

УДК 656.022.5

Дудніков О.М., к.т.н., Сокирко В.М., к.т.н., Александрова Я.О.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

## ВРАХУВАННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ НА РОЗВІЗНИХ МАРШРУТАХ

*Розглянуто проблему організації перевезення вантажів на розвізних маршрутах в межах окремої задачі щодо врахування безпеки під час перевезень. Розроблено загальні підходи для вирішення вказаної задачі, запропоновано необхідне уточнення методики проектування розвізних маршрутів у вигляді врахування показника безпеки руху на окремих ділянках маршруту під час розв'язання транспортної задачі.*

### **Постановка наукової проблеми та задачі, що вирішується**

Розвиток малого та середнього бізнесу в галузі торгівлі привів до значного збільшення числа як вантажовідправників, так і вантажоотримувачів, що повинні обслуговуватися окремим перевізником, при цьому об'єм перевезень вантажів автомобільним вантажним транспортом відповідним чином збільшився. У той же час відбувається поступовий процес збільшення вартості одиниці вантажу, що перевозиться. Тобто в сучасних умовах вантажі вигідно перевозити з організацією розвізних маршрутів [1].

Кількість ДТП і тяжкість їх наслідків на дорогах України з кожним роком збільшується. Відносна небезпека автомобільного транспорту в державі вища, ніж на інших видах транспорту. Однією з головних задач в галузі організації роботи автомобільного транспорту є відповідна маршрутизація перевезень. Досить розповсюдженим видом організації вантажних перевезень є організація розвізних маршрутів для забезпечення дрібнопартійних поставок в сфері середнього та малого бізнесу, що орієнтований на торгівлю. З урахуванням цільових функцій транспорту важливою задачею є забезпечення збереженості вантажу та відповідного транспортного засобу. Тому виникає актуальна науково-практична проблема вдосконалення методів організації перевезення вантажів на розвізних маршрутах.

Існуючі дослідження з організації вантажних перевезень на розвізних маршрутах описано в роботах [2-5]. Науково-практичними результатами цих робіт є методи та відповідні методики, які дозволяють організувати вантажні перевезення шляхом розв'язання складеної транспортної задачі, яка, звичайно, спрямована на мінімізацію транспортної роботи.

Основним недоліком загальноприйнятих методів є те, що вони практично не враховують особливості функціонування окремих ланцюгів автотранспортної системи на відповідній мережі доріг, особливо в галузі безпеки дорожнього руху, наприклад, маршрут може проходити крізь місця концентрації ДТП, ділянки з великою інтенсивністю руху як транспортних засобів, так і пішоходів, крізь залізничні переїзди та ін.

Існуючий метод організації перевезення вантажів на розвізних маршрутах [2-5] за розробленими методиками не дозволяє належним чином врахувати безпеку під час перевезень.

### **Мета роботи**

Метою роботи є удосконалення існуючої методики організації перевезень на розвізних маршрутах шляхом врахування безпеки під час перевезень.

### **Основний розділ**

На сьогодні найбільш ефективною методикою з організації розвізних маршрутів є методика формування найкоротшої зв'язувальної мережі, яка розроблена у роботі [3]. Вказана методика буде прийнята за основу для розробки відповідного її уточнення шляхом реалізації можли-

вості врахування безпеки під час перевезень шляхом узагальнення характеристик безпеки руху на окремих ділянках доріг маршруту. Попередній аналіз методики дозволив запропонувати наступні етапи розрахунку для обов'язкового застосування у майбутній уточненій методиці.

Спочатку формується сукупність вихідних даних у вигляді схеми розміщення пунктів замовників (рис. 1). З пункту А здійснюється постачання вантажу в n-інших пунктів (Б – М), з вказаними на схемі відстанями в кілометрах. Відома кількість одиниць вантажу, який постачається з пункту А в кожний пункт. Місткість автомобіля обмежена.

