

аварійно-спасательних работ в восстающих горных выработках. //Бюллетени научно-технической информации «Черная металлургия». -М.-Черметинформация. - 1990. -№11 С 41-51.

2. **Оконеvский А.Ф., Рясной В.М., Комащенко П.Г.** Повышение эффективности горноспасательных работ при механизированной проходке восстающих горных выработок. //Горный журнал, - 1985. С. 53-54.

3. **Рясной В.М., Комащенко П.Г., Мельников Г.П.** Подъемник для спасательных работ в восстающих выработках. И Безопасность труда. - 1986.

4. **Умнов А.В., Рясной В.М., Моргунов Е.Г.** Горноспасательный подъемник для восстающих горных выработок. // Горный журнал. - 1991. - №2. С.51-52.

Рукопис подано до редакції 01.04.12

УДК 629.1.05

А.В. ВЕСНІН, канд. техн. наук, доц., О.Д. ПОЧУЖЕВСЬКИЙ, асистент  
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СКЛАДНОСТІ МАРШРУТУ РУХУ, ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТА УЗГОДЖЕНОСТІ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ «ДВИГУН-ТРАНСМІСІЯ» КАР'ЄРНИХ САМОСКИДІВ**

Сформовано та обґрунтовано методики визначення показників складності маршруту руху, ефективності роботи та узгодженості параметрів системи «двигун-трансмiсія» кар'єрних самоскидів

На сьогодні на відкритих розробках світу більше половини видобутої гірничої маси транспортують кар'єрні самоскиди. В Україні майже весь парк даної техніки представлений машинами виробництва РУПП БелАЗ, з яких близько 97 % машин мають вантажопідйомність 30-55 т і оснащуються гідромеханічною трансмісією. Основною проблемою експлуатації даної техніки є велика доля витрат на транспортування, яка сягає 50-60 % від загальної собівартості видобутку корисних копалин, при цьому питома вага палива, у даних витратах, складає близько 30 % [1].

Головною специфікою експлуатації кар'єрних самоскидів є те, що з початку вводу в експлуатацію і до списання, ці машини працюють на одному підприємстві з однаковою універсальною комплектацією (моделлю двигуна та передаточними числам трансмісії), яка забезпечує можливість використання даних машин у будь-яких гірничотехнічних умовах (характеристиках доріг). Однак дані умови між підприємствами, і навіть у межах одного підприємства, можуть досить сильно відрізнятися. Це, у свою чергу, приводить до того що, під час експлуатації двигун працює не в раціональних режимах - унаслідок чого збільшуються експлуатаційні витрати палива, знижуються тягово-швидкісні властивості, продуктивність та загальна ефективність роботи даних машин.

У зв'язку з тим, що покращення основних факторів умов експлуатації в більшості випадків вкрай складно або взагалі неможливо, а конструктивне вдосконалення кар'єрних самоскидів обмежене існуючими матеріалами та технологіями виробництва, підвищення ефективності експлуатації даних машин вважається можливим за рахунок підвищення ККД тих систем, в яких втрати енергії є найбільшими. Для машинобудування і зокрема кар'єрних самоскидів, такою є система «двигун-трансмiсія».

Однак для вирішення даного питання необхідно мати відповідний математичний апарат, за допомогою якого можна аналізувати та характеризувати умови експлуатації, ефективність роботи та раціональне поєднання характеристик двигуна та передаточних чисел трансмісії.

Питанням підвищення загальної ефективності експлуатації кар'єрних самоскидів присвячені праці таких вчених як Ю.І. Аністратов, М.В. Васильєв, І.В. Зирянов, О.О. Кулєшов, Ю.І. Лель, П.Л. Марієв та інші. Однак у напрямку використання раціональних параметрів системи «двигун-трансмiсія» відносно конкретних умов експлуатації, дане питання не розглядалося.

Крім цього існуючі показники оцінки гірничотехнічних умов (характеристики доріг) - поздовжній, керуючий та середньозважений ухил не дозволяють адекватно їх охарактеризувати.

