

Куниця А.В., д.т.н., Самісько Д.М.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

### АЛГОРИТМ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ЙОГО БАГАТОФАКТОРНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

*Розроблено алгоритм моделювання процесу перевезень з метою визначення максимально можливої продуктивності роботи кар'єрних автомобілів-самоскидів з урахуванням системного факторного зв'язку між вантажопідйомністю автомобіля-самоскида, часом його простою під навантаженням, часом простою під розвантаженням та швидкістю руху окремими ділянками маршруту.*

#### **Вступ**

У попередніх роботах за допомогою аналітичних методів було проведено двофакторне [1] та багатфакторне [2] дослідження продуктивності роботи автомобілів-самоскидів.

Під час проведення двофакторного дослідження було виявлено вплив на продуктивність процесу перевезення вантажів автомобілями-самоскидами таких двох системно взаємопов'язаних факторів як вантажопідйомність автомобіля-самоскида та час його простою під навантаженням.

Під час проведення багатфакторного дослідження було встановлено залежності продуктивностей процесу перевезення вантажів автомобілями-самоскидами в тоннах/годину та тонно-кілометрах/годину від таких системно взаємопов'язаних факторів як вантажопідйомність автомобіля-самоскида, час його простою під навантаженням, час простою під розвантаженням та швидкість руху на окремих ділянках маршруту.

Водночас встановлено принципову неможливість подальшого дослідження отриманих залежностей аналітичними методами.

Тому в роботі [2] було показано, що подальше дослідження цього питання пов'язане з необхідністю розробки комп'ютерної програми, яка б моделювала процес перевезення з урахуванням системної взаємодії таких факторів як вантажопідйомність автомобіля-самоскида, час його простою під навантаженням, час простою під розвантаженням та швидкість руху на окремих ділянках маршруту і на маршруті в цілому.

Першим кроком на шляху реалізації цього завдання є розробка алгоритму моделювання процесу перевезення з метою визначення максимально можливої продуктивності роботи кар'єрних автомобілів-самоскидів з урахуванням системного факторного зв'язку між вантажопідйомністю автомобіля-самоскида, часом його простою під навантаженням, часом простою під розвантаженням та швидкістю руху окремими ділянками маршруту.

#### **Мета роботи**

Розробити алгоритм моделювання процесу перевезень з метою визначення максимально можливої продуктивності роботи кар'єрних автомобілів-самоскидів з урахуванням системного факторного зв'язку між вантажопідйомністю автомобіля-самоскида, часом його простою під навантаженням, часом простою під розвантаженням та швидкістю руху окремими ділянками маршруту.

#### **Основна частина**

У роботі [2] отримано залежності 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 навантажен-

ням; в) часом простою під розвантаженням та г) часом руху (який виражено через відношення швидкості руху на окремих характерних ділянках маршруту до їх відповідних довжин), які мають вигляд:

$$P_Q = \frac{q_H \cdot \gamma_d}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}} \cdot \frac{q_H \cdot \gamma_d \left( \frac{q_H \cdot \gamma_d}{q_e} \cdot t_e + \tau \cdot q_H \cdot \gamma_d + t_{\text{пост}} \right)}{\left( \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} + \frac{q_H \cdot \gamma_d}{q_e} \cdot t_e + \tau \cdot q_H \cdot \gamma_d + t_{\text{пост}} \right)} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \quad m/\text{год}; \quad (1)$$

$$P_W = \frac{q_H \cdot \gamma_d \sum_{i=1}^m l_{iB_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}} \cdot \frac{q_H \cdot \gamma_d \left( \frac{q_H \cdot \gamma_d}{q_e} \cdot t_e + \tau \cdot q_H \cdot \gamma_d + t_{\text{пост}} \right)}{\left( \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} + \frac{q_H \cdot \gamma_d}{q_e} \cdot t_e + \tau \cdot q_H \cdot \gamma_d + t_{\text{пост}} \right)} \cdot \sum_{i=1}^m l_{iB_i} \quad m \cdot \text{км}/\text{год}, \quad (2)$$

