

дительности; при одинаковом диаметре ствола такие темпы выше при большем значении f . Отсюда вытекает вывод о том, что при большей крепости пород увеличение эксплуатационной производительности бурового оборудования способно в относительно большей степени влиять на скорость проходки и зона интенсивного влияния P на v в этом случае шире. **Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, в ходе исследования, на основе разработанного программного обеспечения, изменения скорости проходки выработок от эксплуатационной производительности бурового оборудования установлены соответствующие зависимости, охватывающие широкий круг условий. В ходе дальнейших исследований было бы полезно разработать соответствующие программы и исследовать вопросы о зависимости оптимальных организационных параметров сооружения протяженных выработок от различных факторов.

Рукопись поступила в редакцию 02.02.14

УДК 622.271: 622.684

Ю.А. МОНАСТИРСЬКИЙ, д-р техн. наук, доц., А.В. ВЕСНІН, канд. техн. наук, доц., В. СІСТУК, аспірант, Криворізький національний університет

УРАХУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГІРНИЧОТЕХНІЧНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОСАМОСКИДІВ ЯК ШЛЯХ ДО ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КАР'ЄРНОЇ ТЕХНІКИ

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. В Україні на більш ніж 200 підприємствах працює близько 2,5 тисяч кар'єрних автосамоскидів, від ефективної роботи яких залежать усі основні показники роботи гірничо-видобувного підприємства. Кар'єрні автосамоскиди займають одне з основних місць у лінійці промислових транспортних машин кар'єрів. Вони є специфічним транспортним засобом, призначеним для перевезення значних одиничних (від 30 до 560 т) порцій сипучих вантажів, а машини вантажопідйомністю більше 80 т мають особливу електромеханічну трансмісію, що вимагає наявності спеціального обладнання на підприємстві, а у персоналу з експлуатації, обслуговування та ремонту додаткових знань і умінь. Оскільки кар'єрні автосамоскиди внаслідок великих габаритів не можуть самостійно діставатися на сервісні центри для проведення планових чи поточних робіт з відновлення працездатного стану, останні виконуються на місцях роботи автосамоскидів. У зв'язку з цим, для покращення техніко-економічних показників експлуатації промислового кар'єрного автотранспорту необхідний розвиток сервісної мережі, функціонування якої неможливо без системного підходу на основі сучасних теоретичних досліджень.

З іншого боку, ефективність використання кар'єрного автотранспорту багато в чому визначається сукупністю гірничотехнічних факторів. У той же час, сучасний стан відкритих розробок, а саме кар'єрів з глибинами понад 300 м, характеризується значним ускладненням гірничотехнічних умов: досягненням середнього уклону технологічних трас величини 7%, що є підвищеною для кар'єрних автосамоскидів та збільшенням відстані транспортування гірничої маси [2,3]; випередженням темпів видобутку над темпами виймання розкриття, що призводить до зменшення ширини робочих площадок до мінімально допустимого для технологічного автотранспорту показника в 25-30 м [3]; наявності ґрунтового покриття з глибокими коліями на багатьох основних ділянках трас, та особливо пухкого в пунктах навантаження-розвантаження гірничої маси [3].

Зазначені фактори приводять до погіршення показників роботи кар'єрних автосамоскидів, яке виражається в збільшенні витрат пального, зниженні середньотехнічної швидкості руху, збільшенні навантажень на вузли і агрегати кар'єрної техніки, подорожчання робіт з технічного обслуговування та ремонту, ускладненні процесів маневрування і навантаження автосамоскидів, що визиває збільшення тривалості транспортного циклу, та, в кінцевому підсумку, відображується в зростанні частки транспортних витрат в загальній собівартості видобутку.

Аналіз досліджень та публікацій. Значний внесок у розвиток теорії експлуатації, обслуговування, ремонту та забезпечення ефективного функціонування кар'єрного автотранспорту у

відповідності до гірничотехнічних умов зосереджений в роботах відомих вчених [1].

У той же час, на підставі досвіду виробників кар'єрних автосамоскидів і аналізу літературних джерел з досліджуваної проблеми можна зробити висновок про майже повну відсутність математичного апарату для визначення та прогнозування параметрів підприємств з експлуатації та технічного сервісу кар'єрних автосамоскидів, який враховував би особливості проведення технічного обслуговування та ремонту машин на місцях їх роботи силами сервісних та експлуатуючих підприємств, та виявляв би резерви підвищення якості обслуговування автосамоскидів.

Теоретичне обґрунтування засобів підвищення ефективності кар'єрної техніки за рахунок покращення маневрових показників при роботі в стиснених умовах також відсутнє.

Незважаючи на існуючі пропозиції з боку дослідників щодо зниження паливно-енергетичних витрат [1] автосамоскидів, що інтенсивно зростають з погіршенням умов експлуатації, останнє питання потребує особливої уваги.

Постановка задачі. Ґрунтуючись на вищевикладеному, актуальною задачею становиться розробка заходів, які були б направлені на підвищення ефективності роботи автотранспорту в контексті узгодження основних характеристик останніх з умовами розробки конкретного родовища.

Викладення матеріалу та результати. Пропонується розглянути дане питання у комплексі, що містить у собі три напрямки.

Перший напрямок передбачає підвищення якості обслуговування та мінімізацію витрат на підтримку та відновлення працездатного стану кар'єрних автосамоскидів.