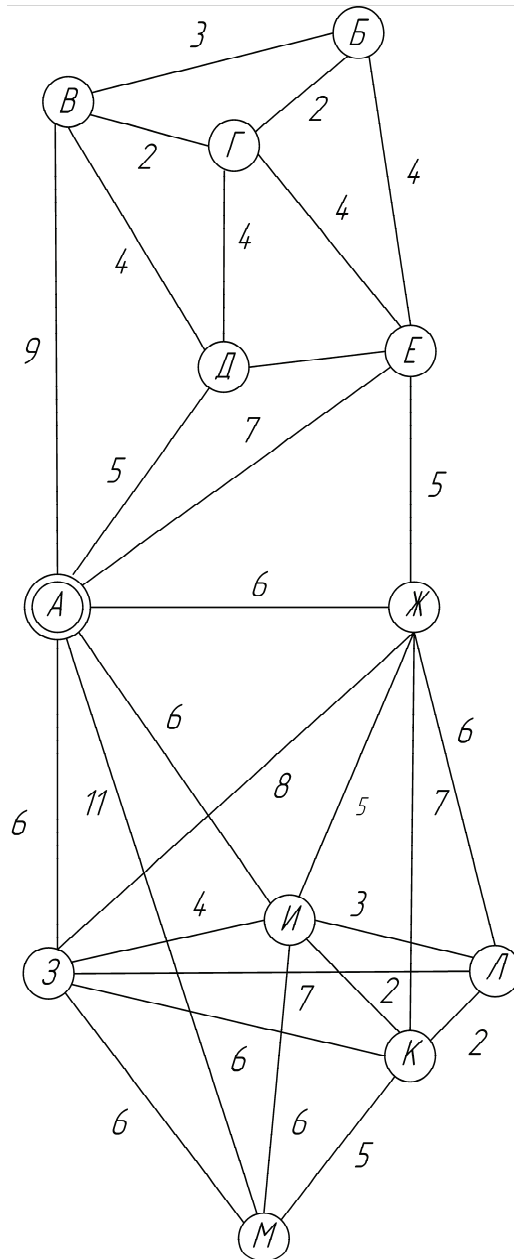


Рис. 1. Приклад схеми розміщення пунктів й відстаней між ними для розв'язання майбутньої транспортної задачі [3]

Задача організації перевезень полягає в забезпеченні найменшого пробігу автомобілів між всіма пунктами, з урахуванням проектування розвізного маршруту, це є також забезпеченням мінімальної транспортної роботи. Розв'язання транспортної задачі містить декілька послідовних етапів, які пропонується зберегти в майбутній уточненій методиці.

Перший етап: пошук найкоротшої зв'язувальної мережі [3].

На мережі знаходять найменший ланцюг. Далі розглядають всі ланцюги, які зв'язані однією зі своїх вершин з обраним ланцюгом. З них обирають ланцюг з найменшою відстанню. Далі розглядаються ланцюги, що зв'язані з вершиною отриманої лінії, і з них обирають найменший. При цьому не можна обирати ланцюг, який поєднує дві раніше включені в мережу вершини. І так до того моменту, коли будуть обрані всі вершини мережі.

На рис. 2 представлено найкоротшу зв'язувальну мережу [3]. На схемі біля кожного пункту проставлено кількість вантажу, який постачається (цифра в квадраті) і вантажу, який вивозиться (цифра в трикутнику).

