

УДК 656.13

А.В.Куниця, Д.М.Самісько

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ»

### ПІДХОДИ ДО БАГАТОФАКТОРНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОБОТИ КАР'ЄРНИХ АВТОМОБІЛІВ-САМОСКИДІВ

Внаслідок того, що в одно- та двофакторних дослідженнях продуктивності робиться припущення про повну (однофакторні) або часткову (двофакторні) відсутність системного зв'язку між факторами процесу перевезення, то ці дослідження не повною мірою описують дійсний процес перевезення. До того ж вони спираються на такі результати перевезень, що отримані після їх завершення.

Дослідження зміни продуктивності перевезень в даній роботі виконано шляхом проведення багатофакторного дослідження продуктивності перевезень вантажів кар'єрними автомобілями-самоскидами і до того ж під час його виконання. Дослідження потребує створення комп'ютерної програми, що моделює процес перевезення і на підставі цього визначається продуктивність роботи кар'єрних автомобілів-самоскидів з урахуванням системної взаємодії всіх факторів, що впливають на продуктивність.

Ключові слова: автосамоскид, вантажопідйомність, продуктивність, факторне дослідження, час навантаження, час розвантаження, швидкість руху.

Вступ

Вперше визначення залежності продуктивності автомобіля за результатами скінченного процесу вантажних перевезень було дано С. Р. Лейдерманом ще в 1932 році [1]. В подальшому даним питанням займалися Л. Л. Афанасьєв [2], Д. П. Великанов [3] та інші автори.

Продуктивність оцінюють в тоннах та тонно-кілометрах за годину роботи.

Формули для визначення продуктивностей мають наступний вигляд [2]:

$$P_Q = \frac{q_n \cdot \gamma_n}{t_\delta + t_{i-\delta}}, \text{ т/годину}; \quad (1)$$

$$P_W = \frac{q_n \cdot \gamma_n \cdot l_{i\delta}}{t_\delta + t_{i-\delta}}, \text{ т} \cdot \text{км/годину}, \quad (2)$$

де  $P_Q$  – продуктивність автомобіля в тоннах за годину, т/годину;

$P_W$  – продуктивність автомобіля в тонно-кілометрах за годину, т·км/годину;

$q_n$  – номінальна вантажопідйомність вантажного автомобіля, тонн;

$\gamma_n$  – коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності;

$\gamma_d$  – коефіцієнт динамічного використання вантажопідйомності;

$l_{i\delta}$  – довжина їздки з вантажем, кілометрів;

$t_{n-p}$  – час навантаження-розвантаження вантажного автомобіля, годин;

$t_p$  – час руху автомобіля маршрутом, годин;

$$t_\delta = \frac{l_{i\delta}}{V_\delta \cdot \beta_i} = \frac{L_i}{V_\delta}, \text{ годин}, \quad (3)$$

де  $L_m$  – довжина маршруту, кілометрів.

$V_T$  – технічна швидкість вантажного автомобіля, км/годину;

$\beta_i$  – коефіцієнт використання пробігу.

Лейдерман С. Р. запропонував проводити нарізний аналіз формул (1) та (2) за умов послідовного прийняття одного з факторів за перемінний, а всіх інших – за постійні, тобто, виконати однофакторне дослідження продуктивності [4]. З такого ж підходу аналіз виконували і інші автори [2, 3, 5]. В цих роботах для кожного випадку залежності продуктивності, що визначається за формулами (1) та (2), від одного окремого фактору наведені відповідні залежності. Так, наприклад, якщо прийняти вантажопідйомність автомобіля за перемінну величину, а всі інші

фактори вважати постійними, то залежність продуктивності від вантажопідйомності буде мати лінійний вигляд, причому пряма проходить через початок координат.

