роль в транспортних технологіях відіграють дрібногуртові автомобільні перевезення. Вони — особливе явище: у таких перевезеннях може бути задіяна 1/2 наявного рухомого складу, а обсяг перевезень при цьому може становити лише 1/50 від загального обсягу. Незважаючи на це, саме вони є конче потрібними і завжди вигідними. Але в процесі планування й реалізації дрібногуртових перевезень гостро постає проблема маршрутизації вантажних потоків.

Проблеми маршрутизації класифікують по-різному [1]. Зазвичай згрупува і дуже формально розрізняють: проблеми вузлової маршрутизації (Node Routing Problems — NRP) [1]; проблеми маршрутизації роботи транспортного засобу (Vehicle Routing Problems — VRP) [2]; проблеми дугової маршрутизації (Arc Routing Problems — ARP) [3]. Різні проблеми транспортної маршрутизації тісно переплетені як між собою, так й взагалі з проблемами транспортного планування. Хоча розв'язуються ці проблеми методологічно доволі по-різному [4].

Проблема маршрутизації (руху, пересування) транспортних засобів (VRP) була представлена Данцигом і Рамсером під назвою «Проблема відправлення вантажівок» [5]. Дослідження VR-проблеми дало початок серйозним розробкам у галузі як точних алгоритмів, так і евристик [2]. Свою дуже важливу роль у розвитку теорії маршрутизації відіграла так звана проблема комівояжера [6]. Але найближчим до потреб планування дрібногуртових перевезень віддавна став алгоритм Кларка — Райта (Clarke and Wright) [7, 8]. Його і зараз застосовують у поєднанні з іншими сучаснішими алгоритмами (приміром, разом з алгоритмом Моля — Джеймсона (Mole and Jameson), коли кількість застосовуваних транспортних засобів наперед не задана). Та примітивізм алгоритму Кларка — Райта дещо насторожує: невже суть оптимальної маршрутизації полягає саме в тому, що декларує цей алгоритм? Тож виникає гіпотеза, що алгоритм декларує схилену, дефектну оптимальність.

Мета дослідження — розкрити протиріччя у розумінні ліпшого/гіршого маршруту,

означуваного в термінах алгоритму маршрутизації Кларка — Райта, спираючись при цьому суто на формальні критерії й засоби.

Дрібногуртове перевезення як таке. Гурти, що формуються (вантажі, що гуртуються) для перевезення на одному маршруті з відносно багатьох місць нагромадження вантажів у відносно велику кількість місць запитів на них, вважають дрібними, коли їх розмір істотно менший за вантажність (ємність, місткість) найпоширенішого, найуживанішого, найефективнішого транспортного засобу. Перевезення дрібних гуртів можуть бути суто розвізними, коли вантаж поширюється з одного осередку водночас у різні місця, або звізними (збірними), коли з різних місць вантаж звозиться в один приймальний пункт. Але потенційно найефективнішими мали б бути розвізно-звізні перевезення, коли транспортний засіб на одному маршруті і завантажується в різних осередках, і розвантажується в різних пунктах очікування вантажу. Відповідно — розвізними, звізними (збірними) та розвізно-звізними — називають і маршрути.

Характерним для дрібногуртових автомобільних перевезень є:

- тривалість завантажувально-вивантажувальних операцій істотно перевищує тривалість перебування транспортного засобу власне у русі;

- жорсткими є вимоги дотримання технологічних графіків і регламентів, хоча транспортні засоби вимушені пересуватись в погано прогнозованих неусталених транспортних потоках;

- перевезення здебільшого перебувають під тягарем жорстких екологічних обмежень.

Тож планування розвізно-звізних перевезень має бути таким, аби в жодному разі не довелось перевантажити транспортний засіб, а маршрут мав би пролягати через визначені пункти так, щоби сумарний пробіг транспортних засобів був мінімальний. Звісно, дуже важливою є потреба завантажувати кожную машину під максимум її технічних можливостей (якнайповніше використовуючи вантажність чи вантажомісткість) та залучати до роботи загалом якомога менше машин. Просто перебирати різні варіанти (а їх в

реальних транспортних ситуаціях завжди дуже багато навіть за відносно малої кількості учасників) — малопродуктивна праця. Тож доводиться вишукувати продуктивніші алгоритми, хай навіть вони ведуть не до справді найкращого результату, а лише наближають до нього.