де  $P_Q$  — продуктивність автомобіля в тоннах за годину,  $m/\text{год}$ ;

$P_W$  — продуктивність автомобіля в тонно-кілометрах за годину,  $m \cdot \text{км}/\text{год}$ ;

$q_H$  — номінальна вантажопідйомність вантажного автомобіля,  $t$ ;

$\gamma_d$  — коефіцієнт динамічного використання вантажопідйомності;

$q_e$  — вантажопідйомність ковша екскаватора з урахуванням особливостей вантажу,  $t$ ;

$t_e$  — час циклу навантаження одного ковша екскаватора,  $\text{год}$ , який вважаємо постійним;

$\tau$  — норма часу на розвантаження 1 тонни вантажу автомобілем-самоскидом,  $\text{год}/m$ , яка обирається згідно нормативу, наприклад [3], для автомобіля певної вантажопідйомності;

$t_{\text{пост}}$  — постійна складова часу навантаження-розвантаження, яка складається з часу маневрування та часу очікування навантаження,  $\text{год}$  [2];

$L_i$  — довжина  $i$ -тої характерної ділянки [4] маршруту,  $\text{км}$ ;

$V_i$  — швидкість руху  $i$ -тою характерною ділянкою [4],  $\text{км}/\text{год}$ ;

$l_{iB_i}$  — довжина  $i$ -тої характерної ділянки маршруту, якою здійснюється рух автомобіля-самоскида з вантажем,  $\text{км}$ ;

$m$  — кількість характерних ділянок на маршруті, якими здійснюється рух автомобіля-самоскида з вантажем;

$n$  — кількість характерних ділянок на маршруті, якими здійснюється рух автомобіля-самоскида з вантажем та без вантажу.

Залежності (1) та (2) розроблені за умов, що:

– навантаження автомобілів-самоскидів здійснюється екскаваторами з відомими їх вантажопідйомністю ковша та часом циклу навантаження одного ковша;

– розвантаження автомобілів-самоскидів здійснюється шляхом підйому кузова, причому час розвантаження 1 тонни вантажу визначається згідно діючого нормативу, наприклад [3];

– маршрут руху автомобіля-самоскида розбито на характерні ділянки [4] в залежності від умов руху ними (наявність поздовжніх та поперечних похилів, кривих в плані, коефіцієнти поздовжнього та поперечного зчеплення колеса з дорогою);

– визначення продуктивностей здійснюється з урахуванням зміни швидкостей руху автомобіля-самоскида на окремих характерних ділянках маршруту за умови забезпечення безпеки дорожнього руху, причому остаточне значення швидкості на кожній характерній ділянці визначається шляхом вибору мінімальної з шести швидкостей:

1) максимальної для даної ділянки, за умови відсутності бічного ковзання, яка розраховується за формулою [5]:

$$V_{i1} = \sqrt{\frac{q \cdot R \cdot (\phi_y + \operatorname{tg} \beta)}{1 - \phi_y \cdot \operatorname{tg} \beta}} \text{ км/год}, \quad (3)$$

де  $g$  — прискорення вільного падіння,  $\text{км/год}^2$ ;

$R$  — радіус повороту,  $\text{км}$ ;

$\phi_y$  — коефіцієнт поперечного зчеплення;

$\beta$  — кут поперечного нахилу дороги, градусів;

2) максимальної для даної ділянки, за умови відсутності загрози перекидання, яка розраховується за залежністю [5]:

$$V_{i2} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot B + 0,35 \cdot L \cdot \operatorname{tg} \beta}{0,35 \cdot L - 0,5 \cdot B \cdot \operatorname{tg} \beta}} \cdot g \cdot R \text{ км/год}, \quad (4)$$

де  $B$  — колія коліс автомобіля,  $\text{км}$ ;