Для вирішення цих питань вперше встановлені закономірності зміни сумарних транспортних та складських витрат, що дозволяють обґрунтовано визначати оптимальну кількість підприємств сервісної мережі, закономірності зміни сумарних витрат на проведення капітальних та поточних ремонтів для визначення рівня централізації виконання ремонтів в межах регіону, закономірності зміни надійності роботи агрегатів, за допомогою яких можна встановити необхідність, обсяги та строки проведення робіт з відновлення працездатного стану, обсяги поставок запасних частин від заводу-продуценту.

На основі існуючих напрацювань з сервісного обслуговування автомобілів загального користування із врахуванням того, що кар'єрні автосамоскиди не мають можливостей вільно пересуватися шляхами загального користування та особливостей системи технічного обслуговування та ремонту кар'єрних самоскидів, вдосконалені математичні моделі функціонування сервісних підприємств, що забезпечать працездатний стан та відновлення рухомого складу кар'єрного автомобільного транспорту, а саме сервісних центрів, авторемонтних заводів та гірничотранспортних цехів.

Цільова функція задачі визначення параметрів сервісних центрів з технічного обслуговування та ремонту кар'єрних самоскидів формулюється таким чином: мінімізувати сумарні транспортно-виробничі витрати, враховуючі, що сервісний центр з технічного обслуговування кар'єрних самоскидів включає функції опорного пункту (митного складу, філії)

$$\sum_{k=1}^A \sum_{l=1}^V \sum_{\varphi=1}^Q \sum_{\psi=1}^U h_{l\varphi\psi} \cdot C_{l\varphi\psi} \cdot N_{l\varphi\psi} \cdot S_{kN} + \dots + \sum_{k=1}^A \sum_{l=1}^V \sum_{\varphi=1}^Q \sum_{\psi=1}^U h_{l\varphi\psi} \cdot C_{l\varphi\psi} \cdot f \cdot (P_{l\varphi\psi}) \cdot S_p + \dots$$

$$+ \sum_{k=1}^A \sum_{l=1}^V \sum_{i=0}^5 B_{TOkil} \cdot C_{li} + \sum_{k=1}^A \sum_{l=1}^V \sum_{j=0}^3 B_{Pkil} \cdot C_{li} + \dots + \sum_{k=1}^A \sum_{l=1}^V \sum_{i=0}^5 T_{TOkil} \cdot Z_{li} + \sum_{k=1}^A \sum_{l=1}^V \sum_{j=0}^3 T_{Pkil} \cdot Z_{li} \rightarrow \min$$

де де A_k - кількість автогосподарств (пунктів зосередження кар'єрних самоскидів) ($k = 1, 2, \dots, A$), V_l - кількість кар'єрних автосамоскидів різних моделей ($l = 1, 2, \dots, V$), Q - кількість агрегатів кар'єрних автосамоскидів різних моделей ($\varphi = 1, 2, \dots, Q$), U - кількість вузлів і деталей кар'єрних автосамоскидів різних моделей ($\psi = 1, 2, \dots, U$), $h_{kl\varphi}$ - кількість агрегатів φ -го виду l -го кар'єрного автосамоскиду, що вимагає заміни в k -м автогосподарстві ($\varphi = 1, 2, \dots, Q$; $l = 1, 2, \dots, V$; $k = 1, 2, \dots, A$); $h_{kl\psi}$ - кількість вузлів і деталей ψ -го виду l -го кар'єрного автосамоскиду, що вимагає заміни в k -м автогосподарстві ($\psi = 1, 2, \dots, U$; $k = 1, 2, \dots, A$), $C_{k\varphi}$ - витрати на доставку та зберігання одиниці φ -го виду агрегатів в k -те автогосподарство ($k = 1, 2, \dots, A$; $\varphi = 1, 2, \dots, Q$); $C_{k\psi}$ - витрати на доставку та зберігання вузлів і деталей ψ -го виду в k -те автогосподарство ($k = 1, 2, \dots, A$; $\psi = 1, 2, \dots, U$); $N_{l\varphi\psi}$ - задані нормативи для визначення площі, необхідної для зберігання нормативних запасів вузлів та агрегатів, що приходяться на 100 кар'єрних автосамоскидів; $f(P_{l\varphi\psi})$ - функція параметру потоку відмов вузлів, агрегатів та деталей всіх кар'єрних автосамоскидів, що працюють в межах діяльності опорного пункту; S_{kN} - площа складу в k -му ($k = 1, 2, \dots, A$) автогосподарстві; S_p - площа складу в опорному пункті, C_{li} - транспортні витрати пов'язані з проведенням i -го виду технічного обслуговування l -ї моделі кар'єрного автосамоскиду; C_{lj} - транс-

портні витрати пов'язані з проведенням j -го виду ремонту l -ї моделі кар'єрного автосамоскиду; $T_{Токil}$ - трудомісткість проведення i -го виду технічного обслуговування l -ї моделі кар'єрного автосамоскиду k -го автогосподарства; T_{Pki} - трудомісткість проведення j -го виду ремонту l -ї моделі кар'єрного автосамоскиду k -го автогосподарства; Z_{li} - зарплата пов'язана з проведенням i -го виду технічного обслуговування l -ї моделі кар'єрного автосамоскиду; Z_{lj} - зарплата пов'язана з проведенням j -го виду ремонту l -ї моделі кар'єрного автосамоскиду.

Сумарні транспортні та складські витрати (рис. 1) мають параболічну залежність від кількості сервісних центрів та логарифмічну від ймовірності безвідмовної роботи кар'єрних автосамоскидів, тис. грн.

$$C_{TC} = 395,9 \cdot M_{CC}^2 - 5479 \cdot M_{CC} - 1060 \cdot \ln(P_i) - 16824$$

де M_{CC} - кількість сервісних центрів, P_i - ймовірність безвідмовної роботи кар'єрних автосамоскидів.