Алгоритм Кларка — Райта. Хай ідеться про одного чи то постачальника, чи то споживача. І хай задіяні два маятникові маршрути — $0-i-0$ і $0-j-0$ (вони сукупно або розвізні, або звізні). Тут 0 — кінець і початок маршруту, тобто пункт-осередок, що є або пунктом відправлення, або пунктом доправлення; i, j — проміжні пункти.

Вартою уваги є ідея об'єднати два маятникові маршрути в один кільцевий $0-i-j-0$, сподіваючись на зиск у формі скорочення пробігу

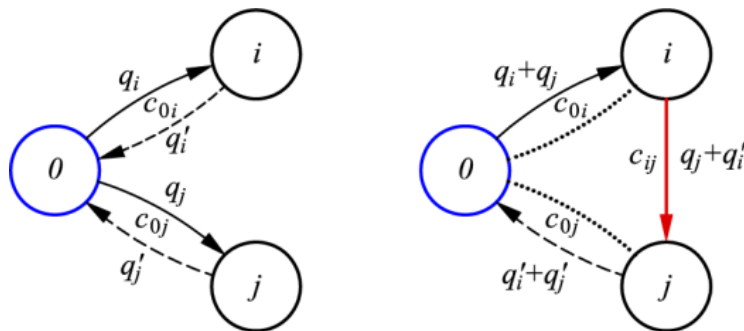


Рисунок 1 – Схема об'єднання двох маятникових (ліворуч) маршрутів в один кільцевий (праворуч)

Прийнятну вантажність чи вантажомісткість q_a транспортного засобу, що має обслужити маршрут, визначає максимальна з величин $q_i + q_j, q_j + q'_i, q'_i + q'_j$ (див. рис. 1):

$$q_a \geq \max\{q_i + q_j, q_j + q'_i, q'_i + q'_j\}.$$

Якщо

$$W_{ij} = (q_i + q_j)c_{0i} + (q_j + q'_i)c_{ij} + (q'_i + q'_j)c_{0j}$$

– робота транспортного засобу на маршруті у напрямі від i до j , а

$$W_{ji} = (q_i + q_j)c_{0j} + (q_i + q'_j)c_{ij} + (q'_j + q'_i)c_{0i},$$

– робота транспортного засобу на маршруті у напрямі від j до i , то у разі дотримання умови

$$\Delta W = W_{ij} - W_{ji} = (q_i - q'_i)(c_{0i} - c_{ij} - c_{0j}) + (q_j - q'_j)(c_{0i} + c_{ij} - c_{0j}) < 0$$

обхід маршруту має здійснюватись саме від i до j , у разі $\Delta W > 0$ — від j до i , у разі $\Delta W = 0$

– напрям не важливий. При цьому

$$\Sigma W = W_{ij} + W_{ji} = (q_i + q_j + q'_i + q'_j)(c_{0i} + c_{0j} + c_{ij}) = QC,$$

де: $Q = q_i + q_j + q'_i + q'_j$ – загальна кількість вантажу, що перебуває в обігу,

$$C = c_{0i} + c_{0j} + c_{ij} \text{ – довжина маршруту.}$$

Об'єднуючи таким способом маятникові маршрути, обов'язково отримуємо позитивний ефект у зазначеному сенсі, оскільки логічним є те, що завжди $0 < c_{ij} \leq c_{0i} + c_{0j}$. Далі можна

$$z_{ij} = c_{0i} + c_{0j} - c_{ij},$$

де: c_{0i}, c_{0j}, c_{ij} — віддалі між пунктами 0 і $i, 0$ і j, i і j .