Ефективність роботи машин взагалі для кожного підприємства є індивідуальним балансом між витратами палива та продуктивністю роботи, яку на сьогоднішній день неможливо визначити одним показником, адже його поки що з поміж існуючих не визначено. Узгодженість роботи двигуна та трансмісії оцінюється універсальним показником у вигляді динамічного фактору машини однак він є змінним з обертами і не дозволяє характеризувати загальну узгодже-

ність даної системи одним числом.

Отже завдання даної роботи полягає у визначенні та обґрунтуванні показників складності маршруту руху, ефективності роботи та узгодженості параметрів системи «двигун-трансмсія» кар'єрних самоскидів.

Враховуючи те що маршрут руху характеризує коефіцієнт сумарного опору дороги ( $\psi$ ) (складається із суми повздовжнього ухилу та опору кочення), загальний показник складності маршрут руху повинен враховувати інтенсивність та величину зміни  $\psi$  протягом маршруту руху ( $L$ ), при цьому враховуючи долю кожної ділянки маршруту із власним значенням  $\psi_i$  від загальної довжини маршруту.

Показник складності маршруту руху пропонується визначати на основі теореми подібності та розмірності, а саме за допомогою графіку закономірності зміни  $\psi(L)$  - через відношення умовної площі фігури, утвореної між поверхнею кривої  $\psi(L)$  та віссю що характеризує довжину маршруту руху віднесеної до реальної загальної відстані даного маршруту руху, вираженого у метрах. Основною відмінністю від попередніх досліджень [2] є те, що по вісі абсцис, маршрут виражений у відносному вигляді - загальна довжина приведена до одиниці.

Залежність зміни коефіцієнта сумарного опору дороги (частини) представлена на рис. 1.

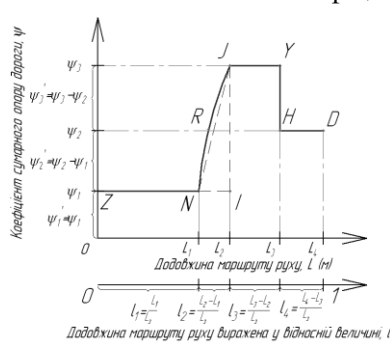


Рис. 1. Залежність розподілу коефіцієнта сумарного опору дороги на умовному маршруті руху

По осі абсцис зображено дві осі (величини): перша це загальна довжина маршруту руху ( $OL_4$  виражена у метрах), а друга - загальна довжина  $L_3$  виражена у відносній величині приймає значенні рівне одиниці. Довжина кожної з 4-х ділянок траси  $l_1, l_2, l_3, l_4$  визначається через її вагомість у загальній довжині маршруту руху.

По осі ординат зображено закономірності зміни коефіцієнта сумарного опору дороги як в граничних точках ділянок маршруту руху ( $\psi_1, \psi_2, \psi_3$ ) так і у межах кожної ділянки маршрут

руху ( $\psi'_1, \psi'_2, \psi'_3$ ).

Згідно запропонованого способу складність маршруту руху визначається як відношення умовної площі утвореної між кривою  $ZD$  та віссю абсцис до загальної довжини маршруту. Для визначення умовної площі фігури, необхідно знайти довжину поліному  $ZD$  ( $D_{\psi(L)}$ ), яка буде складатися із сумарної довжини кожної ділянки маршруту:

$$ZD = (D_{\psi(L)}) = ZN + NJ + JY + YH + HD. \quad (1)$$

Однак з рис. 1 видно, що крива  $ZD$  може мати ділянки у вигляді як прямої ( $ZN, JY, YH, HD$ ) так і у вигляді опуклої  $NJ$  чи впуклої форми. Отже, у першому вигляді загальна довжина прямих ділянок буде визначатися із виразів

