УДК 65.012.2
JEL C 690

Голованенко М.В., к.е.н., доцент,
КНУ імені Тараса Шевченка

ПОБУДОВА ГРАФІКУ РУХУ ТРАНСПОРТУ ЛОГІСТИЧНОЇ КОМПАНІЇ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ КЛАРКА-РАЙТА

Розглянуто проблему побудови графіку руху автотранспортних засобів логістичної компанії з використанням алгоритму Кларка-Райта. Об'єктом оптимізації графіку руху транспорту виступила локальна логістична мережа окремого міста «центральний термінал - відділення».

***Ключові слова**:* логістика, *алгоритм Кларка-Райта (CW)*, логістична мережа, задача маршрутизації транспорту (VRP), логістична компанія, сервіси Google.

Постановка проблеми. Необхідність вирішення завдання підвищення рівня логістичного сервісу логістичними компаніями створює передумови для більш активного використання в їх практичній діяльності наукового апарату. Оскільки за певного критичного рівня масштабів та складності завдань їх вирішення з використанням евристичних підходів навіть досвідченими фахівцями-практиками виявляється вкрай проблемним або й взагалі неможливим. Одним із прикладів наукового інструментарію, що може бути корисним для вирішення практичних логістичних проблем, є задача маршрутизації перевезень (або в іншому варіанті назви – задача маршрутизації транспорту), відома також в літературі під абревіатурою VRP (від англ. vehicle routing problem). В найбільш загальному вигляді вона полягає у виборі оптимальних маршрутів руху сукупності транспортних засобів, розташованих в одному або декількох пунктах (депо), які мають забезпечити доставку вантажів територіально віддаленим клієнтам (розташованим у різних місцях). На основі ефективного вирішення задачі маршрутизації вирішується ще більш важлива в практичному сенсі задача – побудова графіку руху транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задача маршрутизації транспорту тривалий час привертає увагу закордонних та вітчизняних дослідників. Серед вітчизняних дослідників можна виділити роботи Найдьонова І.М., який для розв'язання задач маршрутизації транспортних засобів пропонує математичну модель топології дорожньої мережі [1]; Барбашова І.А., Огнєвого О.В., які розглядають застосування алгоритму мурашиних колоній для вирішення цієї задачі [2]; Алькеми В.Г., який акцентує увагу на необхідності комплексного врахування інтересів як перевізників, так і відправників вантажів при пошуку оптимального розв'язку задачі маршрутизації транспорту [3]. Серед іноземних дослідників значна увага приділяється алгоритму мурашиних колоній [4] та генетичним алгоритмам [5], як найбільш перспективним засобам розв'язання задачі маршрутизації транспорту.

Невирішені частини проблеми. У зв'язку з високою обчислювальною складністю задачі маршрутизації транспорту, відомі методи її розв'язку дають наближені рішення, що характеризуються різним рівнем ефективності. Хоча названі

вище методи й дають порівняно більш високий рівень ефективності, проте з огляду на необхідність врахування ряду практичних обмежень при побудові графіку руху транспорту їх використання є ускладненим. Тоді як застосування більш простого й добре відомого алгоритму Кларка-Райта в рамках спеціальної обчислювальної схеми, де він виступає в ролі специфічного інструменту відбору допустимих маршрутів, дозволяє отримати ефективне практичне рішення задачі побудови графіку руху транспортних засобів, яка на даний час універсального розв'язку не має. Тим більше, що за оцінками окремих дослідників, зокрема, Гужевської Л.А. та Даниленко І.В., похибка при застосуванні цього методу є відносно незначною й в середньому не перевищує 5-10% [6].

Отже, **метою** даної роботи є розробка методичних засад побудови добового графіку руху автотранспортних засобів логістичної компанії в локальній мережі з одним центральним терміналом на основі алгоритму Кларка-Райта.

Викладення основного матеріалу. Базова задача маршрутизації транспорту може бути доповнена різного роду обмеженнями, основними з яких є:

- обмеження на вантажопідйомність (місткість) транспортних засобів, зокрема, наявність транспортних засобів різної вантажопідйомності (CVRP);
- часові обмеження (VRPTW);
- динамічний характер формування обсягів вантажів (DVRP) [4];
- одностороння доставка або двостороння (пряма й зворотня) доставка вантажу.