На рис. 1 саме відображено принцип згортання двох маятникових маршрутів в один кільцевий: суцільні і штрихові лінії — пересування машини з вантажем у зустрічних напрямках; точкові лінії — їздки, що зникають у разі згортання маршрутів; дуга c_{ij} — нова їздка. При цьому на ділянці $0-i$ на об'їздку транспортного засобу має перебувати одночасно і вантаж для пункту i , і вантаж для пункту j . Саме у такому ракурсі бачать ситуацію, приміром, у підході Кларка — Райта до розгортання розвізних/звізних маршрутів (G. Clarke і J. W. Wright — британські вчені).

організувати й другий і третій... етапи такого об'єднання маршрутів. Але раніше чи пізніше цей процес потрібно буде зупинити, отримавши на якомусь кроці приблизно (не цілковито) оптимальний план дрібногуртових перевезень. А зупинитись доведеться тоді, коли з наступним кроком кількість вантажу виявиться більшою за вантажність чи вантажомісткість транспортного засобу.

Приклад транспортної ситуації. Розгляньмо для прикладу таку транспортну ситуацію: необхідно розвести з пункту-осередку (складу) 0 вантажі дев'ятьом різним споживачам та звезти від них у цей пункт-осередок якийсь інший вантаж (повернути, скажімо, нагромаджену там колись оборотну тару); існує можливість обслуговувати маршрути автомобілями вантажомісткістю $q_{a1} = 150$ і $q_{a2} = 300$ в.о. (тут в.о. — (умовна) вантажна одиниця). Ситуацію охарактеризовано, як зазвичай, у табл. 1: Q^+ і Q^- — кількість вантажу, що відправляється на маршрут, і кількість вантажу, що збирається з маршруту (у в.о.); усього учасників ситуації, як домовлено, — 10 (так би мовити, для круглого рахунку; $i = 0, 1, \dots, 9$); c_{ij} ($i, j = \overline{0, 9}$) — найкоротші віддалі (хай — в км) між пунктами.

Тож загальна довжина дев'яти маятникових маршрутів — 260 км.

Таблиця 1

Параметри транспортної ситуації (дрібногуртові перевезення)

Q^+ , в.о.	Q^- , в.о.	Учасники $i(j)$, віддалі c_{ij}												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
120	40	12												
80	35	5	7											
70	45	9	13	6										
90	50	18	8	12	8									
95	30	11	16	7	7	14								
65	20	15	14	14	9	4	12							
60	15	24	20	10	4	8	9	7						
50	10	14	18	12	6	12	4	10	5					
65	20	22	17	18	14	10	19	14	12	17				

Звернімо увагу, приміром, на маятникові маршрути $0-4-0$ завдовжки $c_{04} + c_{40} = 2c_{04} = 18 \cdot 2 = 36$ км та $0-7-0$ завдовжки $c_{07} + c_{70} = 2c_{07} = 24 \cdot 2 = 48$ км (разом — 84 км). Якщо їх об'єднати у кільцевий маршрут $0-4-7-0$ (чи $0-7-4-0$), то пробіг автомобіля скоротиться на:

$$z_{47} = z_{74} = c_{04} + c_{07} - c_{47} = 18 + 24 - 8 = 34 \text{ км.}$$

Справді, довжина нового маршруту:

$$c_{047} = c_{04} + c_{47} + c_{70} = 18 + 8 + 24 = 50 \text{ км,}$$

саме на 34 км є меншою за довжину $2c_{04} + 2c_{07} = 36 + 48 = 84$ км двох маятникових.

Число $z_{47} = 34$ занесімо в клітинку $4-7$ табл. 2. Подібно можна оцінити наслідки попарного об'єднання усіх інших маятникових маршрутів. Найбільший зиск, як випливає з даних табл. 2, спостерігається від об'єднання маршрутів 4 і 7 та 7 і 9 : $z_{47} = z_{79} = 34$.