при зміні по довжині маршруту (осі абсцис), тобто

$$D_{xp, \psi(L)} = \sum_{y=1}^h l_y; \quad (2)$$

при зміні по коефіцієнта сумарного опору дороги (осі ординат)

$$D_{xp, \psi(L)} = \sum_{u=1}^r (|\psi_z - \psi_{z-1}|) l_u = \sum_{u=1}^r (\psi'_z) l_u, \quad (3)$$

де  $l_y$  - довжина кривої, яка змінює своє значення по осі абсцис на  $y$ -ї ділянці маршруту руху;  $h$  - загальна кількість ділянок маршруту руху у межах якої крива  $\psi(L)$  змінює своє значення по осі абсцис;  $\psi'_z$  - довжина кривої яка змінює своє значення по осі ординат на  $u$ -х ділянках маршруту руху між значенням коефіцієнта сумарного опору дороги в точці  $z$  та  $z-1$  і фактичне значення зміни  $\psi$  виражається у вигляді  $\psi'_z$ ;  $r$  - загальна кількість ділянок маршруту руху у межах якої крива  $\psi(L)$  змінює своє значення по осі ординат.

Однак у другому випадку, коли існує ділянка маршруту, яка описується певною опуклою чи увігнутою кривою  $NJ$  її довжину пропонується визначати по методу А.І. Старикова [3] - шляхом апроксимації окремих ділянок траси прямокутними трикутниками, довжина гіпотенузи якого і буде відображати довжину поліному. Отже, довжина гіпотенузи  $NJ$   $\Delta NJI$  (див. рис. 1), яка апроксимує дугу  $NRJ$ , буде визначатися з виразу

$$D_{xp, NRJ} = NJ = \sqrt{NI^2 + JI^2} = \sqrt{\left(\frac{(L_2 - L_1)}{L_3}\right)^2 + (\psi_3 - \psi_1)^2} = \sqrt{l_2^2 + (\psi'_2 + \psi'_3)^2}. \quad (4)$$

При цьому загальна довжина ділянки  $\psi(L)$  яка описується опуклою чи увігнутою кривою буде визначатися із суми відповідних гіпотенуз.

Інтенсивність зміни поліному буде залежать від величини  $\psi$  зміни протягом маршруту  $L$ , це значення пропонується визначати як середньозважене значення сумарного опору дороги на маршруті  $\psi_{ср.зв}$

$$\psi_{ср.зв} = \psi_{a''} \cdot (L_{a''}/L_3) + \psi_{a''+1} \cdot (L_{a''+1}/L_3) + \dots + \psi_{p''+1} \cdot (L_{p''+1}/L_3) \quad (5)$$

де  $a''$  - певна ділянка маршруту руху впродовж якої змінюється або довжина, або коефіцієнт сумарного опору дороги;  $p''$  - загальна кількість ділянок маршруту руху впродовж яких змінюється або довжина або коефіцієнт сумарного опору дороги;  $L_3$  - загальна довжина маршруту руху, м.

Перевагою запропонованого методу є те, що він враховує долю руху на кожній ділянці маршруту і забезпечує достовірне визначення умовної площі фігури (див. рис. 1). Загальна формула визначення складності маршрут руху буде мати вигляд

$$K = (D_{кр. \psi(L)} \cdot \psi_{ср.зв.}) / L_3, 1/м \quad (6)$$

Отже, було сформовано методику визначення показника складності маршрут руху кар'єрного самоскида.

Для підтвердження адекватності формування даної методики, були проведені аналітичні дослідження. Вони полягали у тому, що на двох трасах (довжиною 2200 та 1200 м) відбувалося у першому випадку поступове зменшення довжини кожної ділянки траси до 8 % з кроком 2 %, а у другому навпаки - при сталій довжині маршруту руху, відбувалося зменшення сумарного коефіцієнту опору дороги до 8 % з кроком 2 %. При цьому було встановлено, що зміна довжини кожної ділянки траси при сталих значення їх  $\psi$  і навпаки, підпорядковується лінійній закономірності. Однак найбільший вплив на показник  $K$  має саме розподіл  $\psi$ , а зміна довжині при сталому розподілі  $\psi$  є досить мізерною. Таким чином на цьому підґрунті можна стверджувати, що дана методика може використовуватися для подальших досліджень.