Вказані обмеження є вкрай важливими в контексті практичного застосування задачі маршрутизації перевезень. Так, особлива важливість обмеження по вантажопідйомності для реалій окремих українських логістичних компаній пояснюється тим, що вони змушені користуватися вкрай неоднорідним транспортним парком. Це має свої причини, зокрема й обмежений доступ до джерел фінансування та їх висока вартість, що не дозволяє одночасно формувати однотипний парк транспортних засобів та оперативно його оновлювати. В результаті окремі вітчизняні логістичні компанії можуть лише достатньо умовно згрупувати доступні транспортні засоби в типові групи за вантажопідйомністю, при цьому фактично мало не кожна одиниця транспорту характеризується індивідуальною величиною вантажопідйомності, відмінною від інших представників групи.

Що ж до часових обмежень, то їх врахування необхідне з огляду на потребу складання розкладу руху транспортних засобів, що критично важливий для ефективного управління транспортними потоками логістичної компанії.

Також вкрай важливе в практичному ключі врахування динамічного характеру формування обсягів вантажів, що є предметом перевезення в транспортній мережі. Оскільки обсяги запасів товарів, що чекають відправки у відділеннях логістичної компанії, формуються не одномоментно, а поступово накопичуються протягом робочого дня.

Початком першого етапу процедури розв'язку задачі побудови графіку руху транспорту на основі алгоритму Кларка-Райта, узагальнена схема якої наведена на рис. 1, є формування масиву вхідної інформації. Цей масив за джерелами отримання

можна умовно розподілити на дві категорії – внутрішні дані компанії та зовнішня інформація.