$L$  — база автомобіля,  $\text{км}$ ;

3) максимальної для даної ділянки, за умови відсутності заносу передньої вісі автомобіля, яка розраховується за формулою [5]:

$$V_{i3} = \sqrt{m_1 \cdot g \cdot R \cdot (\phi_y^2 - \chi^2)} \cdot \cos \theta \text{ км/год}; \quad (5)$$

де  $m_1$  — коефіцієнти зміни вертикальних реакцій для передньої вісі автомобіля-самоскида [5];

$\chi$  — питома дотична реакція колеса [5];

$\theta$  — кут повороту керуючих коліс, *градусів*;

4) максимальної для даної ділянки, за умови відсутності заносу задньої вісі автомобіля, яка розраховується за формулою [5]:

$$V_{i4} = \sqrt{m_2 \cdot g \cdot R \cdot (\phi_y^2 - \chi^2)} \cdot \cos \theta \text{ км/год}, \quad (6)$$

де  $m_2$  — коефіцієнти зміни вертикальних реакцій для задньої вісі автомобіля-самоскида [5];

5) максимальної для даної ділянки з балансу потужностей, яка розраховується за формулою:

$$V_{i5} = 3,6 \cdot V_N \times \frac{\left( A + \sqrt{A^2 - (C + 1000 \cdot N_{\max} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot c_1)} \cdot [q_n \cdot V_N \cdot (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) + V_N \cdot m_{\text{АТС}} \cdot \{f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha\} - D \cdot a_1] \right)}{C + D \cdot c_1} \text{ км/год}, \quad (7)$$

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

$$A = 500 \cdot N_{\max} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot b_1 \text{ кВт}; \quad (8)$$

$$C = k_b \cdot B \cdot H_a \cdot V_N^3 \text{ Н·м/с}; \quad (9)$$

$$D = 1000 \cdot N_{\max} \cdot \eta_{\text{тр}} \text{ кВт}, \quad (10)$$

$V_N$  — швидкість автомобіля, що відповідає обертам колінчастого валу при максимальній потужності двигуна,  $\text{м/с}$ .

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

$\eta_{\text{тр}}$  — коефіцієнт корисної дії трансмісії;

$a_1, b_1, c_1$  — емпіричні коефіцієнти, що залежать від типу двигуна [5];

$k_v$  — коефіцієнт опору повітря (коефіцієнт обтічності),  $H \cdot c^2 / m^4$ ;

$H_a$  — найбільша висота автомобіля,  $m$ ;

$f$  — коефіцієнт опору кочення автомобіля;

$\alpha$  — кут підйому, *градусів*;

$m_{ATC}$  — власна вага транспортного засобу,  $m$ ;

б) максимально припустимої швидкості автомобіля  $V_6$ , встановленої заводом-виробником автомобіля.

Схема алгоритму визначення максимально можливих продуктивностей роботи кар'єрного автомобіля-самоскида в тоннах/годину та тонно-кілометрах/годину розроблена на підставі залежностей (1) та (2) і оформлена згідно вимог діючого стандарту [6]. Схему алгоритму наведено на рис. 1.

Першим етапом алгоритму моделювання процесу перевезень з метою визначення максимально можливої продуктивності роботи кар'єрних автомобілів-самоскидів є введення вихідних даних (блок 1). Усю сукупність вихідних даних для визначення продуктивностей роботи кар'єрного автомобіля-самоскида в тоннах/годину та тонно-кілометрах/годину наведено на рис. 2.

Серед всієї сукупності вихідних даних є такі, що отримуються з характеристик:

- 1) автомобіля-самоскида (група А, рис. 2);
- 2) навантажувального пристрою (група С, рис. 2);
- 3) автомобіля-самоскида та вантажу (група F, рис. 2).

Крім того, є такі дані, що отримуються в результаті додаткового обстеження маршруту та перевізного процесу, що організовано на цьому маршруті (групи В, D, E, рис. 2).