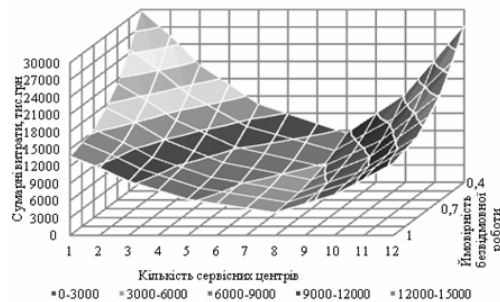


Рис. 1. Закономірність зміни сумарних витрат від кількості сервісних центрів та ймовірності безвідмовної роботи елементів кар'єрних автосамоскидів

Схематично процес капітального ремонту вузлів та агрегатів кар'єрних автосамоскидів можна представити сукупністю наступних процесів: розбирання кар'єрних автосамоскидів на агрегати; розбирання агрегатів на вузли і деталі; ремонт вузлів і деталей; збирання агрегатів з відремонтованих вузлів і деталей; збирання кар'єрних самоскидів з відремонтованих агрегатів, тобто продукція W , що поступає з автогосподарств на авторемонтне підприємство, включає: V - кар'єрні автосамоскиди різних моделей ($l = 1, 2, \dots, V$); Q - агрегати кар'єрних автосамоскидів різних моделей ($\varphi = 1, 2, \dots, Q$); U - вузли і деталі кар'єрних автосамоскидів різних моделей ($\psi = 1, 2, \dots, U$) $\in (V, Q, U)$. На кожне з можливих місць розміщення авторемонтних підприємств з A_k автотранспортних підприємств ($k = 1, 2, \dots, A$) поступає в ремонт W_η видів продукції ($\eta = 1, 2, \dots, W$).

Відомо, що весь ремонтний комплекс можна підрозділити на M_j самостійних процесів ($j = 1, 2, \dots, m$). Авторемонтні цехи можуть бути організовані як по будь-якому з j -х процесів, так і по будь-якій комбінації цих процесів.

Вимагається розмістити і організувати авторемонтне виробництво, таким чином, тобто знайти такий варіант розміщення і такий рівень його концентрації і спеціалізації, при якому б повністю задовольнялася потреба автогосподарств в ремонтах, а сума приведених витрат на виконання ремонтних робіт і сума транспортних витрат була б мінімальною, якщо відомо, що: A - кількість автогосподарств ($k = 1, 2, \dots, A$); n - кількість авторемонтних заводів ($i = 1, 2, \dots, n$); m - кількість процесів, на які можна підрозділити ремонтний комплекс ($j = 1, \dots, m$); $h_{\varphi ki}$ - кількість одиниць агрегатів φ -го виду, що доставляється з k -го автогосподарства на i -й завод ($i = 1, \dots, n$) визначена з урахуванням їх ймовірності безвідмовної роботи; $h_{\psi ki}$ - кількість одиниць вузлів і деталей ψ -го виду, що доставляється з k -го автогосподарства на i -й завод ($i = 1, \dots, n$) визначена з урахуванням їх ймовірності безвідмовної роботи; $P_{\varphi ki}$ - кількість одиниць агрегатів φ -го виду, що доставляється з i -го заводу в k -е автогосподарство ($k = 1, A$, $\varphi = 1, Q$) визначена з урахуванням їх ймовірності безвідмовної роботи; $P_{\psi ki}$ - кількість одиниць вузлів або деталей ψ -го виду, що доставляється з i -го заводу в k -е автогосподарство ($\psi = 1, U$, $i = 1, n$) визначена з урахуванням ймовірності безвідмовної роботи відремонтованих агрегатів; $X_{\varphi i}$ - кількість одиниць агрегатів φ -го виду, що розбирається на i -у заводі ($i = 1, n$, $\varphi = 1, Q$) визначена з урахуванням їх ймовірності безвідмовної роботи; $X_{\psi i}$ - кількість одиниць вузлів і деталей ψ -го виду, що ремонтується на i -му заводі ($i = 1, n$, $\psi = 1, U$) визначена з урахуванням їх ймовірності безвідмовної роботи; $X'_{\varphi i}$ - кількість одиниць агрегатів φ -го виду, що збирається на i -у заводі ($i = 1, n$, $\varphi = 1, Q$) визначена з урахуванням їх ймовірності безвідмовної роботи; $h_{\varphi ir}$ - кількість агрегатів φ -го виду, що доставляється з i -го заводу, що здійснює розбирання автомобілів на агрегати, на r -й завод, що здійснює розбирання агрегатів на вузли і деталі ($i = 1, n$, $r = 1, N$, $\varphi = 1, Q$); $h_{\psi ir}$ - кількість вузлів і деталей ψ -го виду, що доставляється з i -го заводу, що здійснює розбирання агрегатів, на r -й завод, що здійснює ремонт вузлів і деталей ($i = 1, n$, $r = 1, N$, $\psi = 1, U$); $Y_{\psi ir}$ - кількість одиниць вузлів і деталей ψ -го виду, що доставляється з i -го заводу, що здійснює ре-