Таблиця 2

Ефект від попарного об'єднання маятникових маршрутів

Q^+ , в.о.	Q^- , в.о.	Учасники $i(j)$, зиски z_{ij} , км												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9				
120	40													
80	35	10												
70	45	8	8											
90	50	22	11	19										
95	30	7	9	13	15									
65	20	13	6	15	29	14								
60	15	16	19	29	34	26	32							
50	10	8	7	17	20	21	19	33						
65	20	17	9	17	30	14	23	34	19					

На кільцевому маршруті, що об'єднує маятникові $0-4-0$ та $0-7-0$, ввезенню на маршрут підлягають $90+60=150$, а вивезенню з нього — $50+15=65$ в.о. вантажу. З цим, зрозуміло, впорасться вантажівка вантажомісткістю $q_{al}=150$ в.о., оскільки й на ділянці $4-7$, як легко переконатись, переміщатиметься менше, ніж 150 в.о. вантажу.

Транспортна робота. Кільцевий маршрут, який мав би заступити два маятникові, можна реалізувати у двох варіантах за напрямом обігу, рис.

2 (обсяги вантажу, в.о. — у дужках). Пара маятникових маршрутів (рис. 2а) мають, як з'ясовано, довжину 84 км, а кожен з кільцевих — 50 км (рис. 2б, в). Але й транспортні роботи на них (визначені в умовних одиницях) істотно відрізняються: на маятникових маршрутах (рис. 2а)

$$W = (90 + 50) \cdot 18 + (60 + 15) \cdot 24 = 4320;$$

на першому кільцевому (рис. 2б)

$$W = (90 + 60) \cdot 18 + (60 + 50) \cdot 8 + (50 + 15) \cdot 24 = 5140$$

на другому кільцевому (рис. 2в)

$$W = (90 + 60) \cdot 24 + (90 + 15) \cdot 8 + (15 + 50) \cdot 18 = 5610$$

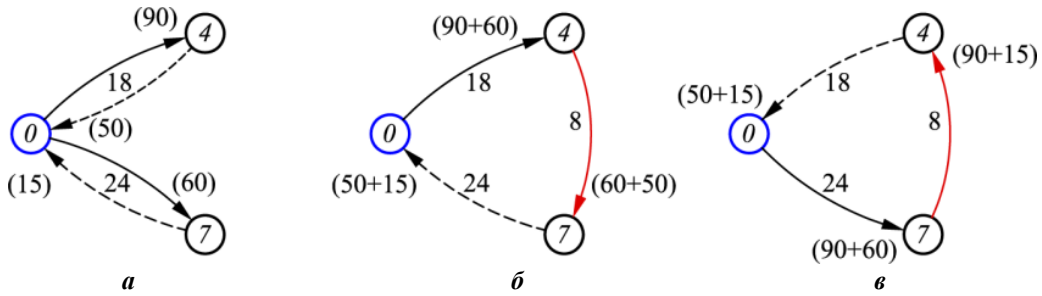


Рисунок 2 – Варіанти об'єднання двох маятникових маршрутів в один кільцевий

Тож перший кільцевий маршрут має очевидну перевагу перед другим: транспортна робота менша на 470 умовних одиниць, хоча вивозиться з маршрутів і ввозиться на маршрути одна і та сама кількість вантажу — відповідно 150 і 65 в.о. Але от як цей кращий кільцевий маршрут порівняти з парою маятникових, за якими критеріями? З одного боку, довжина кільцевого маршруту істотно менша (50 км проти 84) — це переконлива його перевага. Але з другого боку, транспортна робота на ньому при однаковому обсязі перевезень істотно більша (5140 умовних одиниць проти 4320) — це очевидний недолік. Те, що на кільцевий маршрут є можливість задіяти автомобіль поширенішої зазвичай більшої вантажомісткості, не є перевагою, бо те саме можна зробити й на маятникових маршрутах, щоправда у меншій мірі, звісно, вичерпуючи вантажомісткість машини. Не вдасться

однозначно порівняти в обох випадках і якість завантаження транспортної інфраструктури.