У зв'язку з наявністю параметрів, що змінюються за довжиною маршруту, постає задача розбиття усієї довжини маршруту за однорідними умовами руху на  $n$  характерних ділянок.

Наступним етапом є визначення сумарного часу руху маршрутом з урахуванням зміни швидкостей руху на окремих його характерних ділянках (блоки 2-23, рис. 1).

Сумарний час руху маршрутом визначається як сума часів руху окремими його характерними ділянками (блок 22, рис. 1).

Час руху окремою характерною ділянкою (блок 20, рис. 1) визначається шляхом ділення довжини цієї ділянки на мінімальну з розрахованих за формулами (3)-(7) (розрахунки швидкостей здійснюються в блоках 4, 6, 8, 10 та 12, рис. 1) та максимально припустимої заводом-виробником автомобіля швидкостей руху для цієї ділянки (визначення мінімальної з максимально можливих швидкостей для кожної характерної ділянки здійснюється в блоках 15-18, рис. 1).

У блоках 5, 7, 9, 11, 13, 14, 19, 21 здійснюється показ на дисплеї проміжних результатів розрахунків.

За результатами розрахунків сумарного часу руху маршрутом в блоках 24 та 25 за формулами (1) та (2) розраховуються продуктивності роботи кар'єрного автомобіля-самоскида в тоннах/годину та тонно-кілометрах/годину з урахуванням системного зв'язку між вантажопідйомністю автомобіля-самоскида, часом його простою під навантаженням, часом простою під розвантаженням та швидкістю руху окремими ділянками маршруту.

У блоці 26 здійснюється вивід на дисплей результатів розрахунків продуктивностей роботи кар'єрного автомобіля-самоскида в тоннах/годину та тонно-кілометрах/годину.