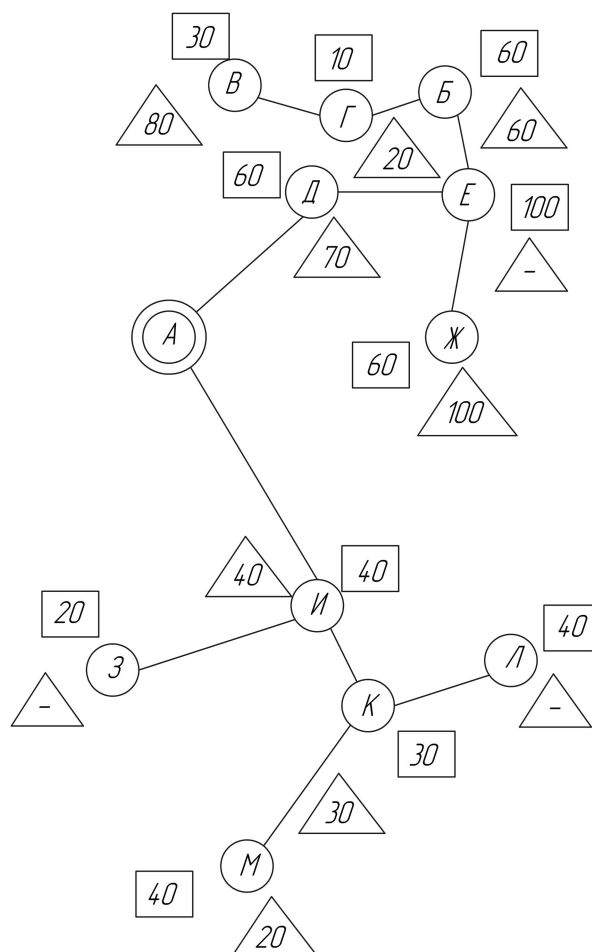


Рис. 2. Приклад формування найкоротшої зв'язувальної мережі для розв'язання майбутньої транспортної задачі [3]

Другий етап: набір пунктів в маршрути [3].

На кожній гілці мережі, починаючи з тієї, яка має найбільшу кількість ланцюгів, здійснюється групування пунктів в маршрути. У кожний маршрут групують пункти з урахуванням кількості ввезеного і вивезеного вантажу та додатковим урахуванням місткості рухомого складу. Якщо всі пункти даної гілки можуть бути включені в один маршрут, то найближчі пункти іншої гілки групуються разом з пунктами цієї гілки.

Третій етап: визначення черговості об'їзду пунктів маршруту [3].

Вказаний етап прийнято розв'язувати методом сум. Для розрахунку найкоротшого шляху об'їзду пунктів за допомогою методу сум будується таблиця, яка має назву симетричної матриці. На головній діагоналі розміщують пункти, які включені в маршрут. Цифри в таблиці показують відстані між цими пунктами. До останнього рядка вносять суми по кожному стовпцю. Далі будують початковий маршрут з трьох пунктів, які мають максимальну суму у своєму стовпці. Для того, щоб визначити між якими пунктами слід вставити наступний, необхідно йо-



У загальній математичній формі транспортна задача має вигляд:

1) в усі  $i$ -ті пункти отримання вантажу з  $j$ -го пункту відправлення може бути перевезено лише  $a_j$  одиниць вантажу:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = a_j, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

2) з усіх  $j$ -х пунктів відправлення  $i$ -му пункту отримання повинно бути перевезено тільки  $b_i$  одиниць вантажу:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

При цьому загальний обсяг транспортної роботи перевезень повинен бути мінімальним

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min. \quad (7)$$

Для сумісності рівнянь (5) та (6) необхідно, щоб дотримувався баланс, тобто

$$\sum_{j=1}^n a_j = \sum_{i=1}^m b_i. \quad (8)$$

Вказані етапи методики, що уточнюються, повністю забезпечуються вказаним математичним апаратом. Обмеження вантажів за вантажоодержувачами та вантажовідправниками з урахуванням наявності додаткового клієнта:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + \dots + x_{(m+p)1} = a_1, \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + \dots + x_{(m+p)2} = a_2, \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + \dots + x_{(m+p)3} = a_3, \\ \dots \\ x_{1(n+k)} + x_{2(n+k)} + x_{3(n+k)} + x_{4(n+k)} + x_{5(n+k)} + \dots + x_{(m+p)(n+k)} = a_{(n+k)}. \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + \dots + x_{1(n+k)} = b_1, \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + \dots + x_{2(n+k)} = b_2, \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + \dots + x_{3(n+k)} = b_3, \\ \dots \\ x_{(m+p)1} + x_{(m+p)2} + x_{(m+p)3} + x_{(m+p)4} + \dots + x_{(m+p)(n+k)} = b_{(m+p)}, \end{cases} \quad (10)$$

де  $k$  — додаткова кількість пунктів відправлення, що створює додатковий клієнт;

$p$  — додаткова кількість пунктів споживання, що створює додатковий клієнт.