У роботі [6] виявлено вплив на продуктивність процесу перевезення вантажів автомобілями-самоскидами таких двох системно взаємопов'язаних факторів як вантажопідйомність автомобіля-самоскида та час його навантаження, тобто було проведено вже двофакторне дослідження продуктивності. При цьому час навантаження автомобіля-самоскида визначається через номінальну вантажопідйомність автомобіля-самоскида та параметри навантажувального механізму. В роботі доведено, що при двофакторному системному дослідженні залежність продуктивності від номінальної вантажопідйомності автомобіля-самоскида є нелінійною, а саме гіперболою [6]. Цей висновок суттєво відрізняється від результатів однофакторного дослідження.

Застосування двофакторного дослідження продуктивності замість однофакторного більшою мірою відповідає дійсності, адже при двофакторному дослідженні відкидається припущення про відсутність системного зв'язку між всіма окремими факторами, що впливають на продуктивність і містяться у формулах (1) та (2).

Вочевидь, ще більшою мірою будуть відповідати дійсності системні багатофакторні дослідження продуктивності роботи автомобіля з урахуванням системної взаємодії всіх факторів, що входять до формул (1) та (2).

#### Мета

Встановити залежності продуктивностей автомобіля-самоскида в тоннах/годину та тонно-кілометрах/годину від системи таких взаємопов'язаних факторів як: а) вантажопідйомність автомобіля-самоскида; б) час простою під навантаженням; в) час простою під розвантаженням та г) технічна швидкість.

#### Основна частина

В формулах (1) та (2) використовуються підсумкові чисельні значення параметрів скінченного процесу і, тому, ці формули за своїм змістом є лише розрахунковими, а не аналітичними.

Аналіз формул (1) та (2) дозволяє виявити ряд їх недоліків:

1) Дані формули не описують процес перевезення, а є тільки розрахунковими для визначення продуктивності роботи рухомого складу на маршруті в цілому за одну годину при певних постійних значеннях техніко-експлуатаційних показників. Наприклад, такий техніко-експлуатаційний показник як час руху безпосередньо залежить від швидкості руху, яка не є постійною для всього маршруту, а змінюється в залежності від дорожніх умов на окремих характерних однорідних ділянках [7] (якщо не враховувати взаємодію у транспортному потоці).

2) Фізичний процес переміщення вантажів автомобільним транспортом пов'язаний з обов'язковим суміщенням двох самостійних його складових: а) виконанням навантажувально-розвантажувальних робіт; б) рухом транспортного засобу. До того ж ці складові мають різну фізичну і якісну природу, так як процеси, що відбуваються під час руху транспортного засобу якісно відрізняються від тих процесів, що відбуваються під час виконання навантажувально-розвантажувальних робіт.

Таким чином, існуючі залежності (1) та (2) для визначення продуктивностей перевізного процесу в тоннах/годину або тонно-кілометрах/годину не дають змогу виявити характер впливу кожного з видів робіт (руху автомобіля та виконання навантажувально-розвантажувальних робіт) на їх зміну на системному рівні.

3) При встановленні характеру залежності зміни продуктивностей автомобіля, що розраховуються за формулами (1) та (2), шляхом зміни окремих техніко-експлуатаційні показники без врахування об'єктивно існуючого системного зв'язку між ними, не розкривається у повній мірі зв'язок між цими показниками.

Виявлені недоліки не дають можливості провести якісне дослідження на системному рівні, тобто аналітичне системне факторне дослідження продуктивності вантажного автомобіля.

З метою врахування виявлених недоліків, додатково до тих досліджень, що були проведені в роботі [6], зробимо в формулах (1) та (2) ще й такі перетворення:

1) врахуємо зміну швидкості руху автомобіля в залежності від дорожніх умов на окремих ділянках маршруту;

- 2) відокремимо процес руху автомобіля від простою під навантаженням-розвантаженням;
- 3) пов'яжемо час простою під навантаженням, час простою під розвантаженням та технічну швидкість з номінальною вантажопідйомністю автомобіля-самоскида.

Згідно пункту 1, врахуємо зміну швидкості руху, перетворивши формулу (3) наступним чином:

$$\sum_{i=1}^n t_{\delta_i} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}, \text{ годин,} \quad (4)$$

де  $t_{\delta_i}$  - час руху  $i$ -тою ділянкою маршруту, годин;  $n$  - кількість ділянок на яку буде розбито весь маршрут;  $L_i$  - довжина  $i$ -тої характерної ділянки маршруту, км;  $V_i$  - швидкість руху  $i$ -тою характерною ділянкою, км/год.