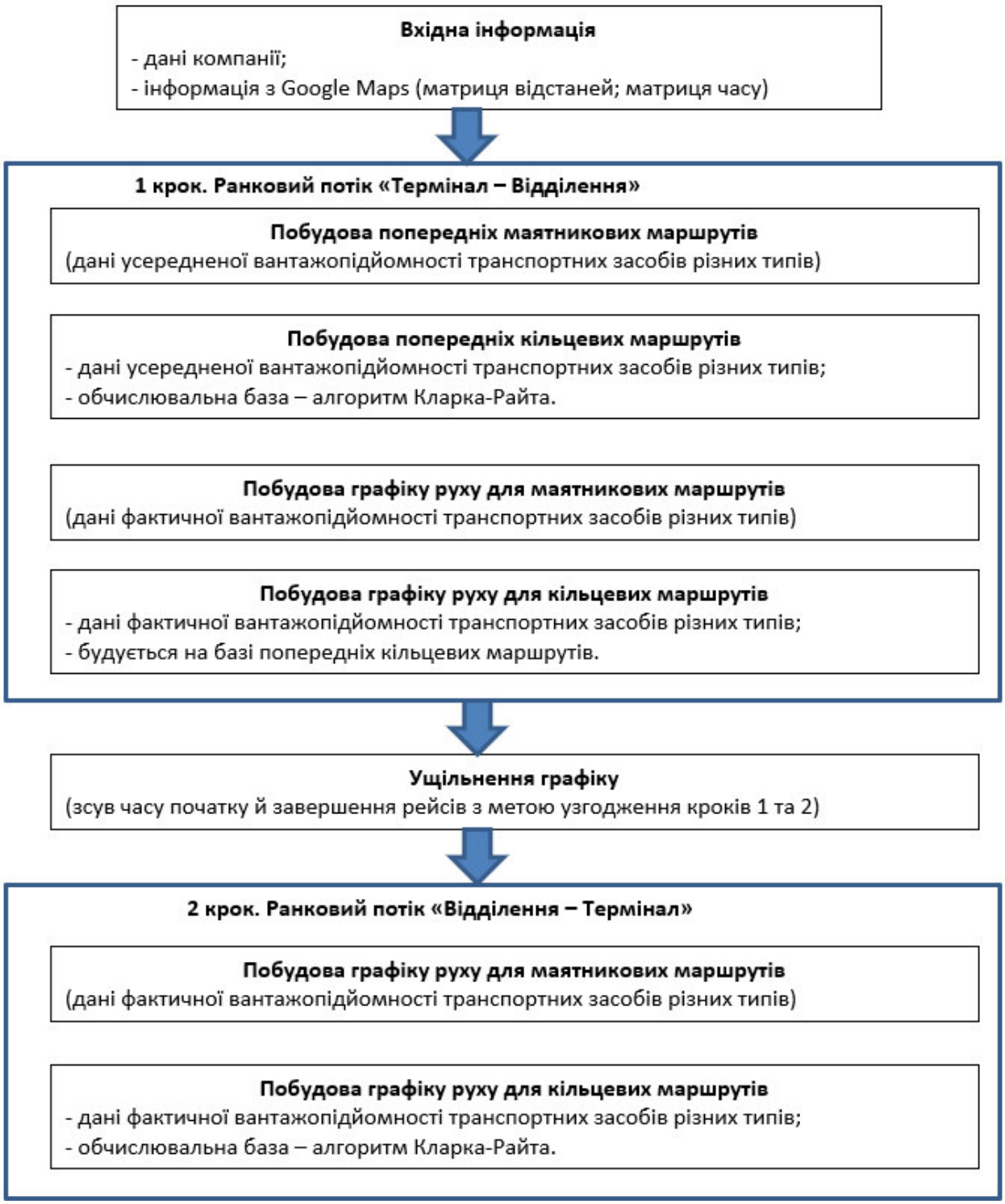


Рис. 1. Узагальнена схема першого етапу процедури розв'язку задачі побудови графіку руху транспорту на основі алгоритму Кларка-Райта

Джерело: побудовано автором.

Внутрішні дані компанії включають такі основні складові:

• інформацію про термінал та мережу відділень компанії, а також їх розташування. Для відділень також важлива інформація щодо їх здатності приймати транспортні засоби різної вантажопідйомності (розташування окремих відділень не дозволяє забезпечувати їх обслуговування великотонажними автомобілями);

• інформацію про парк доступних транспортних засобів компанії з їх ключовими характеристиками (вантажопідйомність, витрати пального на кілометр пробігу; норми часу навантажувально-розвантажувальних операцій);

• інформацію про добову заробітну плату водіїв (вона є важлива, оскільки виступає в якості постійних витрат – якщо транспортний засіб зарезервовано, оплата водію здійснюється незалежно від фактичного пробігу автомобіля за день);

• інформацію про режим роботи терміналу та відділень, а також закономірності накопичення вантажів на них.

Ключовими складовими зовнішньої інформації є дані матриці відстані та часу між терміналом та відділеннями. Хоча в загальному випадку такими даними може володіти й сама логістична компанія, проте в більшості випадків такі дані є неповними, оскільки відображають інформацію про відстані та час лише між окремими парами пунктів мережі, які відповідають фактично застосовуваним маршрутам. Тоді як застосування формалізованих процедур маршрутизації, зокрема, й алгоритму Кларка-Райта, передбачає наявність повної матриці попарних відстаней та часу між усіма пунктами мережі. Донедавна побудова вказаних матриць для транспортних мереж, що включають кілька десятків пунктів, була вкрай трудомісткою або й неможливою задачею. Так, транспортна мережа, що розглядалася в рамках проведеного дослідження, включала 42 пункти. Це означає, що, навіть із врахуванням симетричності матриці відстаней, для її побудови слід опрацювати приблизно 800 комбінацій пар пунктів і таку ж кількість пар пунктів для побудови матриці часу.

Проте розвиток сучасних інформаційних технологій, зокрема, поява сервісів Google Maps, значно спростив вирішення цієї задачі. Серед сервісів Google Maps є два інструменти, корисні для побудови вказаних вище матриць. Перший з них – сервіс distance.matrix. Як випливає з його назви, задавши в якості аргументів два масиви – адреси пунктів відправлення та призначення, – завдяки цьому сервісу можна отримати матрицю попарних відстаней та часу між цими пунктами. Проте практичне його застосування натикнулося на комерційні обмеження, тому задача побудови матриці попарних відстаней та часу між пунктами транспортної мережі була вирішена завдяки іншому сервісу від компанії Google – Maps.DirectionFinder. Хоча він дозволяє отримати за одне звернення інформацію про відстань та час лише між однією парою пунктів, проте завдяки нескладному Java скрипту процедуру перебору усіх комбінацій пар пунктів можна автоматизувати, передаючі до сервісу Maps.DirectionFinder адреси комбінацій пунктів з листа Google Sheets і заповнюючи на інших листах результати роботи сервісу по обчисленню відстаней та часу для кожної пари пунктів.