монт вузлів і деталей, на r -й завод, що здійснює збірку агрегатів ($i = 1, n, r = 1, N, \psi = 1, U$); $Y'_{\psi ir}$ - кількість одиниць вузлів і деталей ψ -го виду, що доставляється з i -го заводу, що здійснює розбирання агрегатів, на r -й завод, що здійснює збирання агрегатів ($r = 1, N, \psi = 1, U$); $Y_{\phi ir}$ - кількість агрегатів ϕ -го виду, що доставляється з i -го заводу, що здійснює збирання агрегатів, на r -й завод, що здійснює збирання кар'єрних автосамоскидів ($i = 1, n, r = 1, N, \phi = 1, Q$); $H_{k\phi}$ - об'єм агрегатів ϕ -го виду, що вимагає ремонту в k -м автогосподарстві ($\phi = 1, 2, \dots, Q; k = 1, 2, \dots, A$); $H_{k\psi}$ - об'єм вузлів і деталей ψ -го виду, що вимагає ремонту в k -м автогосподарстві ($\psi = 1, 2, \dots, U; k = 1, 2, \dots, A$); $a_{ki\phi}$ - витрати на доставку одиниці ϕ -го виду агрегатів з k -го автогосподарства в i -й цех, що здійснює розбирання агрегатів на вузли і деталі ($k = 1, 2, \dots, A; i = 1, 2, \dots, n; \phi = 1, 2, \dots, Q$); $a_{ki\psi}$ - витрати на доставку вузлів і деталей ψ -го виду з k -го автогосподарства в i -й цех, який здійснює ремонт вузлів і деталей ($k = 1, 2, \dots, A; i = 1, 2, \dots, n; \psi = 1, 2, \dots, U$); $b_{ki\phi}$ - витрати на доставку одного агрегату ϕ -го виду в i -й цех, який здійснює збирання агрегатів, в k -е автогосподарство ($k = 1, 2, \dots, A; i = 1, 2, \dots, n; \phi = 1, 2, \dots, Q$); $b_{ki\psi}$ - витрати на доставку одного вузла або деталі ψ -го виду з i -й цеху, який здійснює ремонт вузлів і агрегатів, в k -е автогосподарство ($k = 1, 2, \dots, A; i = 1, 2, \dots, n; \psi = 1, 2, \dots, U$); $d_{\phi ir}$ - витрати на доставку одного агрегату ϕ -го виду від i -го заводу на r -й завод ($i = 1, 2, \dots, n, r = 1, 2, \dots, n$); $d_{\psi ir}$ - витрати на доставку одного вузла або деталі ψ -го виду від i -го цеху в r -й цех ($i = 1, 2, \dots, n, r = 1, 2, \dots, n$); T_{il} - максимально можливий об'єм розбирання l -й моделі на агрегати в i -му цеху ($l = 1, 2, \dots, W; i = 1, 2, \dots, n$); $T_{i\phi}$ - максимально можливий об'єм розбирання агрегатів ϕ -го виду в i -у цеху ($i = 1, n; \phi = 1, Q$); $T'_{i\phi}$ - максимально можливий об'єм збирання агрегатів ϕ -го виду в i -у цеху ($i = 1, n; \phi = 1, Q$); $T_{i\psi}$ - максимально можливий об'єм ремонту вузлів і деталей ψ -го виду на i -м заводі; $C_{\phi}(T)$ - задані функції приведених витрат, що приходяться на розбирання одиниці агрегатів кожного виду ϕ на вузли і деталі ($\phi = 1, Q$); $C_{\psi}(T)$ - задані функції приведених витрат, що приходяться на ремонтну дію на кожну одиницю ψ -го виду вузла або деталі ($\psi = 1, U$); $C_{\phi}'(T)$ - задані функції приведених витрат, що приходяться на збирання одиниці агрегату ϕ -го виду ($\phi = 1, Q$); $\alpha_l(T)$ - задані функції питомої площі, необхідної для збірки одиниці кар'єрного автосамоскиду l -й моделі ($l = 1, W$); $\alpha_{\phi}(T)$ - задані функції питомої площі, необхідної для розбирання одиниці агрегату ϕ -го виду ($\phi = 1, Q$); $\alpha_{\phi}'(T)$ - задані функції питомої площі, необхідної для збірки одиниці агрегату ϕ -го виду ($\phi = 1, Q$); $\alpha_{\psi}(T)$ - задані функції питомої площі, необхідної для виконання ремонтних робіт вузла агрегату ψ -го виду ($\psi = 1, U$); ω - коефіцієнт, що вказує на об'єм продукції, яка після розбирання поступає в металобрухт; β - коефіцієнт, що вказує на об'єм продукції, яка після розбирання піддається ремонтній дії; γ - коефіцієнт, що вказує на об'єм продукції, яка не вимагає ремонтної дії.

Необхідно визначити кількість авторемонтних заводів при яких сумарні витрати на проведення капітальних ремонтів агрегатів будуть мінімальними, тобто, необхідно мінімізувати наступну функцію

$$\sum_k \sum_i \left[\sum_{\phi} (h_{\phi ki} \cdot a_{\phi ki} + P_{\phi ki} \cdot b_{\phi ki}) + \sum_{\psi} (h_{\psi ki} \cdot a_{\psi ki} + P_{\psi ki} \cdot b_{\psi ki}) \right] + \dots + \sum_i \sum_r \left[\sum_{\psi} d_{\psi ir} \cdot (h_{\psi ir} + Y_{\psi ir}) + \sum_{\phi} d_{\phi ir} \cdot (h_{\phi ir} + Y_{\phi ir}) \right] + \dots + \sum_i \sum_l [C_{li}(T_l) X_{li} + C'_{li}(T_l) X'_{li}] + \sum_{\phi} \sum_i [C_{\phi}(T_{\phi}) \cdot X_{\phi} + C'_{\phi}(T_{\phi}) X'_{\phi}] + \dots + \sum_{\psi} \sum_i [C_{\psi}(T_{\psi}) X_{\psi}] \rightarrow \min$$

Розв'язання поставленої задачі здійснено шляхом перебору варіантів можливого розташування авторемонтних заводів в місцях знаходження сервісних центрів при забезпеченні ймовірності безвідмовної роботи відремонтованих агрегатів на рівні 0,90.