Зараз безпеку руху на окремих ділянках вулиць та доріг прийнято оцінювати за допомогою узагальненого показника: коефіцієнта аварійності, що являє собою добуток частинних коефіцієнтів, що враховують вплив окремих елементів плану і профілю [6]:

$$K_{ав} = \prod_{i=1}^{20} K_i, \quad (11)$$

де  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_{20}$  — частинні значення коефіцієнтів, що представляють собою кількості подій при тому або іншому значенні елемента і профілю в порівнянні з прямою еталон-

ною горизонтальною ділянкою дороги, що має проїзну частину завширшки 7,5 метрів й укріплені широкі узбіччя [6].

Розроблені на підставі статистики дорожньо-транспортних пригод на вулицях і дорогах міст значення часткових коефіцієнтів аварійності представлені в [6]. Проведений авторами аналіз дозволив обґрунтувати застосування деяких коефіцієнтів з загального переліку, для оцінки безпеки руху на відповідній ділянці маршруту:

$K_1$  — коефіцієнт, що враховує інтенсивність руху автомобілів по головній дорозі;  
 $K_2$  — коефіцієнт, що враховує кількість легкових автомобілів у потоці;  
 $K_3$  — коефіцієнт, що враховує ширину проїзної частини;  
 $K_7$  — коефіцієнт, що враховує тип пересічення;  
 $K_8$  — коефіцієнт, що враховує сумарну інтенсивність руху на пересіченнях;  
 $K_9$  — коефіцієнт, що враховує сумарну інтенсивність руху пішоходів на наземних переходах перехресть;

$K_{11}$  — коефіцієнт, що враховує розташування зупинних пунктів;

$K_{12}$  — коефіцієнт, що враховує розташування переходів;

$K_{13}$  — коефіцієнт, що враховує інтенсивність руху пішоходів за межами пересічень;

$K_{14}$  — коефіцієнт, що враховує розміщення тротуарів;

$K_{15}$  — коефіцієнт, що враховує наявність поздовжнього ухилу;

$K_{16}$  — коефіцієнт, що враховує наявність радіуса кривої у плані;

$K_{18}$  — коефіцієнт, що враховує характеристику покриття проїзної частини.

Під час визначення часткових коефіцієнтів аварійності для різних ділянок їхнє значення не інтерполюють, а приймають найближче з наведених. Значення кожної з виділених ділянок заносяться в спеціальну графу підсумкових коефіцієнтів аварійності, виділяючи, таким чином, границі ділянок, однорідних за ступенем забезпеченості безпеки. Вплив кожного місця поширюється і на прилеглі до нього ділянки, для яких приймаємо ті ж значення коефіцієнтів. Розміри зон впливу вказані [6].

Пропонується будувати лінійні графіки коефіцієнтів аварійності для кожної  $f$ -ої ділянки маршруту з урахуванням подальшого усереднення за єдиним показником, що дорівнює добутку значення коефіцієнта  $K_{av_z}$  та довжині ділянки, на якій він існує,  $c_z$ :

$$\bar{K}_{av_f} = \frac{\sum_{z=1}^q K_{av_z} \cdot l_z}{\sum_{z=1}^q l_z}, \quad c_f = \sum_{z=1}^q c_z, \quad (12)$$

де  $\bar{K}_{av_f}$  — усереднений коефіцієнт аварійності на  $f$ -тій ділянці маршруту;

$c_f$  — довжина  $f$ -ої ділянки маршруту;

$q$  — загальна кількість ділянок, де присутнє постійне значення коефіцієнта аварійності, в межах окремої  $f$ -ої ділянки маршруту.