Доеднаймо до щойно побудованого кільцевого маршруту ще один маятниковий $0-9-0$, якому в табл. 2 відповідає параметр $z_{79} = 34$, рис. 3. Якщо за проміжний правитиме пункт 4 (рис. 3а), то зиск від об'єднання маршрутів виражатиме величина:

$$z_{749} = c_{04} + c_{40} + c_{09} + c_{07} - c_{47} - c_{49} = z_{47} + z_{49} = 34 + 30 = 64 \text{ км,}$$

якщо ж пункт 7 (рис. 3б), то — величина:

$$z_{479} = c_{04} + c_{09} + c_{07} + c_{70} - c_{47} - c_{79} = z_{47} + z_{79} = 2 \cdot 34 = 68 \text{ км,}$$

а якщо проміжним буде пункт 9 (рис. 3в), то — величина:

$$z_{497} = c_{04} + c_{07} + c_{09} + c_{90} - c_{49} - c_{79} = z_{49} + z_{79} = 30 + 34 = 64 \text{ км}$$

(див. табл. 2). У другому випадку зиск, як і слід було очікувати, найбільший. При цьому слід розрізняти два напрями обігу цього «вигідного» маршруту, рис. 4.

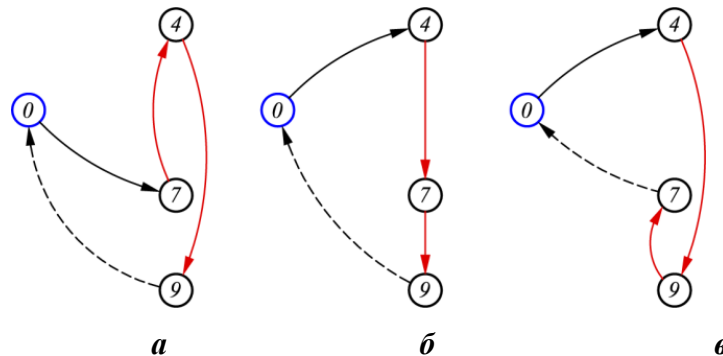


Рисунок 3 – Три варіанти об'єднання трьох маятникових маршрутів в один кільцевий

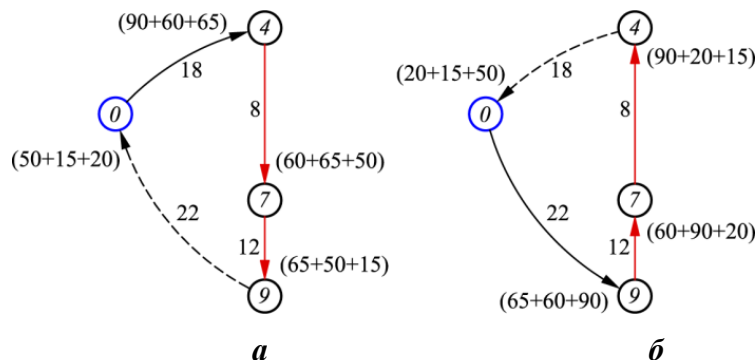


Рисунок 4 – Два варіанти обігу «вигідного» кільцевого маршруту

Якщо на трьох маятникових маршрутах (загальною довжиною 128 км) виконується транспортна робота 6190 (в умовних одиницях), то на відповідних кільцевих (завдовжки 60 км): $0-4-7-9-0$ (рис. 4а) — 8700; $0-9-7-4-0$ (рис. 4б) — 9300. При цьому на обслуговування маршруту доведеться залучити транспортний засіб вантажомісткості $q_{a2} = 300 > 215$ в.о.

Звісно, існує багато кільцевих маршрутів, що є згортками розглянутих трьох маятникових, але які мають у певному сенсі ознаки посередності, — відхилення від окреслених раніше ознак екстремальності. Один з них відображає схема, що наведена на рис. 5: перша цифра в квадратних дужках — кількість одного вантажу, що має прибути в пункт, а друга — кількість якогось іншого вантажу, що має полишити цей пункт. Транспортний засіб в