Аналітичні залежності для визначення швидкості руху будемо визначати залежно від дорожніх умов на ділянці маршруту та характеристик транспортного засобу. Ці залежності визначаються шляхом вибору мінімальної з шести швидкостей: максимально припустимої заводом-виробником автомобіля, максимально припустимої з балансу потужностей автомобіля та максимально припустимої за умови збереження поперечної стійкості (відсутність бічного ковзання, загрози перекидання та заносу передньої чи задньої вісі автомобіля).

При цьому слід враховувати, що:

-  $V_{i_3}$ , як максимально припустима швидкість руху за умови відсутності бічного ковзання, визначається за формулою [8]:

$$V_{i_3} = \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot (\varphi_y - \text{tg}\beta)}{1 + \varphi_y \cdot \text{tg}\beta}}, \text{ км/годину,} \quad (5)$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння, км/год<sup>2</sup>;  $R$  - радіус повороту, км;  $\varphi_y$  - коефіцієнт поперечного зчеплення;  $\beta$  - кут поперечного нахилу дороги, градусів; -  $V_{i_3}$ , як максимально припустима швидкість руху за умови відсутності загрози перекидання, визначається за формулою [8]:

$$V_{i_3} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot B - 0,35 \cdot L \cdot \text{tg}\beta}{0,35 \cdot L + 0,5 \cdot B \cdot \text{tg}\beta}} \cdot g \cdot R, \text{ км/годину,} \quad (6)$$

де  $B$  - колія коліс автомобіля, км;  $L$  - база автомобіля, км; -  $V_{i_3}$ , як максимально припустима швидкість за умови відсутності заносу відповідно передньої чи задньої осей автомобіля, визначається за формулами [8]:

$$V_{i_3} = \sqrt{m_1 \cdot g \cdot R \cdot (\varphi_y^2 - \chi^2)} \cdot \cos \theta, \text{ км/годину;} \quad (7)$$

$$V_{i_3} = \sqrt{m_2 \cdot g \cdot R \cdot (\varphi_y^2 - \chi^2)}, \text{ км/годину,} \quad (8)$$

де  $m_1, m_2$  - коефіцієнти зміни вертикальних реакцій [8];  $\chi$  - питома дотична реакція колеса [8];  $\theta$  - кут повороту керуючих коліс, °; -  $V_{i_3}$ , як максимально припустима швидкість руху з балансу потужностей визначається за формулою:

$$V_{i_3} = \frac{3,6 \cdot V_N \cdot \left( A + \sqrt{A^2 - (C + 1000 \cdot N_{\max} \cdot \eta_{\delta\delta} \cdot c_1) \cdot [q_i \cdot V_N \cdot (f \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) + V_N \cdot m_{\Delta\delta N} \cdot \{f \cdot \cos\alpha + \sin\alpha\} - D \cdot a_1]} \right)}{C + D \cdot c_1}, \text{ км/год,} \quad (9)$$

де  $A, C, D$  - коефіцієнти, що залежать від конструктивних особливостей автомобіля, причому:

$$A = 500 \cdot N_{\max} \cdot \eta_{\delta\delta} \cdot b_1, \text{ кВт;} \quad (10)$$

$$C = k_a \cdot B \cdot H_a \cdot V_N^3, \text{ Н}\cdot\text{м/с;} \quad (11)$$

$$D = 1000 \cdot N_{\max} \cdot \eta_{\delta\delta}, \text{ кВт,} \quad (12)$$

$V_N$  - швидкість автомобіля, що відповідає максимальній потужності двигуна, м/с.