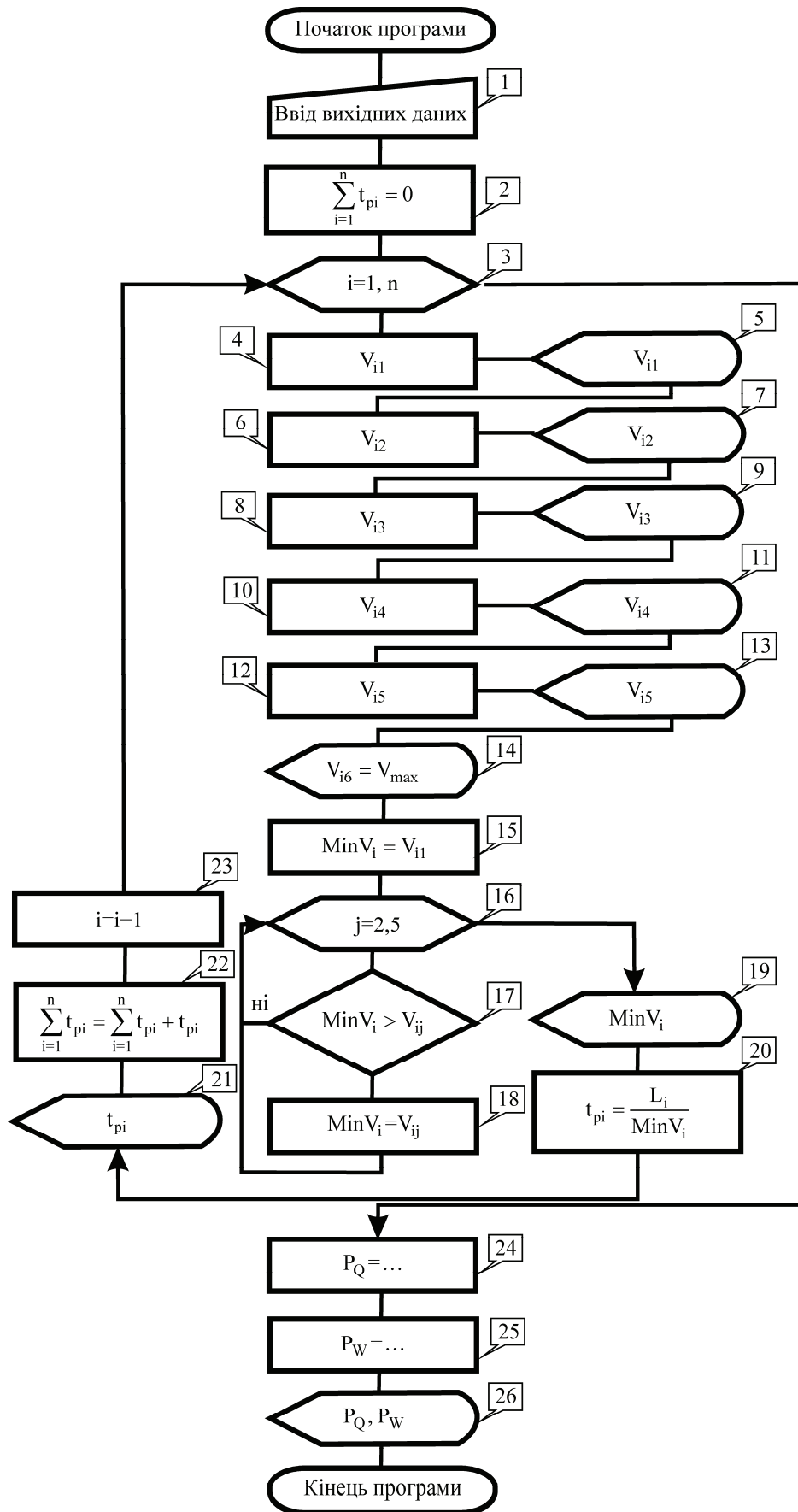


Рис. 1. Алгоритм визначення максимально можливих продуктивностей роботи кар'єрного автомобіля-самоскида в тоннах/годину та тонно-кілометрах/годину.