Вперше встановлені параболічні закономірності ($R^2=0,983-0,985$) зміни сумарних витрат від кількості авторемонтних заводів (рис. 2) для виконання капітальних ремонтів агрегатів кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 30-45 т за окремими машинами та загалом, млн.грн:

для 30 т машин	$C_{B30} = 0,747 \cdot n^2 - 7,988 \cdot n + 26,31$
для 45 т машин	$C_{B45} = 0,385 \cdot n^2 - 4,115 \cdot n + 13,55$
для 30 та 45 т машин	$C_{B30+45} = 1,132 \cdot n^2 - 12,10 \cdot n + 39,87,$

де n - кількість авторемонтних заводів.

Аналіз географічного розташування показує, що доцільним є використання потужностей машинобудівних та механічних заводів у містах Кривий Ріг, Донецьк, Сімферополь, Рівне.

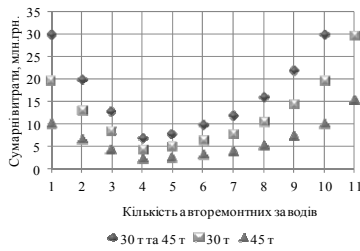


Рис. 2. Закономірності зміни сумарних витрат від кількості авторемонтних заводів

Для прогнозування надійності роботи агрегатів вперше за даними ТЗВ «Кривбас-БелАЗ-Сервіс СП» та гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу встановлені закономірності зміни ймовірності безвідмовної роботи вузлів та агрегатів кар'єрних автосамоскидів БелАЗ-75405, БелАЗ-75485 від пробігу які мають вид кубічних парабол виду (рис. 3)

$$Y=A_3 \cdot x^3 + A_2 \cdot x^2 + A_1 \cdot x + A_0$$

де A_3, A_2, A_1, A_0 - коефіцієнти, (табл. 2), x - пробіг з початку експлуатації, тис.км.

Таблиця 1

Коефіцієнти кубічної параболи закономірності зміни ймовірності безвідмовної роботи агрегатів кар'єрних автосамоскидів БелАЗ-75405 від пробігу та коефіцієнти кореляції емпіричної та теоретичної функцій

	A_3	A_2	A_1	A_0	Коефіцієнт кореляції
Гідромеханічна передача	$2 \cdot 10^{-6}$	-0,0001	-0,0159	1,071	0,958
Проміжний вал	$3 \cdot 10^{-6}$	-0,0003	-0,0104	1,057	0,959
Реактивна штанга	$4 \cdot 10^{-6}$	-0,0005	-0,0011	1,035	0,963
Циліндр підвіски	$3 \cdot 10^{-6}$	-0,0003	-0,0072	1,055	0,961

Встановлено, що основні вузли та агрегати, які виходять з ладу у першу чергу на автосамоскидах з гідромеханічною трансмісією це: циліндри підвіски та реактивні штанги; на автосамоскидах з електромеханічною трансмісією: тяговий генератор ГПА-600, тяговий електродвигун ДК-722, генератор-збудник ДК-913, редуктор мотор-колеса, маточина переднього колеса.

До впровадження технічного сервісу відремонтовані агрегати до відмови працюють в 2-3 рази менше нових, що спостерігається за всіма основними агрегатами і це доводить низьку якість ремонтів агрегатів в умовах кожного окремого автогосподарства і необхідність у створенні сервісної мережі.

Другий напрямок полягає у підвищенні ефективності роботи кар'єрних автосамоскидів за рахунок зниження паливно-енергетичних витрат. Для машин вантажопідійомністю 30-90 т з гідромеханічною передачею, рішенням виступає узгодження параметрів «двигун-трансмісія», із яких одним з головних є сумарне передаточне число трансмісії, у відповідності до середнього повздовжнього ухилу кар'єрних доріг.

Враховуючи одну з особливостей використання кар'єрних автосамоскидів, а саме відносну постійність дорожніх умов за весь строк експлуатації машини, незважаючи на зміну параметрів кар'єрного простору, автосамоскид можна розглядати як спеціалізований транспортний засіб по відношенню до дорожніх умов, одним з головних з яких є повздовжній ухил трас, що обмежує тягово-швидкісні властивості машини. Отже, трансмісія виступає тим механізмом, параметри якого безпосередньо визначаються дорожніми умовами конкретного кар'єру.

Основними механізмами гідромеханічної трансмісії кар'єрних автосамоскидів є: гідромеханічна передача (ГМП), головна передача (ГП), бортові редуктори (БР), а параметром - передаточне число, яке визначається як добуток передаточних чисел БР, ГП, та ввімкнутої передачі ГМП.

На основі проведених тягово-динамічних розрахунків, кар'єрного автосамоскиду БелАЗ серії 7547 з гідромеханічною трансмісією, що оснащений двигуном ЯМЗ-240 НМ2, виявлено безпосередній вплив передаточного числа трансмісії на витрати пального залежно від дорожніх умов експлуатації (рис. 3).