Більш детальні дослідження встановили, що значення показника  $K$  для кар'єрних доріг коливається в межах від  $1 \cdot 10^{-5}$  (відносно легкі умови) до  $1 \cdot 10^{-4}$  (складні умови руху).

При формуванні показника ефективності роботи кар'єрних самоскидів була використана безрозмірна формула ефективності роботи колісних транспортних засобів розроблена проф. Карабцовим В.С. та гол. констр. НТЦ ВАТ «КамАЗ» Валєєвим Д.Х. [4]

$$E = (m_6 \cdot V_{cm}) / Q_{ui}, \quad (7)$$

де  $m_6$  - маса вантажу, т;  $V_{cm}$  - середньотехнічна швидкість, км/год;  $Q_{ui}$  - шляхові витрати палива, л/100 км.

Однак у зв'язку з тим, що самоскиди працюють за маятниковим маршрутом руху, ефективність їх роботи необхідно оцінювати як під час руху з вантажем так і у порожньому стані, а паливну економічність доцільно оцінювати не в шляхових витратах (л/100 км), а у витратах палива на маршруті (л).

Пропонується ефективність роботи кар'єрних самоскидів визначати як у завантаженому, так і порожньому стані

$$E_{зав} = (m_n \cdot V_{cm}) / Q_{m.n} \quad (8)$$

$$E_{пор} = (m_{cn} \cdot V_{cm}) / Q_{m.cn} \quad (9)$$

де  $m_n$  - повна маса кар'єрного самоскида, складається з маси вантажу  $m_6$  та спорядженої маси машини  $m_{cn}$ , т;  $Q_{m.n}$ ,  $Q_{m.cn}$  - обсяг витраченого палива на маршруті відповідно під час руху машини з повною та спорядженою масою, л.

Головною відмінністю від попередніх досліджень [5] є те, що для комплексної оцінки загального рівня ефективності даних машин пропонується використовуються один з алгоритмів Г.І. Солода [6], а саме методику «Гипроуглемаша» для зведення воєдино рівня якості за одиничними показниками

$$E_{заг} = \sum_{w=1}^h Y_w \cdot U_w \quad (10)$$

де  $U_w$  - коефіцієнт вагомості кожного показника  $w$ -ї групи;  $Y_w$  - рівень якості показника кожної  $w$ -ї групи;  $h'$  - кількість варіантів руху по маршруту (при маятникову маршруті  $h'=2$  - в завантаженому  $E_{зав}$  та порожньому стані  $E_{пор}$ ).

Оскільки основним показником під час оцінки ефективності є витрати палива, саме по

ньому буде визначена вагомість показників ефективності машини. Враховуючи те, що загальна витрата пального кар'єрних самоскидів складається з 80 % палива які витрачаються під час руху з вантажем та 20 % у порожньому стані [7], саме данні значення будуть використані для оцінки вагомості відповідних одиничних показників ефективності роботи

$$E_{заг} = 0,8 \cdot E_{зав} + 0,2 \cdot E_{пор} = 0,8 \cdot (m_n \cdot V_{cm}) / Q_{м.л} (m_{cn} \cdot V_{cm}) / Q_{м.с} \quad (11)$$