$N_{\max}$  - максимальна ефективна потужність двигуна, кВт;

$\eta_{\delta\delta}$  - коефіцієнт корисної дії трансмісії;

$a_1, b_1, c_1$  – емпіричні коефіцієнти, що характеризують тип двигуна [8];

$k_a$  – коефіцієнт опору повітря (коефіцієнт обтічності),  $\text{H}\cdot\text{с}^2/\text{M}^4$ ;

$H_a$  – найбільша висота автомобіля, м;

$q_a$  – номінальна вантажопідйомність вантажного автомобіля, Н;

$f$  – коефіцієнт опору кочення автомобіля;

$\alpha$  – кут підйому, °;

$m_{\text{ATC}}$  – власна вага транспортного засобу, Н.

Згідно пункту 2 врахуємо характер впливу на продуктивність процесу перевезення вантажів таких двох процесів, що якісно відрізняються один від одного: а) руху автомобіля та б) простою під навантаженням-розвантаженням. З метою роз'єднання цих складових в формулах (1) та (2), відокремимо процеси переміщення вантажу та його навантаження-розвантаження.

Після математичних перетворень формули (1) та (2) приймуть вигляд:

$$\mathcal{D}_Q = \frac{q_i \cdot \gamma_a}{\sum_{s=1}^n t_{\delta_s}} - \frac{q_i \cdot \gamma_a \cdot t_{i-\delta}}{\left(\sum_{s=1}^n t_{\delta_s} + t_{i-\delta}\right) \cdot \sum_{s=1}^n t_{\delta_s}}, \text{ т/годину}, \quad (13)$$

$$\mathcal{D}_W = \frac{q_i \cdot \gamma_a \cdot \sum_{i=1}^m l_{i\beta_i}}{\sum_{s=1}^n t_{\delta_s}} - \frac{q_i \cdot \gamma_a \cdot t_{i-\delta} \cdot \sum_{i=1}^m l_{i\beta_i}}{\left(\sum_{s=1}^n t_{\delta_s} + t_{i-\delta}\right) \cdot \sum_{s=1}^n t_{\delta_s}}, \text{ т}\cdot\text{км/годину}, \quad (14)$$

де  $l_{i\beta_i}$  – довжина  $i$ -тої характерної ділянки маршруту, якою здійснюється рух автомобіля-самоскида з вантажем, км;  $m$  – кількість характерних ділянок на маршруті, якими здійснюється рух автомобіля-самоскида з вантажем.

Суттєва відмінність рівнянь (13) та (14) від існуючих рівнянь (1) та (2) полягає в тому, що вони описують результуючу продуктивність перевізного процесу в цілому як різницю між її

позитивною складовою, що обумовлена перевізним процесом  $\left(\frac{q_i \cdot \gamma_a}{\sum_{s=1}^n t_{\delta_s}}\right)$  та  $\left(\frac{q_i \cdot \gamma_a \cdot \sum_{i=1}^m l_{i\beta_i}}{\sum_{s=1}^n t_{\delta_s}}\right)$  та,

системно пов'язаною з нею, негативною складовою  $\left(\frac{q_i \cdot \gamma_a \cdot t_{i-\delta}}{\left(\sum_{s=1}^n t_{\delta_s} + t_{i-\delta}\right) \cdot \sum_{s=1}^n t_{\delta_s}}\right)$  та  $\left(\frac{q_i \cdot \gamma_a \cdot t_{i-\delta} \cdot \sum_{i=1}^m l_{i\beta_i}}{\left(\sum_{s=1}^n t_{\delta_s} + t_{i-\delta}\right) \cdot \sum_{s=1}^n t_{\delta_s}}\right)$ ,

яка обумовлена простоєм автомобіля під навантаженням-розвантаженням і знижує максимальне значення продуктивності (можливе за умови  $t_{i-\delta} = 0$  та є недосяжним при організації процесу перевезень вантажів) до результуючого.

Аналіз зміни продуктивності автомобіля-самоскида можна здійснити шляхом аналізу зміни її позитивної та негативної складових. Що більш розкриває системну взаємодію двох процесів (руху автомобіля та простою під навантаженням-розвантаженням) через фактори, що їх описують.

Згідно пункту 3 доведемо наявність системного зв'язку між: а) вантажопідйомністю автомобіля-самоскида; б) часом простою під навантаженням; в) часом простою під розвантаженням та г) технічною швидкістю. Для цього пов'яжемо час простою під навантаженням, час простою під розвантаженням та технічну швидкість з номінальною вантажопідйомністю автомобіля-самоскида.