пункті 0 бере на облавку 90 в.о. вантажу, призначеного для пункту 4 та 40 в.о. вантажу, призначеного для пункту 7. У пункті 4 він вивантажує 90 в.о. вантажу, але довантажує до 40 в.о. вантажу, що залишився на облавку, ще 50 в.о. іншого вантажу, призначеного для вивезення у пункт 0. Досягнувши пункту 7, транспортний засіб вивантажує 40 в.о., призначеного для ввезення, приймає 15 в.о. вантажу, призначеного для вивезення, і прямує в пункт 0. Там вивантажують 65 в.о. прибулого з маршруту вантажу і завантажують нові 65 в.о. та 20 в.о., призначені для відповідно пунктів 9 і 7. Тож у пункт 9 прибувають 65 в.о. потрібного там вантажу, а вибувають з нього 20 в.о. для пункту 0 разом з 20 в.о. для пункту 7. В пункті 7 облавку полишають 20 в.о. призначеного для нього вантажу, і вже 20 в.о. вантажу прямують у пункт 0.

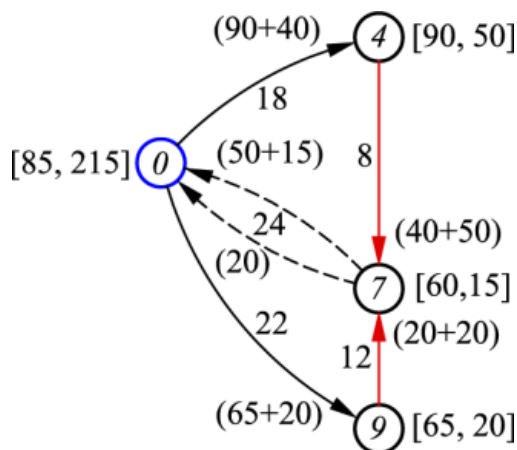


Рисунок 5 – Посередній кільцевий маршрут

З одного боку цей маршрут об'єднує три маятникові, зменшуючи протяжність перевезень лише на 20 км (а не на 64 км, як раніше). З іншого боку, він — об'єднання двох кільцевих маршрутів завдовжки 58 і 50 км. Йому відповідає транспортна робота 7450 умовних одиниць — більша, ніж у разі системи маятникових маршрутів (6190), але менша, ніж у разі найкращої кільцевої їх згортки (8700). При цьому маршрут може обслуговувати транспортний засіб вантажомісткістю $q_{a2} = 150$ в.о. Але виявляється, що жодний вимірник не може дати підстави оцінити цей маршрут як ліпший чи гірший з того чи іншого боку.

Легко бачити, що кожен з двох кільцевих маршрутів поєднує в собі два маятникові. Ці об'єднання кожне окремо дуже вигідні, див. табл. 1 (зиск кожного $z = 34$ км — максимальний серед наведених там). А от разом кільцеві перевезення оцінюються значно скромніше — $z = 20$ км (чи йдеться про використання лише одного транспортного засобу, чи й двох).

Серед найпростіших наближених методів визначення раціонального обходу кільцевого маршруту, вершини (пункти) якого відомі, особливе місце так званий метод сум. Аби розкрити його суть, звернімося до маршруту $0-4-7-9-0$, найкоротші віддалі між пунктами якого наведені в табл. 3 (див. також табл. 1).

Таблиця 3

Параметри кільцевого маршруту

Пункти	0	4	7	9
0	0	18	24	22
4	18	0	8	10
7	24	8	0	14
9	22	10	14	0
Разом	64	36	46	46

Останній рядок таблиці містить суми віддалей, що фігурують у стовпцях. Найбільші три серед цих сум відповідають пунктам 0, 7, 9. Метод пропонує взяти за основу кільцевий маршрут 0—7—9—0, що сполучає власне ці три особливі пункти, а вже до нього доєднувати по черзі за певним алгоритмом інші пункти з наступними по черзі найбільшими сумами. Тут серед «наступних» є тільки один пункт 4, який отже треба було б доєднати до маршруту 0—7—9—0. Його можна вставити всередину таких пар пунктів: 0—7, 7—9, 9—0. З'ясувати де саме найліпше, дозволяє вимірник

