

УДК 656.13

Куниця А.В., д.т.н., Жук Ю.О., магістр  
АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

## МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ У ПЛАНУВАННІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ДОРОЖНІХ УМОВ І РУХУ

*На підставі аналізу відомих економіко-математичних методів у плануванні вантажних перевезень і з метою подальшого їх удосконалення шляхом урахування реальних параметрів дорожніх умов і руху створена методика, яка дозволяє більш ґрунтовно визначити маршрути і поліпшити показники організації вантажних перевезень.*

### **Вступ**

Для оптимізації роботи автомобільного транспорту застосовують економіко-математичні методи планування [1, 2, 3]. Метою застосування цих методів є вибір з багатьох можливих шляхів сполучення раціонального маршруту, тобто найкращого з точки зору обраного критерію оптимальності [1].

Критерій оптимальності повинен забезпечувати об'єктивне вирішення транспортної задачі шляхом того, що він відбиває реальні умови перевезень [2].

У якості критерію оптимальності застосовують наступні показники: відстань перевезень, тарифи, приведені народногосподарські витрати, собівартість перевезень, рентабельність, прибуток, вартість продукції, пропускну здатність, час доставки вантажу [1, 2, 3].

### **Постановка задачі**

Жоден з перелічених критеріїв не враховує якісні та кількісні параметри дорожніх умов і руху, які значно обмежують швидкість руху транспортного засобу та впливають на показники організації вантажних перевезень.

Швидкість автомобіля на маршруті коливається в широких межах. На її величину впливають наступні фактори: технічні параметри автомобіля, погодно-кліматичні умови, підйоми та спуски, віражі, ширина проїзної частини, психофізіологічні якості водія [4].

Такі фактори, як психофізіологічні якості водія, погодно-кліматичні умови, загальні умови руху носять випадковий характер [4], їхній вплив на швидкість руху неможливо попередити, тому що вони змінюються з плином часу. Параметри дорожніх умов, що формуються під час будівництва дороги мають постійне значення. Отже, попередити їх вплив на величину швидкості руху на кожній ділянці автомобільної дороги буде найбільш точним. А чим точніше буде визначено значення швидкості руху на кожній з цих ділянок, тим точніше визначимо час руху транспортного засобу на маршруті в цілому.

**Метою роботи** є створення методики використання економіко-математичних методів у плануванні вантажних перевезень з урахуванням параметрів дорожніх умов і руху, що дозволить наблизити постановку і результати вирішення транспортної задачі до реальних умов транспортного процесу і виконувати його з раціональними параметрами.

### **Основна частина**

На автомобільному транспорті на швидкість руху найбільшою мірою впливають геометричні параметри дороги, а саме: підйоми, спуски, радіуси кривих, віражі [5]. Під час руху автомобіля цими характерними однорідними ділянками швидкість руху істотно відрізняється. Тому проведемо аналіз впливу параметрів дорожніх умов на значення швидкості та часу руху автомобіля в межах окремих однорідних ділянок дороги та врахуємо ці фактори

при визначенні одного раціонального маршруту перевезень з багатьох можливих шляхів сполучення між вантажовідправниками і вантажоодержувачами.

Тому методика використання економіко-математичних методів у плануванні вантажних перевезень з урахуванням параметрів дорожніх умов і руху повинна мати наступні етапи:

1. Розіб'ємо окремо кожний з багатьох можливих шляхів сполучення, якими може рухатись транспортний засіб у процесі доставки вантажу, на  $m$  окремих характерних однорідних ділянок в залежності від геометричних параметрів дороги, а саме: радіусу кривих  $R$ , віражу  $\beta$ , похилу дороги  $i$ , параметрів прямої горизонтальної ділянки, ширини проїзної смуги  $B_{ш}$ .

Максимальна кількість отриманих таким чином можливих ділянок за їх видами на кожному зі шляхів сполучення дорівнює шести: одна характерна однорідна ділянка має радіус кривої та віраж; друга — радіус кривої; третя ділянка — пряма горизонтальна ділянка; четверта — міст; п'ята — спуск; шоста — підйом.

2. Визначимо максимально можливу швидкість руху  $V_{mi}$  транспортного засобу на кожній з отриманих ділянок в залежності від параметрів дорожніх умов. У межах кожної ділянки будемо вважати, що  $V_{mi}$  буде мати одне постійне максимально можливе значення, яке забезпечуватиме водій у кожному мить часу, намагаючись рухатися цією характерною однорідною ділянкою з максимально можливою швидкістю.

Розглянемо залежності, за якими можна визначити  $V_{mi}$  на кожній характерній однорідній ділянці, які вказані вище.

**Перша ділянка.** Швидкість руху  $V_{mi}$  на такій ділянці визначаємо за умов відсутності бокового ковзання та перекидання [5].