Час навантаження-розвантаження  $t_{n-p}$  визначається за формулою [6]:

$$t_{i-\delta} = t_{i\alpha\alpha} + t_{\delta i\zeta} + t_i + t_{i\tau}, \text{ годин}, \quad (15)$$

де  $t_{f\ddot{a}a}$  - час навантаження автомобіля-самоскида, годин, який є перемінною величиною, що залежить від вантажопідйомності автомобіля-самоскида та характеристик навантажувального пристрою;

$t_{\delta i \zeta}$  - час розвантаження автомобіля-самоскида, годин, який залежить від характеристик автомобіля-самоскида;

$t_i$  - час маневрування, годин, залежить від розташування пунктів навантаження і має у певних виробничих умовах сталі значення;

$t_{i\pm}$  - час очікування навантаження, годин, залежить від черги до навантажувального пристрою і має у певних виробничих умовах сталі значення.

Час навантаження автомобіля-самоскида за умови здійснення навантаження екскаватором може бути визначений за формулою [6]:

$$t_{f\ddot{a}a} = \frac{q_i \cdot \gamma_c}{q_{\ddot{a}}} \cdot t_{\ddot{a}}, \text{ годин,} \quad (16)$$

де  $q_{\ddot{a}}$  – вантажопідйомність ковша екскаватору, враховуючи особливості вантажу, тонн, яка є незмінною для екскаватора певної моделі;

$t_{\ddot{a}}$  – значення часу циклу навантаження одного ковша екскаватору, годин, яке є постійним.

Час розвантаження автосамоскида з урахуванням нормативного значення часу на розвантаження 1 тонни вантажу визначається за формулою [9]:

$$t_{\delta i \zeta} = \tau \cdot q_{\ddot{a}} \cdot \gamma_c, \text{ годин,} \quad (17)$$

де  $\tau$  – норма часу на розвантаження 1 тонни вантажу автомобілем-самоскидом, годин/тонну, яка обирається з нормативу [8] для автомобіля певної вантажопідйомності.

Час маневрування та час очікування навантаження об'єднаємо в, так звану, постійну складову часу навантаження-розвантаження, адже ці фактори мають постійне чисельне значення для певних виробничих умов. Таким чином, можна записати:

$$t_{i\hat{n}\ddot{o}} = t_i + t_{i\pm}, \text{ годин.} \quad (18)$$

Системний зв'язок між вантажопідйомністю автомобіля-самоскида та швидкістю його руху на ділянках з позовжніми похилами встановлено в залежності (9). На ділянках кривих в плані встановлення такого зв'язку є неможливим.

З урахуванням залежностей (15) – (18) залежності (13) та (14) приймають вигляд:

$$D_Q = \frac{q_{\ddot{a}} \cdot \gamma_{\ddot{a}} \cdot \left( \frac{q_{\ddot{a}} \cdot \gamma_c}{q_{\ddot{a}}} \cdot t_{\ddot{a}} + \tau \cdot q_{\ddot{a}} \cdot \gamma_c + t_{i\hat{n}\ddot{o}} \right)}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \left( \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} + \frac{q_{\ddot{a}} \cdot \gamma_c}{q_{\ddot{a}}} \cdot t_{\ddot{a}} + \tau \cdot q_{\ddot{a}} \cdot \gamma_c + t_{i\hat{n}\ddot{o}} \right) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}}, \text{ т/годину;} \quad (19)$$

$$D_W = \frac{q_{\ddot{a}} \cdot \gamma_{\ddot{a}} \cdot \sum_{i=1}^m l_{i\ddot{a}} \cdot \left( \frac{q_{\ddot{a}} \cdot \gamma_c}{q_{\ddot{a}}} \cdot t_{\ddot{a}} + \tau \cdot q_{\ddot{a}} \cdot \gamma_c + t_{i\hat{n}\ddot{o}} \right) \cdot \sum_{i=1}^m l_{i\ddot{a}}}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \left( \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} + \frac{q_{\ddot{a}} \cdot \gamma_c}{q_{\ddot{a}}} \cdot t_{\ddot{a}} + \tau \cdot q_{\ddot{a}} \cdot \gamma_c + t_{i\hat{n}\ddot{o}} \right) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}}, \text{ т·км/годину,} \quad (20)$$

де  $V_i$  – швидкість руху і-тою характерною ділянкою, км/год, яка в залежності від дорожніх умов на окремих характерних ділянках маршруту та характеристик транспортного засобу буде визначатись за залежностями (5) – (9).