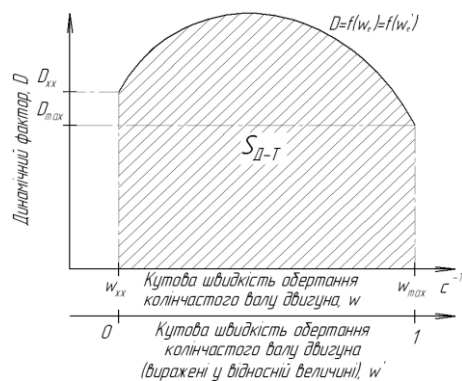
Отже, основну функцію визначення показника ефективності кар'єрних самоскидів, можна записати у вигляді

$$E_{заг}(m_n, m_{cn}, V_{cm}, Q_{м.л}, Q_{м.с}) \rightarrow \max.$$

Під час аналітичних дослідженнях було встановлено, що показник  $E$  має лінійну зростаючу закономірність при збільшенні  $V_{cm}$  та маси машини і спадаючу степенну функціональну залежність від витрат палива на маршруті. При цьому функціональна зміна  $E$  по комплектаціям машин є дзеркальною до функції собівартості перевезень. Результати даних досліджень підтверджують адекватність формування даного показника  $E$ . Більш детальні дослідження встановили що для кар'єрних самоскидів вантажопідйомністю 30-90 т значення показника  $E$  коливається від 60 до 200, де більше значення свідчить про більшу ефективності машини.

Показник узгодженості параметрів системи «двигун-трансмсія» кар'єрного самоскиду  $S_{Д-Т}$  пропонується визначати у безрозмірному вигляді на основі теореми подібності та розмірності, а саме як площу фігури утворена між поліномом  $D=f(w_e)$  та віссю обертів двигуна (рис. 2).

Рис. 2. Графічне визначення показника узгодженості системи «двигун-трансмсія» кар'єрного самоскида



Отже, вдосконаливши попередні дослідження [2], привівши оберти двигуна до відносних величин, а саме холостий хід до нуля, а максимальні оберти до одиниці, загальна формула визначення  $S_{Д-Т}$  матиме вигляд

$$S_{Д-Т} = \int_{w_{xx}}^{w_{max}} f(w_e) dw' = \int_0^1 f(w_e) dw' \quad (12)$$

Аналітичні дослідження встановили що значення показника узгодженості зростає зі зростанням характеристик двигуна та збільшенні передаточного числа трансмісії що підтверджує адекватність формування даної методики. Також було встановлено що для кар'єрних самоскидів БелАЗ з ГМТ  $S_{Д-Т}$  змінюється від 0,03 (БелАЗ-7540) до 0,22 (БелАЗ-7557).

Отже, сформовано та обґрунтовано методики визначення показників складності маршруту руху, ефективності роботи та узгодженості параметрів системи «двигун-трансмсія» кар'єрних самоскидів.

Подальші дослідження передбачають розробка алгоритму визначення раціональних параметрів системи «двигун-трансмсія» кар'єрних самоскидів.

#### Список літератури

1. Мариев П.Л. Карьерный автотранспорт. Состояние и перспективы / Мариев П.Л. [и др.]. – СПб. : Наука, 2004. – 429 с.
2. Почужевський О.Д. Формування показників складності маршруту руху та узгодженості параметрів системи «двигун-трансмсія» кар'єрного автосамоскиду / О.Д. Почужевський // Науковий вісник НУВГП, Рівне. – НУВГП. – Вип. №3, 2011. С. 97-105.
3. Стариков А.И. Геоинформационное моделирование и автоматизированные расчеты горнотранспортных процессов в карьерах: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Стариков Андрей Иванович. - Екатеринбург, 2000. - 125 с.
4. Карабцев В.С. Валеев Д.Х. О КПД и коэффициенте эффективности автотранспортных средств // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 10. – С. 16-19.
5. Почужевський О.Д. Новый подход к определению эффективности работы транспортных машин / О.Д. Почужевський // Сборник научных трудов СПГПИ. Часть 2, Санкт-Петербург, 2011. - С. 216-218.
6. Солод Г.И. Оценка качества горных машин / Г.И. Солод. – Москва: МГИ, 1978. – 72с.
7. Мариев П.Л. Карьерная техника ПО «БелАЗ»: Справочник / П.Л. Мариев, К.Ю. Анистратов. – М. : Горное дело, 2007. – 456 с.

Рукопис подано до редакції 16.04.12