Максимально можлива швидкість руху  $V_{mi}$  автомобіля, визначена за умов його перекидання називається критичною швидкістю за перекиданням  $V_{кр\ пер}$ :

$$V_{mi} = V_{кр\ пер} = \sqrt{\frac{Rg(2h_g \operatorname{tg}\beta + B)}{2h_g - B \operatorname{tg}\beta}}, \quad (1)$$

де  $R$  — радіус повороту,  $m$ ;  $g$  — прискорення вільного падіння;  $h_g$  — висота центру ваги автомобіля,  $m$ ;  $\beta$  — кут віражу;  $B$  — колія колеса автомобіля,  $m$ .

Граничну швидкість руху  $V_{mi}$  автомобіля, визначену з умов відсутності бокового ковзання, називають критичною швидкістю за боковим ковзанням  $V_{кр\ ковз}$  [5]:

$$V_{mi} = V_{кр\ ковз} = \sqrt{\frac{Rg(\phi_y + \operatorname{tg}\beta)}{1 - \phi_y \operatorname{tg}\beta}}, \quad (2)$$

де  $R$  — радіус повороту,  $m$ ;  $g$  — прискорення вільного падіння;  $\phi_y$  — коефіцієнт зчеплення у поперечній площині руху автомобіля;  $\beta$  — кут віражу.

**Друга ділянка** представлена горизонтальною кривою. Тому віраж дорівнює нулю,  $\beta = 0$ . В такому випадку критична швидкість за перекиданням  $V_{кр\ пер}$  [5]:

$$V_{mi} = V_{кр\ пер} = \sqrt{\frac{RgB}{2h_g}}. \quad (3)$$

Швидкість  $V_{mi}$  за боковим ковзанням, при  $\beta = 0$  визначається [5]:

$$V_{mi} = V_{кр\ ковз} = \sqrt{Rg\phi_y}. \quad (4)$$

**Третя ділянка** — пряма горизонтальна ділянка. На швидкість руху  $V_{mi}$  впливають характеристики автомобіля, стан дороги та ширина проїзної частини.

У цьому випадку  $V_{mi}$  визначається [4]:

$$V_{mi} = \frac{B_n - e_a - 0,3}{0,054}, \quad (5)$$

де  $B_n$  — ширина проїзної частини, м;  $e_a$  — ширина автомобіля, м.

Зазначимо, що цією залежністю слід користуватися тільки на смузі завширшки 3,75 м [4]. Тому, коли ширина смуги руху буде відхилятися від цього значення, розрахунок швидкості руху  $V_{mi}$  будемо проводити за формулою [5]:

$$V_{mi} = V_{кр} = \sqrt{\frac{m_a g (a \phi_x - L f)}{K_g F (h_n \phi_x - L)}}, \quad (6)$$

де  $m_a$  — маса автомобіля;  $g$  — прискорення вільного падіння;  $L$  — база автомобіля, м;  $f$  — коефіцієнт опору кочення;  $a$  — відстань від переднього моста до вертикальної лінії, на якій розташований центр тяжиння, м;  $\phi_x$  — коефіцієнт зчеплення між колесом і автомобільною дорогою у повздовжній площині автомобіля;  $K_g$  — коефіцієнт опору повітряного середовища;  $F$  — площа лобового опору автомобіля;  $h_n$  — відстань від опорної поверхні до центру парусності, м.

**Четверта ділянка** — міст. На мостах швидкість руху автомобіля теж обмежується лише шириною проїзної смуги та характеристиками транспортного засобу. Тому швидкість руху будемо визначати за формулою (5) або (6).

**П'ята та шоста ділянки** мають повздовжній похил дороги відповідно підйом та спуск. На підйомі та спуску швидкість руху обирається з урахуванням величини похилу, стану дорожнього покриття, навантаження та динамічних якостей автомобіля. Тому водій повинен знати на якій передачі та з якою швидкістю він зможе подолати кожен похил на цій ділянці [4]. Визначення максимальної швидкості за таких умов можливе за допомогою динамічної характеристики автомобіля і балансу потужностей. Рівняння балансу динамічного фактору, коефіцієнту опору кочення, похилу, та у залежності від значення тієї критичної швидкості руху, з якого враховується зміна коефіцієнту опору кочення, має вираз [6]:

$$D = f_0 + K_f (V_{mi} - V_{mm}) \pm i = f_0 \pm i + K_f (V_{mi} - V_{mm}), \quad (7)$$

де  $D$  — значення динамічного фактору автомобіля на певній передачі;  $f_0, K_f$  — коефіцієнт опору кочення і його коефіцієнт зміни у залежності від значення тієї швидкості руху автомобіля, з якої враховується зміна;  $V_{mi}, V_{mm}$  — значення критичної швидкості і тієї мінімальної можливої швидкості, з якої враховується зміна коефіцієнта опору кочення. Існують два випадки, коли  $V_{mm}$  : приймають: 1)  $V_{mm} = 20 \text{ км/год}$  і 2)  $V_{mm} = 60 \text{ км/год}$  [6];  $i$  — ухил дороги у долях одиниці. Якщо автомобіль рухається на підйом (п'ята ділянка), то  $i$  беремо зі знаком "+", а якщо на спуск (шоста ділянка), то зі знаком "-".