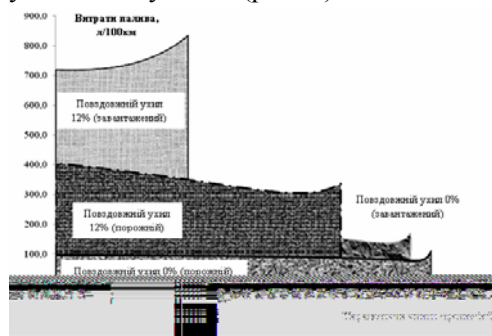


Рис. 3. Лінійна витрата палива від передаточного числа трансмісії для різних повздовжніх ухилів доріг

У результаті аналізу отриманих залежностей витрат палива від передаточного числа трансмісії, встановлено, що для однакових повздовжніх ухилів доріг в порожньому стані кар'єрного автосамоскиду, оптимальні значення передаточних чисел мають менші значення, ніж в завантаженому: відповідно для ухилу 0 % - 13 і 20, для ухилу 12 % - 41 і 96. Це пояснює той факт,

що машина в завантаженому стані на одній трасі рухається на нижчих передачах, з меншою швидкістю і витрачає більшу кількість палива, ніж порожня.

Отже, для певних дорожніх умов існує своє оптимальне передаточне число, яке забезпечує роботу кар'єрного автосамоскиду в режимі мінімальної витрати палива.

Експлуатація кар'єрного автосамоскиду з оптимальним сумарним передаточним числом трансмісії можлива шляхом установки необхідних вузлів та агрегатів безпосередньо в умовах гірничотранспортних цехів при залученні комплектуючих з власного ремонтного фонду, якщо такі є в наявності. Даний напрямок є актуальним, так як його можна віднести до маловитратних та швидкоокупних заходів.

Третій напрямок ґрунтується на покращенні маневрових показників технологічного авто-транспорту, а саме великовантажних автосамоскидів вантажопідйомністю 130-136 т з електро-механічною трансмісією на змінному струмі, яка дозволяє управляти обертанням ведучих коліс окремо лівого та правого бортів. Для використання даної переваги трансмісії пропонується при маневруванні в стиснених умовах при виконанні певних умов поєднувати поворот за рахунок передніх керованих коліс та елементи бортового повороту, що реалізуються у вигляді регулювання швидкостей обертання ведучих коліс по спеціально розробленому алгоритму з постійним контролем за буксуванням останніх, що призводить до силового довороту машини.

Теоретично обґрунтування можливості застосування комбінованого повороту проведено, виходячи з моделі елементарної контактної сили dS , що створює момент опору повороту (рис. 4)

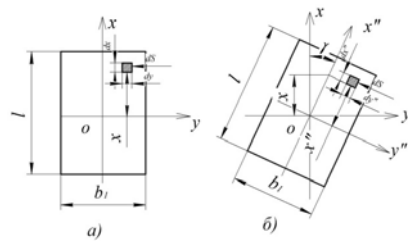


Рис.4. Модель контактної сили, що створює момент опору повороту: а- для неповоротного ведучого колеса; б- для керованого веденого колеса

Момент опору повороту кар'єрного автосамоскиду в залежності від навантажень на колеса, кутів повороту передніх коліс, розмірів плями контакту та коефіцієнту зчеплення між шиною та опорною поверхнею, враховуючі розміри плями контакту подвоєних шин задньої осі, Н·м

$$M_{\text{он}} = \frac{\varphi \cdot m \cdot g \cdot b \cdot b_1^l}{b_1 \cdot l \cdot 2 \cdot L} \int_0^l \int_0^{b_1} \frac{x}{\cos(\gamma_1)} dx dy + \frac{\varphi \cdot m \cdot g \cdot b \cdot b_2^l}{b_2 \cdot l \cdot 2 \cdot L} \int_0^l \int_0^{b_2} \frac{x}{\cos(\gamma_2)} dx dy + \dots + \frac{\varphi \cdot m \cdot g \cdot a \cdot b_1^l}{2 \cdot b_1 \cdot l \cdot 2 \cdot L} \int_0^l \int_0^{b_1} x dx dy + \frac{\varphi \cdot m \cdot g \cdot a \cdot b_2^l}{2 \cdot b_2 \cdot l \cdot 2 \cdot L} \int_0^l \int_0^{b_2} x dx dy \quad (1)$$

де φ - коефіцієнт зчеплення опорної поверхні; m - маса машини, кг; a, b - координати центру ваги знарядженого автосамоскиду, м; L - колісна база, м; b_1, l - ширина та довжина плями контакту колеса відповідно, м; γ_1, γ_2 - кути повороту зовнішнього та внутрішнього до центру повороту колеса відповідно, град.

Якщо спростити вираз (1), то остаточно

$$M_{\text{он}} = \frac{\varphi \cdot m \cdot g}{2 \cdot b_1 \cdot l \cdot L} \int_0^l \int_0^{b_1} x dx dy \cdot \left(a + \frac{b}{\cos(\gamma_1)} + \frac{b}{\cos(\gamma_2)} \right)$$

Враховуючі кінематичні залежності, які характерні для повороту, вираз моменту опору та залежності для силових факторів, встановлено відношення обертання ведучих коліс

$$\lambda = \frac{M_{\text{кр3}}}{r_d} + \frac{\frac{\varphi \cdot m \cdot g}{b_1 \cdot l \cdot L} \int_0^l \int_0^{b_1} x dx dy \cdot \left(a + \frac{b}{\cos(\gamma_1)} + \frac{b}{\cos(\gamma_2)} \right)}{B_2} \bigg/ \frac{M_{\text{кр4}}}{r_d} - \frac{\frac{\varphi \cdot m \cdot g}{b_2 \cdot l \cdot L} \int_0^l \int_0^{b_2} x dx dy \cdot \left(a + \frac{b}{\cos(\gamma_1)} + \frac{b}{\cos(\gamma_2)} \right)}{B_2} \quad (2)$$

де λ - відношення обертання колеса, що забігає, до обертання колеса, що відстає, $M_{\text{кр3}}, M_{\text{кр4}}$ - крутний момент колеса, що забігає, та колеса, що відстає, відповідно, Н·м.