Отримані залежності (19) та (20) є рівняннями для визначення продуктивностей автомобіля-самоскида в тоннах/годину та тонно-кілометрах/годину з урахуванням системного зв'язку між: а) вантажопідйомністю автомобіля-самоскида; б) часом його простою під навантаженням; в) часом

простою під розвантаженням та г) часом руху (який виражено через швидкість руху на окремих характерних ділянках маршруту (4).

Врахування великої кількості факторів в отриманих рівняннях ускладнює їх аналіз та використання на практиці. Це вимагає розробки комп'ютерної програми, яка повинна дозволяти визначати швидкості руху автомобіля-самоскида на всіх характерних ділянках маршруту. Підстановка значень цих швидкостей в формули (19) та (20) дозволить визначати продуктивність автомобіля-самоскида в тоннах/годину та тонно-кілометрах/годину і аналізувати її з урахуванням системної взаємодії всіх факторів, що входять до формул (19) та (20).

Висновки:

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Продуктивності автомобіля-самоскида з урахуванням системного факторного зв'язку між: а) вантажопідйомністю автомобіля-самоскида; б) часом простою під навантаженням; в) часом простою під розвантаженням та г) швидкістю руху на окремих ділянках маршруту визначаються за залежностями (19) та (20).

2. Подальше вирішення задачі системного багатофакторного дослідження продуктивності кар'єрного автомобіля-самоскида можливо за умови розробки комп'ютерної програми, що моделює процес перевезення. На підставі цього стає можливим проведення аналізу продуктивності роботи кар'єрних автомобілів-самоскидів з урахуванням системної взаємодії всіх факторів, що впливають на неї.

1. Агабабов А.Г. Эффективность грузовых автомобильных перевозок / А.Г.Агабабов. – Ереван.: Издательство «Айастан», 1978. – 168 с.
2. Афанасьев Л. Л. Автомобильные перевозки: Учеб. для автомоб.-дор. техникумов по специальности «Техн. обслуживание и ремонт автомобилей» / Афанасьев Л. Л. – М. : Трансп., 1965. – 351 с.
3. Великанов Д. П. Эффективность автомобиля / Великанов Д. П. – М. : Транспорт, 1969. – 240 с.
4. Лейдерман С.Р. Эксплуатация грузовых автомобилей (Технико-экономические основы) / С.Р. Лейдерман – М. : Транспорт, 1966 – 152 с.
5. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки / А.И. Воркут. – 2-е изд. , перераб. И доп. – К. : Вища шк. Головное изд-во , 1986. – 447 с.
6. Куниця А.В. Технічне забезпечення системного функціонування складових частин кар'єрного транспортного комплексу / А.В. Куниця, О.А. Куниця, Д.М. Самісько //Вісті Автомобільно-дорожнього інституту : Науково-виробничий збірник. – 2008. - №1(6). – С. 111–120.
7. Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах : ВСН 25-86. – [Чинний від 01-05-1987]. – М. : Транспорт 1987. – 183 с.
8. Афанасьев Л.Л. Конструктивная безопасность автомобиля : Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Организация дорожного движения» / Л.Л. Афанасьев, А.Б. Дьяков, В.А. Иларионов. – М.: Машиностроение, 1983. – 212 с. ил.
9. Прейскурант № 13-01-02. Тарифы на перевозку грузов и другие услуги, выполняемые автомобильным транспортом. – [Введен в действие с 1990-01-01]. - М. : Госкомцен РСФСР. 1989. – 64 с.