В якості коефіцієнта врахування наявної безпеки руху на ділянці маршруту приймаємо показник  $k_{i,j}$  (між  $i$ -тим вантажовідправником та  $j$ -тим вантажоодержувачем), що дорівнює добутку усередненого коефіцієнта аварійності на  $f$ -тій ділянці маршруту та часу руху на ділянці, який визначається через призначену технічну швидкість  $V_{mf}$  та довжину ділянки  $c_f$ :

$$k_{i,j} = \frac{\bar{K}_{av_f} \cdot c_f}{V_{mf}}. \quad (13)$$

Пропонується скорегувати матриці (9) і (10) з врахуванням значення запропонованого показника (13):

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{11} \cdot x_{11} + k_{12} \cdot x_{12} + k_{13} \cdot x_{13} + \dots + k_{1(m+p)} \cdot x_{1(m+p)} = a_1^*, \\ k_{21} \cdot x_{21} + k_{22} \cdot x_{22} + k_{23} \cdot x_{23} + \dots + k_{2(m+p)} \cdot x_{2(m+p)} = a_2^*, \\ k_{31} \cdot x_{31} + k_{32} \cdot x_{32} + k_{33} \cdot x_{33} + \dots + k_{3(m+p)} \cdot x_{3(m+p)} = a_3^*, \\ \dots \\ k_{(n+k)1} \cdot x_{(n+k)1} + k_{(n+k)2} \cdot x_{(n+k)2} + k_{(n+k)3} \cdot x_{(n+k)3} + \dots + k_{(n+k)(m+p)} \cdot x_{(n+k)(m+p)} = a_{(n+k)}^*. \end{array} \right. \quad (14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{11} \cdot x_{11} + k_{12} \cdot x_{12} + k_{13} \cdot x_{13} + \dots + k_{1(n+k)} \cdot x_{1(n+k)} = b_1^*, \\ k_{21} \cdot x_{21} + k_{22} \cdot x_{22} + k_{23} \cdot x_{23} + \dots + k_{2(n+k)} \cdot x_{2(n+k)} = b_2^*, \\ k_{31} \cdot x_{31} + k_{32} \cdot x_{32} + k_{33} \cdot x_{33} + \dots + k_{3(n+k)} \cdot x_{3(n+k)} = b_3^*, \\ \dots \\ k_{(m+p)1} \cdot x_{(m+p)1} + k_{(m+p)2} \cdot x_{(m+p)2} + k_{(m+p)3} \cdot x_{(m+p)3} + \dots + k_{(m+p)(n+k)} \cdot x_{(m+p)(n+k)} = b_{(m+p)}^*, \end{array} \right. \quad (15)$$

де  $a_i^*$  — скорегований обсяг вантажу  $i$ -того вантажовідправника за безпекою руху та часом обслуговування підприємством відповідного клієнта;

$b_j^*$  — скорегований обсяг вантажу  $j$ -того вантажоодержувача за безпекою руху та часом обслуговування підприємством відповідного клієнта.

Загальне рівняння (4) для знаходження мінімальної середньої відстані перевезення, яка усереднена ще й за безпекою руху та часом обслуговування підприємством відповідних клієнтів:

$$\begin{aligned} C \min = \sum_k \frac{1}{k} \cdot \{ & k_{11} \cdot c_{11} \cdot x_{11} + k_{12} \cdot c_{12} \cdot x_{12} + k_{13} \cdot c_{13} \cdot x_{13} + \dots + k_{1(n+k)} \cdot c_{1(n+k)} \cdot x_{1(n+k)} + \\ & + k_{21} \cdot c_{21} \cdot x_{21} + k_{22} \cdot c_{22} \cdot x_{22} + k_{23} \cdot c_{23} \cdot x_{23} + \dots + k_{2(n+k)} \cdot c_{2(n+k)} \cdot x_{2(n+k)} + \\ & + k_{31} \cdot c_{31} \cdot x_{31} + k_{32} \cdot c_{32} \cdot x_{32} + k_{33} \cdot c_{33} \cdot x_{33} + \dots + k_{3(n+k)} \cdot c_{3(n+k)} \cdot x_{3(n+k)} + \\ & + \dots + k_{m1} \cdot c_{m1} \cdot x_{m1} + k_{m2} \cdot c_{m2} \cdot x_{m2} + k_{m3} \cdot c_{m3} \cdot x_{m3} + \dots + k_{m(n+k)} \cdot c_{m(n+k)} \cdot x_{m(n+k)} + \\ & + \dots + k_{(m+p)1} \cdot c_{(m+p)1} \cdot x_{(m+p)1} + k_{(m+p)2} \cdot c_{(m+p)2} \cdot x_{(m+p)2} + k_{(m+p)3} \cdot c_{(m+p)3} \cdot x_{(m+p)3} + \\ & + \dots + k_{(m+p)(n+k)} \cdot c_{(m+p)(n+k)} \cdot x_{(m+p)(n+k)} \}. \end{aligned} \quad (16)$$

Рівняння (16) показує, що при розв'язанні даної задачі буде отримано мінімум транспортної роботи в тонно-кілометрах, тому що кожен добуток у ньому — це добуток відстані перевезення на кількість вантажу, вказаний мінімум усереднений за часом обслуговування відповідного клієнта продовж року.

Сума поставок від усіх пунктів відправлення вантажу повинна дорівнювати загальній сумі привезеного вантажу в усі пункти споживання, що є необхідною умовою розв'язання транспортної задачі лінійного програмування.

Після того, як буде отримано оптимальний план перевезень, необхідно скласти сумісний план перевезень, для того щоб отримати маршрути перевезення вантажів.

Для цього необхідно накласти один на одного початковий та оптимальний плани перевезень, як проводиться за існуючою методикою. Клітини, в яких буде два завантаження, будуть відповідати маятниковим маршрутам. Кільцеві маршрути, які виходять за пороги обмежень, розбиваються на більш прості кільцеві та маятникові маршрути.

Для складання кільцевих маршрутів використовуються контури, подібно контурам, які використовувалися під час перерозподілу постачань вантажу. Для нових маршрутів необхідно розрахувати роботу рухомого складу на них за відомими методиками [1, 2, 3]. Під час проведення безпосередніх розрахунків у формули потрібно підставляти значення обсягів перевезень без корегування за часом обслуговування відповідного клієнта.

### ***Висновки***

У роботі досягнуто поставлену мету щодо удосконалення існуючої методики організації перевезень на розвізних маршрутах шляхом врахування безпеки під час перевезення. Розроблено методику проведення безпосередніх розрахунків з проектування розвізних маршрутів. Запропоновано показник, що враховує безпеку руху на ділянках маршруту та час доставки вантажу.

Розроблена методика та відповідні теоретичні положення потребують подальшого експериментального обґрунтування.

### ***Список літератури***

1. Горев А. Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.Э. Горев — М.: Издательский центр «Академия». 2004. — 288 с.
2. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки (Основы теории транспортного процесса): учеб. пособие для вузов / А.И. Воркут.— Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1979. —392 с.
3. Геронимус В.Л. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте/ В.Л. Геронимус. — М.: Транспорт, 1982. — 190 с.
4. Вельможин А.В. Грузовые автомобильные перевозки: учебник для вузов /А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Куликов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2006. — 560 с.
5. Рафф М.И. Грузовые автомобильные перевозки/ М.И. Рафф и др. — К.: Вища школа, 1975. — 288 с.
6. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В.Ф. Бабков. — М.: Транспорт, 1993. — 271 с.

Рецензент: к.т.н., доц., Т.Є. Василенко, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ»

Стаття надійшла до редакції 20.10.10

© Дудніков О.М., Сокирко В.М., Александрова Я.О., 2010