$$\Delta c_{ij} = c_{ik} + c_{jk} - c_{ij},$$

у якому i і j — пункти, між якими можна вставити потрібний для формування маршруту пункт k , c_{ik} , c_{kj} , c_{ij} — віддалі між пунктами. Надавати перевагу слід найменшому значенню цього вимірника. Так, на місце розташування проміжного пункту $k = 4$ має вказати найменша з величин

$$\Delta c_{07} = c_{04} + c_{47} - c_{07} = 18 + 8 - 24 = 2,$$

$$\Delta c_{79} = c_{74} + c_{49} - c_{79} = 8 + 10 - 14 = 4,$$

$$\Delta c_{90} = c_{94} + c_{40} - c_{90} = 10 + 18 - 22 = 6.$$

Отже пункт 4 має розташовуватись між пунктами 0 і 7, даючи змогу реалізувати маршрутний обіг 0—4—7—9—0. Цей результат підтверджує оцінку, зроблену раніше.

Резюме. 1. Метод Кларка — Райта дуже привабливий зрозумілою ідеєю, прозорим критерієм, простою алгоритму втілення. Людям зазвичай подобаються легко осяжні речі, у них виникає непереборне бажання вірити в істинність усього зрозумілого і ніби очевидного для них. Тож метод стає легко поширюваним, але від нього йде загроза переконати світ у тому, що складне звідне до простого. А це — неправда.

2. Виникає розгубленість у процесі ведення ділових стосунків між логістами, постачальниками, споживачами, перевізниками... та провокується маніпулятивність у діловому середовищі: яким має бути механізм здійснення винагороди за транспортну послугу — чи за виконаний насправді пробіг транспортного засобу, чи за віддаль (не шлях), на яку фактично пересилається вантаж, чи за кількість вантажу, що перевозиться, чи за виконану транспортну роботу, чи за все вкупі, чи за все потроху у різних пропорціях? Чи справді усі причетні до процесу транспортування мають в однаковій мірі зиск від згортання маршрутів?

3. Транспортний засіб перебирає на себе невластиві йому функції складу (він стає коморою на колесах). Це загалом доволі вартісна і погано вмотивована операція. Власне вона й переростає у зайву транспортну роботу. Зростання

транспортної роботи — це своєрідна плата за перебирання на себе невластивих функцій.

4. В методі насправді певною мірою спотворюється зміст поняття «досконалий план дрібногуртових перевезень». Мінімізуючи пробіг транспортного засобу, ніби вдається зменшити тривалість перевезень. Звісно, час — найцінніший ресурс у житті людини й суспільства. Але збільшення навантаги на транспортний засіб та на дорожню інфраструктуру інтенсифікує їхнє зношування. Відновлення кондицій транспорту потребує інших ресурсів, за якими обов'язково також стоїть такий час. А ще є проблема реалізації швидкісного потенціалу автомобіля. А як бути з енерговитратами? Звісно, замість пробігу можна оперувати й іншим різновидом «тарифу/ціни/зиску». Але тоді виникає проблема, як об'єктивно визначати тариф/ціну/зиск.

5. Є ознаки певної дискредитації, певного підриву довіри до звичних вимірників і критеріїв. Приміром, у транспортній задачі обумовлюють учасників ситуації та обсяги обов'язкових перевезень, а за критерій оптимальності править транспортна робота (або ж середня віддаль перевезення безіменної одиниці кількості вантажу), яку, зрозуміло, потрібно б мінімізувати. Цікаво, як слід було б сприймати вимогу мінімізувати в транспортній задачі загальний пробіг транспортних засобів (а не транспортну роботу), як облікувати марні пробіги, як задачу взагалі сформулювати?

6. Метод Кларка — Райта сприймається доволі природно, якщо мова заходить, скажімо, про «розвезення послуг» — працівник з ремонту побутової техніки, приміром, планує турне (замкнений тур), аби раціонально за винагороду розвести свій інтелект, знання, вміння з валізою інструменту, дрібні запасні частини. Його філософію мав би сповідувати також і мандрівний продавець (комівояжер), покликаний поширити ювелірні прикраси (масою не більше, скажімо, унції).