Рівняння (2) є пропонованим законом управління обертанням ведучих коліс при комбінованому повороті кар'єрного автосамоскиду.

Одержаний закон входить до блоку алгоритму безступінчастого регулювання обертання ведучих коліс у відповідності до динаміки коефіцієнту зчеплення опорної поверхні, утвореною гірничими породами.

Виходячи з одержаного рівняння (2), можна встановити залежності радіусу повороту та інших геометричних показників маневреності (рис. 5) від коефіцієнту зчеплення опорної поверхні та крутних моментів ведучих коліс.

Радіус повороту при управлінні за законом (2)

$$R_{II} = \frac{\frac{M_{кр3}}{r_d} \cdot B_2 + \frac{\varphi \cdot m \cdot g}{b_1 \cdot l \cdot L} \int_0^l \int_0^b x dx dy \cdot \left(a + \frac{b}{\cos(\gamma_1)} + \frac{b}{\cos(\gamma_2)} \right)}{\frac{M_{кр3}}{r_d} - \frac{M_{кр4}}{r_d} + 2 \cdot \frac{\frac{\varphi \cdot m \cdot g}{b_1 \cdot l \cdot L} \int_0^l \int_0^b x dx dy \cdot \left(a + \frac{b}{\cos(\gamma_1)} + \frac{b}{\cos(\gamma_2)} \right)}{B_2}} \cdot \frac{1}{\cos(\gamma_1)} \quad (3)$$

Відстань від центру повороту до осі внутрішнього до центру повороту колеса, м

$$R_1 = \frac{\frac{M_{кр4}}{r_d} \cdot B_2 - \frac{\varphi \cdot m \cdot g}{b_1 \cdot l \cdot L} \int_0^l \int_0^b x dx dy \cdot \left(a + \frac{b}{\cos(\gamma_1)} + \frac{b}{\cos(\gamma_2)} \right)}{\frac{M_{кр3}}{r_d} - \frac{M_{кр4}}{r_d} + 2 \cdot \frac{\frac{\varphi \cdot m \cdot g}{b_1 \cdot l \cdot L} \int_0^l \int_0^b x dx dy \cdot \left(a + \frac{b}{\cos(\gamma_1)} + \frac{b}{\cos(\gamma_2)} \right)}{B_2}} \quad (4)$$

Відстань від центру повороту до осі зовнішнього до центру повороту колеса, м

$$R_2 = \frac{\frac{M_{кр3}}{r_d} \cdot B_2 + \frac{\varphi \cdot m \cdot g}{b_1 \cdot l \cdot L} \int_0^l \int_0^b x dx dy \cdot \left(a + \frac{b}{\cos(\gamma_1)} + \frac{b}{\cos(\gamma_2)} \right)}{\frac{M_{кр3}}{r_d} - \frac{M_{кр4}}{r_d} + 2 \cdot \frac{\frac{\varphi \cdot m \cdot g}{b_1 \cdot l \cdot L} \int_0^l \int_0^b x dx dy \cdot \left(a + \frac{b}{\cos(\gamma_1)} + \frac{b}{\cos(\gamma_2)} \right)}{B_2}} \quad (5)$$

Відстань від центру повороту до поздовжньої осі машини, м

$$R = \frac{\frac{M_{кр3}}{r_d} \cdot B_2 + \frac{M_{кр4}}{r_d} \cdot B_2}{2 \cdot \frac{M_{кр3}}{r_d} - 2 \cdot \frac{M_{кр4}}{r_d} + 4 \cdot \frac{\frac{\varphi \cdot m \cdot g}{b_1 \cdot l \cdot L} \int_0^l \int_0^b x dx dy \cdot \left(a + \frac{b}{\cos(\gamma_1)} + \frac{b}{\cos(\gamma_2)} \right)}{B_2}} \quad (6)$$

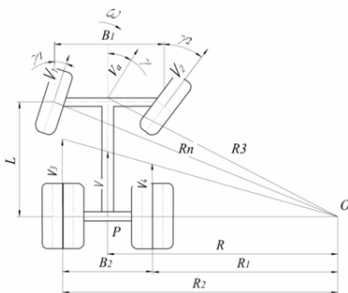


Рис. 5. Кінематика повороту кар'єрного автосамоскиду

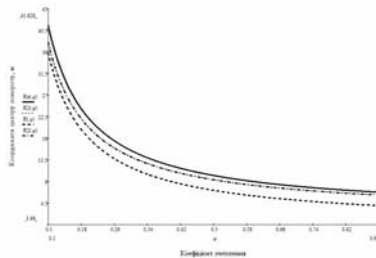


Рис. 6. Залежності координат центру повороту від коефіцієнту зчеплення шини з опорною поверхнею при безступінчастому регулюванні кутових швидкостей ведучих коліс

Отримана графічна інтерпретація залежностей (3)-(6) для автосамоскиду БелАЗ серії 7513 в пакеті прикладної та символічної математики MathCAD 15 виявляє можливості регулювання радіусу повороту та інших відстаней від центру повороту до відповідних габаритних точок машини при безступінчастому управлінні обертанням ведучих коліс залежно від динаміки коефіцієнту зчеплення шини з опорною поверхнею кар'єрів (рис. 6).