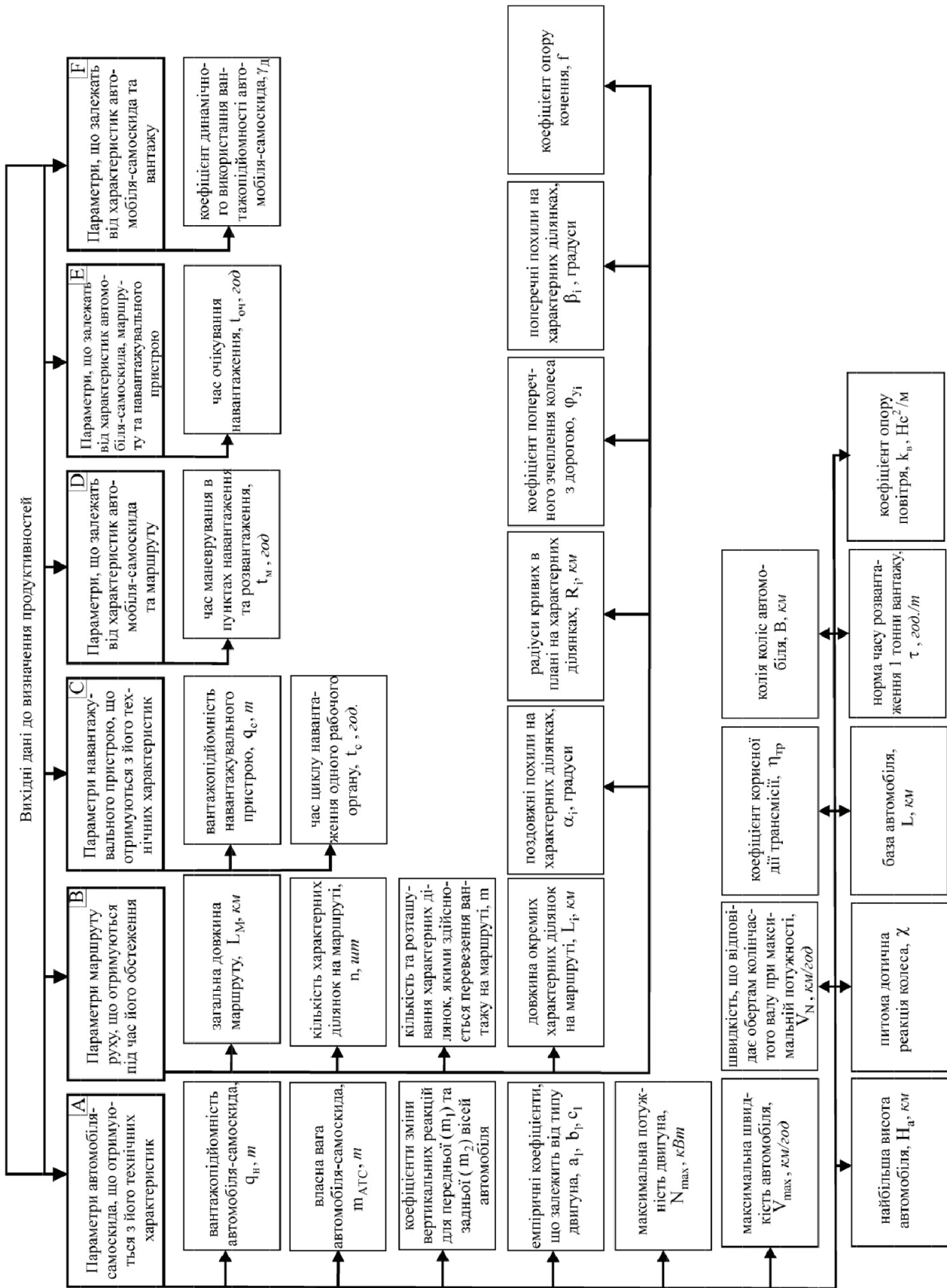


Рис. 2. Вихідні дані для визначення максимально можливих продуктивностей роботи кар'єрного автомобіля-самоскида в тоннах/годину та тоннах-кілометрах/годину

### **Висновки**

У роботі розроблено алгоритм програми моделювання процесу перевезення з метою визначення максимально можливої продуктивності роботи кар'єрних автомобілів-самоскидів з урахуванням системного факторного зв'язку між вантажопідйомністю автомобіля-самоскида, часом його простою під навантаженням, часом простою під розвантаженням та швидкістю руху окремими ділянками маршруту.

Даний алгоритм є першим кроком на шляху розробки комп'ютерної програми, що моделює процес перевезення вантажів автомобілями-самоскидами з урахуванням системної взаємодії таких факторів як вантажопідйомність автомобіля-самоскида, час його простою під навантаженням, час простою під розвантаженням та швидкість руху окремими ділянками маршруту.

У подальшому, за умови розробки даної програми, стає можливим проведення аналізу шляхів підвищення продуктивності роботи кар'єрних автомобілів-самоскидів з урахуванням системної взаємодії таких факторів як вантажопідйомність автомобіля-самоскида, час його простою під навантаженням, час простою під розвантаженням та швидкість руху окремими ділянками маршруту.

### **Список літератури**

1. 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.
2. Куниця А.В. Підходи до багатофакторного дослідження продуктивності роботи кар'єрних автомобілів-самоскидів / А.В. Куниця, Д.М. Самісько // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). — 2010. — Випуск 28 (травень, 2010). — С. 295-300.
3. 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.
4. Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах: ВСН 25-86. — [Чинний від 01-05-1987]. — М.: Транспорт 1987. — 183 с.
5. 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.
6. Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения: ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85). — [Дата введения 1992-01-01]. — Москва: Издательство стандартов. 1991. — 26 с.

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

Стаття надійшла до редакції 26.10.10

© Куниця А.В., Самісько Д.М., 2010