Список літератури:

1. Eksioglu B., Volkan Vural A., Reisman A. The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*. — Vol. 57(4). — Is. 4, 2009. — P. 1472—1483. DOI:10.1016/j.cie.2009.05.009
2. Golden Bruce L., Raghavan S., Wasil Edward A. (Eds.). *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. Springer, Series: Operations Research/Computer Science Interfaces Series, Vol. 43. — Springer, 2008. — IX + 589 p. DOI: <http://doi/10.1007/978-0-387-77778-8>
3. Dror M. (Ed.). *Arc Routing: Theory, Solutions and Applications*. — New York: Springer Science+Business Media. — 2000. — XXIV + 483 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4495-1>

4. Beck J. C., Prosser P., Selensky E. Vehicle Routing and Job Shop Scheduling: What's the difference? Proc. of the 13th International Conference on Automated Planning and Scheduling, 2003. P. 267—276.

5. Dantzig G. B., Ramser J. H. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*. – 1959. – Vol. 6. — Is. 1. — P. 80—91.

URL: <http://www.jstor.org/stable/2627477>

6. Applegate D. L., Bixby R. E., Chvátal V., Cook W. J. The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. Princeton Series in Applied Mathematics, — Princeton University Press, 2007. — XII + 594 p. URL:

<https://www.jstor.org/stable/j.ctt7s8xg>

7. Clarke G., Wright J.R. Scheduling of Vehicle Routing Problem from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*. – 1964. – Vol. 12. – No. 4. – P. 568– 581. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1287/opre.12.4.568>

8. Battarra M., Golden B., Vigo D. Tuning a Parametric Clarke-Wright Heuristic via a Genetic Algorithm. *Journal of the Operational Research Society*. – November. 2008. – P. 1–19. DOI: 10.1057/palgrave.jors.2602488

9. Pichpibul, T., Kawtummachai R. New Enhancement for Clarke-Wright Savings Algorithm to Optimize the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Journal of the Operational Research Society*. – 2012. – Vol. 78. – No.1. – P. 119 – 134.

References:

1. Eksioglu, B., Volkan Vural, A., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472 – 1483. DOI:10.1016/j.cie.2009.05.009

2. Golden, Bruce L., Raghavan, S., & Wasil, Edward A. (Eds.). (2008). *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*.

Springer, Series: Operations Research/Computer Science Interfaces Series, Vol. 43, Springer, IX + 589. DOI: <http://doi/10.1007/978-0-387-77778-8>

3. Dror, M. (Ed.). (2000). *Arc Routing: Theory, Solutions and Applications*. Springer Science+Business Media, New York, XXIV + 483. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4495-1>

4. Beck, J. C., Prosser, P., & Selensky, E. (2003). Vehicle Routing and Job Shop Scheduling: What's the difference?, Proc. of the 13th International Conference on Automated Planning and Scheduling, 267 – 276.

5. Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80 – 91. URL: www.jstor.org/stable/2627477

6. Applegate, D. L., Bixby, R. E., Chvátal, V., & Cook, W. J. (2007). *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. Princeton Series in Applied Mathematics, Princeton University Press, XII + 594.

<https://www.jstor.org/stable/j.ctt7s8xg>

7. Clarke, G. & Wright, J. R. (1964) Scheduling of Vehicle Routing Problem from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4), 568 – 581. URL:

<http://dx.doi.org/10.1287/opre.12.4.568>

8. Battarra M., Golden B., & Vigo D. (2008). Tuning a Parametric Clarke-Wright Heuristic via a Genetic Algorithm. *Journal of the Operational Research Society*, November 2008, 1 – 19. DOI: 10.1057/palgrave.jors.2602488

9. Pichpibul, T., & Kawtummachai R. (2012). New Enhancement for Clarke-Wright Savings Algorithm to Optimize the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Journal of the Operational Research Society*, 78(1), 119 – 134. URL:

<http://www.europeanjournalofscientificresearch.com>

© Л. П. Гащук, П. М. Гащук, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 28.03.2023.

Прийнято до публікації 18.05.2023.