В роботі [6] запропоновано визначати швидкість  $V_{mi}$  за допомогою динамічної характеристики автомобіля методом підбору, що не дозволяє з достатньою точністю визначити швидкість руху, з якою автомобіль зможе подолати ухил. Тому, якщо у наступних розрахунках будемо підставляти визначену за таким підходом швидкість руху, це призведе до неточних висновків, оскільки існує вірогідність, що в реальних умовах автомобіль не зможе подолати визначений похил з такою швидкістю або зовсім зупиниться.

Тому пропонуємо визначати  $V_{mi}$  за динамічною характеристикою, використовуючи такий підхід:

а) значення виразу  $f_0 \pm i$ , яке має постійну величину (оскільки  $i$  похил дороги та коефіцієнт опору кочення  $f_0$  на визначеній ділянці маршруту має фіксоване постійне значення),

відкладемо на графіку динамічної характеристики (рис. 1) у вигляді лінії 1, яка має довжину у діапазоні зміни від 0 до  $V_{mm}$ .

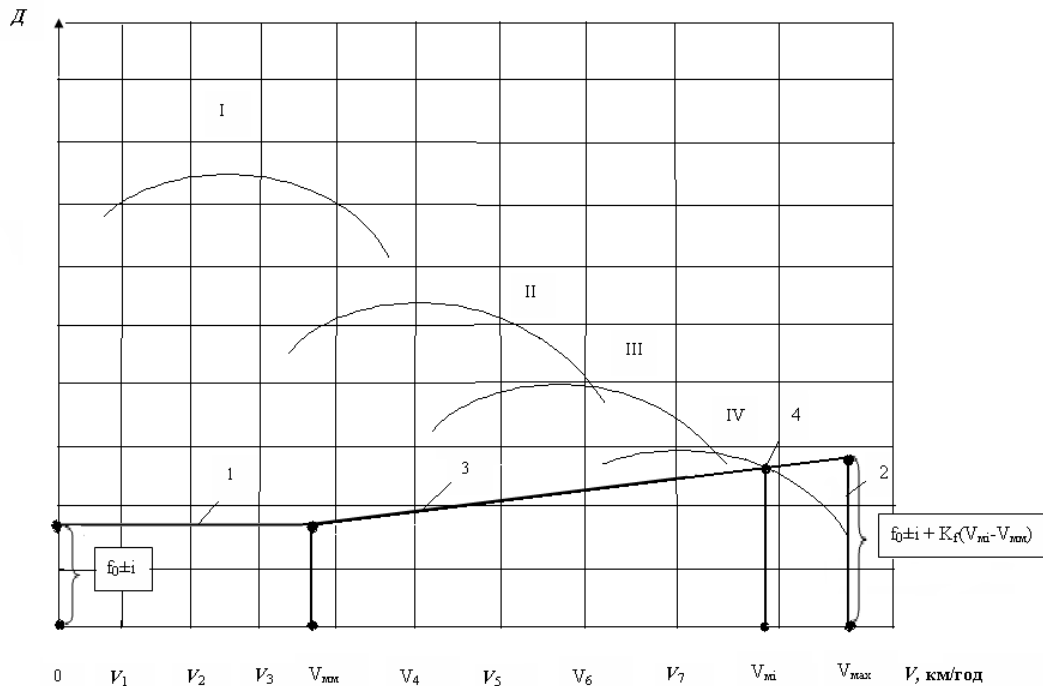


Рис. 1. Визначення максимальної швидкості руху з використанням динамічної характеристики

б) на осі абсцис знайдемо максимальну швидкість  $V_{max}$  транспортного засобу згідно його технічної характеристики та від неї на осі ординат відкладаємо лінію 2, довжина якої дорівнює виразу  $f_0 \pm i + K_f(V_{maxi} - V_{mm})$ .