При розгляді впливу характеристик опорної поверхні на показники маневреності з (див. рис. 6), слід зазначити, що при повороті кар'єрного автосамоскиду на не ущільненому вологому ґравію ($\varphi=0,36$) відношення кутових швидкостей менше мінімального, необхідного для узгодження останнього з граничним кутом повороту передніх коліс (1,58), тому мінімальний радіус повороту автосамоскиду БелАЗ-7513 збільшується порівняно з радіусом, прийнятим з технічної характеристики машини (13,0 м) на 2,3% (0,4 м) до 13,4 м, при повороті на поверхні, вкритою снігом ($\varphi=0,20$) – на 69,2% (9 м) до 22,0 м, на поверхні, вкритою льодом ($\varphi=0,12$) – на 169% (22 м) до 35 м. Останні показники пояснюються втратою значної долі тягових сил при ковзанні ведучих коліс, яке відбувається при зменшенні коефіцієнту зчеплення, що призводить до вирівнювання швидкостей обертання зовнішнього та внутрішнього до центру повороту колеса, та, як наслідок, до уводу автосамоскиду на зовнішній радіус. Оскільки траєкторія повороту в такому випадку близька до траєкторії прямолінійного руху, можна зробити висновок про втрату керуваності машини на перелічених поверхнях.

На пухкому ґрунті з коефіцієнтом зчеплення 0,45 при використанні комбінованої схеми

управління мінімальний радіус повороту може бути зменшений на 14,6 % (1,9 м) до 11,1 м, на щільному ґрунті ($\varphi=0,55$) на 26 % (3,4 м) до 9,6 м, а на кар'єрному ґрунті ($\varphi=0,65$) - на 35 % (4,6 м) до 8,4 м.

Максимальна величина зменшення мінімального радіусу повороту становить 43,1 % (на 5,6 м), що відповідає максимальному коефіцієнту зчеплення асфальтобетонних магістральних доріг. Отже, діапазон зміни мінімального радіусу повороту становить 13,4-7,4 м.

За допомогою отриманих залежностей радіусу повороту та інших координат центру повороту від коефіцієнту зчеплення шини кар'єрного автосамоскиду з опорною поверхнею можна також враховувати випадок попадання окремого ведучого колеса на поверхню з різними зчіпними властивостями φ_3 та φ_4 , так званий мікст.

У такому разі функціональна залежність представляє собою поверхню, вертикальна координата якої визначається як мінімальний радіус повороту в залежності від співвідношення між коефіцієнтами зчеплення окремого ведучого колеса (рис.7).

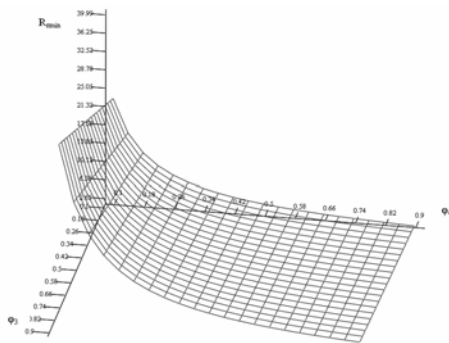


Рис. 7. Залежності мінімального радіусу повороту від коефіцієнту зчеплення окремого колеса з опорною поверхнею при безступінчастому регулюванні кутових швидкостей ведучих коліс

Висновки. Основні результати досліджень полягають у такому.

Удосконалено математичні моделі діяльності автогосподарств та сервісних підприємств, які відрізняються врахуванням обов'язкового проведення робіт з технічного обслуговування і ремонту кар'єрних автосамоскидів в місцях експлуатації, завдяки чому визначені параболічні від кількості підприємств та логарифмічні

від ймовірності безвідмовної роботи машин закономірності зміни сумарних транспортних та складських витрат підприємств, що забезпечують працездатний стан кар'єрних автосамоскидів.

Мінімуми цільових функцій витрат спостерігаються при 8-10 опорних пунктах, 5-7 сервісних центрах та 4 авторемонтних заводах.

Дістали подальшого розвитку й поглиблення показники надійності роботи вузлів та агрегатів кар'єрних автосамоскидів БелАЗ з гідромеханічною трансмісією вантажопідйомністю 30-45 т та з електромеханічною трансмісією вантажопідйомністю 120 т, які дозволяють проводити обґрунтоване планування обсягів поставок запасних частин на всі автогосподарства України від заводу-продуцента та обсягів ремонтних робіт по відновленню працездатного стану машин.

Встановлено залежності витрат палива від сумарного передаточного числа трансмісії кар'єрних автосамоскидів з гідромеханічною передачею, які дозволяють підібрати оптимальне передаточне число до конкретних дорожніх умов кар'єру.

Теоретично обґрунтована можливість застосування комбінованого повороту на кар'єрних автосамоскидах з електромеханічною трансмісією при виконанні певних умов, який полягає в поєднанні безступінчастого управління обертанням ведучих коліс з поворотом передніх керованих коліс.

Використання комбінованого повороту на кар'єрних автосамоскидах виробництва БелАЗ серії 7513 як додатковий дозволяє підвищити маневреність машин при установці під навантаження завдяки зменшенню мінімального радіусу повороту від 13,4 до 8,4 м при діапазоні коефіцієнтів зчеплення опорних поверхонь маневрових та робочих площадок кар'єрів від 0,36 до 0,65.

Список літератури

1. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / **Маринов П. Л., Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В.** – СПб: Наука, 2004.
2. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. – К.: Міністерство промислової політики України, 2007. – 224с.
3. План развития сырьевой базы Северного горно-обогатительного комбината до 2015 года. Анновский карьер. ОАО «Укрспирода». - 108 с.

Рукопис подано до редакції 04.03.14