Подальший розгляд схеми процедури розв'язку задачі побудови графіку руху транспорту на основі алгоритму Кларка-Райта потребує пояснень стосовно

специфіки діяльності логістичної компанії, за даними якої проводилось дослідження. Основною специфічною рисою є асиметричність добових вантажних потоків в мережі «центральний термінал – відділення». Це пояснюється тим, що вранці основний потік вантажів прямує з центрального терміналу до відділень, оскільки на центральному терміналі вранці накопичені вантажі з відділень, доставлені в кінці минулого дня, а також вантажі, які надійшли з інших міст (за межами даної локальної логістичної мережі). Ввечері, навпаки, основний потік прямує з відділень, які накопичили відправлення протягом робочого дня, до центрального терміналу.

Друга специфічна риса обумовлена поставленою бізнес-задачею – забезпечити доставку протягом одного дня відправлень, які надійшли зранку й до певного визначеного часу, адресатам інших відділень цього ж міста.

Враховуючі ці особливості, вирішення задачі побудови графіку руху транспортних засобів поділяється на два етапи – «ранковий потік» та «вечірній потік». Практично апробований був перший етап, для чого була розроблена VBA-програма в середовищі Microsoft Excel, тому він і висвітлюється в рамках даної роботи. Реалізація другого етапу, хоча й потребує значної роботи щодо опрацювання програмного коду, проте не містить принципових алгоритмічних або інших проблем, які не вирішуються при реалізації першого етапу.

Отже, розглянемо процедуру побудови графіку руху транспортних засобів щодо обслуговування ранкового потоку. Як видно з ілюстрації на рис. 1, цей етап охоплює два кроки – потоки «термінал – відділення» та «відділення – термінал».

Побудова першого з них здійснюється в умовах найбільшої невизначеності, оскільки усі транспортні засоби знаходяться на центральному терміналі й однаково можуть бути задіяні для роботи на усіх можливих маршрутах. Тому побудові реального графіку руху конкретних транспортних засобів певними маршрутами передує процедура побудови попередніх маршрутів.

Її особливість полягає у тому, що обчислення здійснюються не за фактичними даними вантажопідйомності конкретного автомобіля, а за усередненими даними певних груп автомобілів, в які вони з певною мірою умовності об’єднані. Так, в рамках проведених обчислень виділялося п’ять типів автомобілів (вантажні мікроавтобуси та чотири категорії вантажних автомобілів, що різняться вантажопідйомністю від 3 тон до 20 тон).

Побудова попередніх маршрутів потоку «термінал – відділення» базується на двох діях. Перша – побудова маятникових маршрутів. Маятникові маршрути будуються, починаючі з транспорту найбільшої вантажопідйомності, до найменшої. Якщо обсяг вантажного потоку до певного відділення більше або дорівнює (з врахуванням певного допустимого відсотку недовантаження) вантажопідйомності транспорту відповідного типу, призначається маятниковий маршрут. Якщо завдяки маятниковим маршрутам повністю забезпечується перевезення вантажу, тоді залишок вантажу для відповідного відділення стає нульовим й це відділення далі не враховується при побудові кільцевих маршрутів.

Далі для відділень, обсяги вантажів для яких недостатні для призначення маятникових маршрутів, або для яких залишилися обсяги вантажів, що не перевезені

завдяки маятниковим маршрутам, здійснюється процедура побудови попередніх кільцевих маршрутів. Для побудови попередніх кільцевих маршрутів застосовується алгоритм Кларка-Райта.

На основі даних попередніх маятникових та кільцевих маршрутів реалізується наступна процедура – побудова графіку руху транспорту для ранкового потоку «термінал – відділення». Побудова графіків так само починається з транспортних засобів максимальної вантажопідйомності, проте в даному випадку використовується вже не усереднена вантажопідйомність певного типу транспорту, а реальна вантажопідйомність конкретної транспортної одиниці.