в) відстань від лінії 1 до кінця лінії 2 на осі ординат дорівнює значенню виразу  $K_f(V_{maxi} - V_{mm})$ , де  $K_f V_{mm}$  має постійне значення, тому що  $K_f$  має постійне значення для визначеного типу покриття, а  $V_{mm}$  приймають 20 км/год або 60 км/год, тобто  $V_{mm}$  має теж постійне значення. У формулі (7) вираз  $K_f V_{mi}$  має невідому величину  $V_{mi}$ , але можемо сказати, що цей вираз відображається прямою лінією. Тому поєднаємо кінець лінії 1 з кінцем лінії 2 та отримаємо лінію 3.

Лінія 3 перетинається з лінією динамічної характеристики в точці 4. Точка перетинання 4 визначає значення максимальної швидкості  $V_{mi}$  для визначених умов і напрямку руху.

3. Визначимо відстань кожної ділянки  $l_{dili}$ .

4. Знайдемо час руху автомобіля на кожній однорідній ділянці:

$$t_{pi} = \frac{l_{dili}}{V_{mi}}, \quad (8)$$

де  $l_{dili}$  — довжина  $i$ -ої ділянки, км;

$V_{maxi}$  — максимальна швидкість руху автомобіля на  $i$ -ої ділянці, км/год.

5. Визначимо загальне значення часу руху транспортного засобу для цього і кожного можливого шляху сполучення, який спочатку був розбитий на  $m$  характерних однорідних ділянок:

$$T_{заг} = \sum_{i=1}^m t_{pi}, \quad (9)$$

де  $t_{pi}$  — час руху автомобіля на  $i$ -й ділянці автомобільної дороги, год;  
 $m$  — кількість однорідних характерних ділянок автомобільної дороги.

Між вантажовідправником та вантажоодержувачем може існувати декілька шляхів сполучення. Обираємо з них той, який має найменше значення  $T_{заг}$ , а інші виключаємо з аналізу, як вже нераціональні маршрути.

7. Заносимо значення  $T_{заг}$  за кожним визначеним таким чином маршрутом у відповідні рядки та стовпці матриці транспортної задачі [1, 2], які визначаються перетинанням відповідних вантажовідправників та вантажоодержувачів.

8. Вирішуємо транспортну задачу відносно критерію часу доставки вантажу за допомогою методу потенціалів та отримуємо раціональний план завантажень [1, 2, 3].

9. Проведемо маршрутизацію перевезень з метою визначення остаточних раціональних маршрутів руху. Раціональним маршрутом будемо вважати той, який, у порівнянні з іншими маршрутами, забезпечує якнайшвидшу доставку вантажу.

10. Оскільки сумісна матриця холостих та вантажних пробігів скорочує лише холості та нульові пробіги рухомого складу та не скорочує тривалість самого транспортного процесу, який триває з моменту відправлення вантажу до його прибуття в місце призначення, для визначення раціональних маршрутів використовуємо тільки оптимальний план завантажень.

11. За цим планом складаємо маятникові маршрути, оскільки кільцеві припускають перевезення за тими маршрутами, що існували до перетворень, і скорочують лише непродуктивний пробіг рухомого складу. А в нашому випадку необхідно знайти найкоротший маршрут, який забезпечує мінімум витрат автомобіле-годин на перевезення вантажу між існуючими вантажовідправниками та вантажоодержувачами.

12. Кількість маятникових маршрутів дорівнює кількості завантажених кліток у матриці вирішеної транспортної задачі. Завантаження в матриці вказує на той обсяг вантажу, який відповідний вантажовідправник повинен доставити конкретному вантажоодержувачу, а число в правому верхньому куті — за який мінімальний час може бути здійснене це перевезення.

### **Висновок**

Створено нову методику вирішення автомобільної транспортної задачі, яка дозволяє визначити оптимальний маршрут перевезень з урахуванням параметрів дорожніх умов, характеристик транспортного засобу, відстані перевезень, швидкості руху та, як наслідок, часу доставки вантажу, що дозволяє наблизити постановку і результати вирішення транспортної задачі до реальних умов.

### **Список літератури**

1. Геронимус Б.Л. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте: Учебник для техникумов. — М.: Транспорт, 1977. — 160 с.
2. Бакаев А.А. Экономико-математические модели планирования и проектирования транспортных систем. — К.: Техніка, 1973. — 220 с.
3. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки (Основы теории транспортного процесса): Учеб. пособие для вузов. — К.: Вища школа, 1979. — 392 с.
4. Пенежко Г.И. Безопасность движения на автомобильном транспорте: Учебник для автотранспортных техникумов. — М.: Транспорт, 1976. — 216 с.
5. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств автомобиля: Учебник для вузов по специальности "Автомобили и автомобильное хозяйство". — М.: Транспорт, 1976. — 288 с.
6. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: Учебник для вузов/ Под. ред. А.П. Васильева. — М.: Транспорт. 1990. — 304 с.

Стаття надійшла до редакції 30.10.08  
 © Куниця А.В., Жук Ю.О., 2008