Переходу до другого кроку – побудови графіків руху транспорту для потоку «відділення – термінал» – передує процедура, яка умовно названа «ущільнення графіку». Її необхідність пояснюється тим, що графік руху «термінал – відділення» для кожного задіяного транспортного засобу починає будуватися з часу відкриття центрального терміналу. Це робиться для того, щоб забезпечити можливість здійснення кількох рейсів транспортним засобом. Проте за окремими маршрутами, особливо кільцевими, певні транспортні засоби здійснюють лише один рейс. Тоді для ефективного завантаження транспортного засобу в зворотному напрямку він повинен чекати певний час (інколи значний) у відділенні, що є кінцевим пунктом маршруту. Однак, деякі відділення не мають облаштованої ділянки для тривалого простою транспортного засобу. Крім того, центральний термінал має обмежену кількість рамп, тому забезпечити завантаження усіх транспортних засобів в один і той же час теж не може. У зв'язку з цим і застосовується процедура, яка відстежує останні рейси (в напрямку «термінал-відділення») для кожного транспортного засобу й забезпечує «зсув» початку цих рейсів таким чином, щоб забезпечити своєчасну доставку вантажу з терміналу на відділення й при цьому мінімізувати простоювання транспортного засобу в останньому пункті маршруту в очікуванні вантажу для завантаження.

Другий крок – побудова графіків руху транспорту для потоку «відділення – термінал» – реалізується подібно до першого, проте з тією особливістю, що попередні маятникові та кільцеві маршрути не будуються. В цьому випадку достатньо вхідної інформації для того, щоб безпосередньо будувати графіки руху транспорту за маятниковими та кільцевими маршрутами.

Варто зазначити, що застосування автоматизованих засобів побудови графіків руху транспортних засобів в логістичній мережі виходить за рамки суто завдань диспетчеризації й ефективного оперативного управління транспортом. Крім цих прямих завдань, завдяки даному інструментарію додатково може бути оптимізована кількість та структура транспортного парку та вирішені окремі інші проблеми.

Висновки. Результати проведеного дослідження показали, що на основі алгоритму Кларка-Райта можна практично побудувати добовий графік руху автотранспортних засобів логістичної компанії в локальній мережі з одним центральним терміналом. Побудова цього графіку в автоматичному режимі корисна як для оцінки ефективності та пошуку резервів вдосконалення існуючих графіків руху транспортних засобів, так і для визначення оптимальної кількості та структури парку

транспортних засобів (з врахуванням резервних) в умовах коливання обсягів вантажних потоків в логістичній мережі.

Перспективи подальших досліджень полягають у застосуванні більш складних й сучасних алгоритмів маршрутизації, ніж базовий алгоритм Кларка-Райта, й порівняння їх ефективності при вирішенні завдання побудови графіку руху транспорту в транспортній мережі з одним центральним терміналом.

Література.

1. Найдьонов І. М. Топологічна евристика в розв'язанні проблеми маршрутизації транспортних засобів (VRP) / І. М. Найдьонов // ScienceRise. - 2015. - № 6(2). - С. 52-58. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/texc_2015_6(2)__11.
2. Барбашов І. А. Застосування алгоритму мурашиних колоній для вирішення задач маршрутизації транспортних засобів / І. А. Барбашов, О. В. Огнєвий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 2014. - № 4. - С. 178-180. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vott_2014_4_37.
3. Алькема В. Г. Маршрутизації доставки вантажів автомобільним транспортом / В. Г. Алькема // Вісник Національного транспортного університету. - 2011. - № 24(2). - С. 108-113. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2011_24(2)__27.
4. Haitao Xu, Pan Pu, and Feng Duan, “Dynamic Vehicle Routing Problems with Enhanced Ant Colony Optimization,” Discrete Dynamics in Nature and Society, vol. 2018, Article ID 1295485, 13 p., 2018. https://doi.org/10.1155/2018/1295485.
5. Hanshar F. T., Ombuki-Berman B. M., “Dynamic vehicle routing using genetic algorithms,” Applied Intelligence, vol. 27, no. 1, pp. 89–99, 2007.
6. Гужевська Л. А. Формування розвізно-збірних маршрутів методом Кларка-Райта при доставці експрес-відправлень / Л. А. Гужевська, І. В. Даниленко // Вісник Національного транспортного університету. - 2016. - № 1. - С. 122-129. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2016_1_17.

References.

1. Naidonov I. M. Topolohichna evrystyka v rozviazanni problemy marshrutyzatsii transportnykh zasobiv (VRP) / I. M. Naidonov // ScienceRise. - 2015. - № 6(2). - S. 52-58. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/texc_2015_6(2)__11.
2. Barbashov I. A. Zastosuvannia alhorytmu murashynykh kolonii dlia vyrishennia zadach marshrutyzatsii transportnykh zasobiv / I. A. Barbashov, O. V. Ohnievyi // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. - 2014. - № 4. - S. 178-180. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vott_2014_4_37.
3. Alkema V. H. Marshrutyzatsii dostavky vantazhiv avtomobilnym transportom / V. H. Alkema // Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. - 2011. - № 24(2). - S. 108-113. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2011_24(2)__27.
4. Haitao Xu, Pan Pu, and Feng Duan, “Dynamic Vehicle Routing Problems with Enhanced Ant Colony Optimization,” Discrete Dynamics in Nature and Society, vol. 2018, Article ID 1295485, 13 p., 2018. https://doi.org/10.1155/2018/1295485.
5. Hanshar F. T., Ombuki-Berman B. M., “Dynamic vehicle routing using genetic algorithms,” Applied Intelligence, vol. 27, no. 1, pp. 89–99, 2007.
6. Huzhevska L. A. Formuvannia rozvizno-zbirnykh marshrutiv metodom Klarka-Raita pry dostavtsi ekspres-vidpravlen / L. A. Huzhevska, I. V. Danylenko // Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. - 2016. - № 1. - S. 122-129. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2016_1_17.

Голованенко Н.В., к.э.н., доцент,
КНУ имени Тараса Шевченко

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА КЛАРКА-РАЙТА

Рассмотрена проблема построения графика движения автотранспортных средств логистической компании с использованием алгоритма Кларка-Райта. Объектом оптимизации графика движения транспорта выступила локальная логистическая сеть отдельного города «центральный терминал - отделения».

Ключевые слова: *логистика, алгоритм Кларка-Райта (CW), логистическая сеть, задача маршрутизации транспорта (VRP), логистическая компания,* сервисы Google.

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

CONSTRUCTION OF THE LOGISTICS COMPANY'S TRANSPORT SCHEDULE BASED ON CLARK-WRIGHT ALGORITHM

The application of a simple and well-known Clark-Wright algorithm in the framework of a special computational scheme, where it acts as a specific instrument for selecting valid routes, is considered. It allows to obtain an effective practical solution to the task of constructing a traffic schedule for vehicles.

A specific feature of the considered logistics network is the asymmetry of daily cargo flows in the "central terminal - branches" network. This is explained by the fact that in the morning the main flow of goods goes from the central terminal to the branches (first stage)), and in the evening - in the opposite direction (second stage).

Construction of the first stage routes was practically tested. The VBA program in the Microsoft Excel environment was developed for this purpose, so it is considered in the framework of this work. Implementation of the second stage does not contain any fundamental algorithmic or other problems that are not resolved during the implementation of the first stage.

The task of creating the necessary information base for solving the problem is greatly simplified due to the development of modern information technologies, in particular, Google Maps services. Among the services of Google Maps there are two tools useful for building the matrices of distance and time between the terminal and the branches. The first of these is the distance.matrix service. By setting two arrays as the arguments – the addresses of the points of departure and destination – this service allows to get a matrix of pairwise distances and time between these points. However, its practical application has been subject to commercial constraints, so the task of constructing the matrix of pairwise distances and time between the points of the transport network was solved by another service from Google - Maps.DirectionFinder. Although it allows to get the distance and time information by one request only between one pair of items, however, thanks to the simple Java script, the procedure for scanning all pairs of items can be automated, sending to Maps.DirectionFinder the addresses of the combinations from the Google Sheets.

The automated means of constructing traffic schedules in a logistics network goes beyond purely scheduled tasks and efficient operational control of transport. In addition to these direct tasks, due to this tool, the number and structure of the fleet can be further optimized and other problems can be solved.

The results of the study showed that on the basis of the Clark-Wright algorithm it is possible to construct a daily schedule for vehicles of the logistics company in a local network with one central terminal. The construction of this schedule in automatic mode is useful both for assessing the efficiency of existing vehicle traffic schedules, and for determining the optimal amount and structure of the fleet of vehicles in the conditions of fluctuations in the volumes of freight flows in the logistic network.

Prospects for further research are in the application of more sophisticated and modern routing algorithms than the basic Clark-Wright algorithm, and a comparison of their effectiveness in solving the problem of constructing a traffic schedule in a transport network with one central terminal.

Keywords: *logistics, Clark-Wright (CW) algorithm, logistics network, vehicle routing problem (VRP), logistics company, Google services.*