

А.В.Веснін, Ю.А.Монастирський
ДВНЗ "Криворізький національний університет"
ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРЕДАТОЧНИХ ЧИСЕЛ РЕДУКТОРА
ЕЛЕКТРОМОТОРКОЛЕСА КАР'ЄРНОГО САМОСКИДА У ВІДПОВІДНОСТІ ДО
СКЛАДНОСТІ ТРАС РУХУ

Аналітично встановлені раціональні передаточні числа редуктора електромоторколеса кар'єрних самоскидів вантажопідйомністю 130 т для роботи на трасах в різних зонах кар'єру у відповідності з ухилами та радіусами поворотів.

Ключові слова: Кар'єрні самоскиди, гірничотехнічні умови роботи, передаточне число редуктора електромоторколеса, підвищення продуктивності роботи.

Рис. 6. Табл. 2. Форм. 4. Літ 4.

Аналитически установлены рациональные передаточные числа редуктора электромоторколеса карьерных самосвалов грузоподъемностью 130 т для работы на трасах в различных зонах карьера с соответствующими им уклонами и радиусами поворотов.

There are the results of the main parameters of motor transport traffic routes in a typical deep pit of Krivoy Rog region. The influence of pit trucks transmission ratio changing was determined to their traction and speed properties and performance. The necessity of transmission ratio choice relative to the mining conditions for increasing of the engine capacity usage was justified. The 130 ton pit trucks rational transmission ratios were determined based on the theoretical studies to operate on the routes with appropriate slopes and turning radiuses in different pit areas. In the considered operating conditions the usage of electromotor wheel gear reduction with the ratio of 30.36 will leads to 8.2% increase in productivity of the machine compared with the pit truck equipped with the gear reduction ratio of 38.

Постановка проблеми. Розвиток відкритого способу розробки корисних копалин супроводжується зростанням концентрації виробництва, збільшенням глибини й просторових розмірів кар'єрів, відстаней й складності транспортування гірничої маси. На фоні погіршення гірничотехнічних умов експлуатації одночасно спостерігається достатньо динамічне оновлення та збільшення парку кар'єрних самоскидів з електромеханічною трансмісією (ЕМТ). До сучасних самоскидів з ЕМТ пред'являються більше високі вимоги в області тягово-швидкісних характеристик, електричних навантажень, нагріву електроустаткування, а також паливної економічності. Саме на цьому підґрунті задача підвищення ефективності використання потенціалу кар'єрного транспорту великої вантажопідйомності стає ще більш гострою. Одним з рішень, на наш погляд, є вибір оптимального для певних умов експлуатації передаточного числа редуктора мотор-колеса (РМК), оскільки енергетична ефективність тягового електроприводу (ТЕП) і продуктивність самоскида залежать від кута підйому технологічної траси й швидкості обертання ведучих коліс у тяговому режимі, що при використанні однакових силових установок визначається передаточним числом РМК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що продуктивність кар'єрних самоскидів, насамперед, залежить від швидкості їхнього руху й вантажопідйомності. Найбільше впливають на швидкість руху ширина проїзної частини дороги, величина поздовжніх ухилів, якість покриття, інтенсивність руху. Швидкість руху є основним регульованим параметром роботи самоскиду, що визначає не тільки продуктивність, але й паливну економічність, а також динаміку зношування вузлів і агрегатів. Як відомо, раціональною швидкістю виступає швидкість, при якій досягається максимально можлива продуктивність у даних умовах, тобто максимальна швидкість за умови дотримання правил безпеки й обмеження нагріву електричних машин. Тому за критерій оптимізації режиму експлуатації самоскидів у кар'єрі приймають максимальну середньорічну продуктивність [1]:

$$Q_{срз} = f(L, H, i_c, f_{ск}, N_{уддв}, v_{срм}, P(t)) \rightarrow \max \quad (1)$$

де L - середньозважена відстань транспортування, км; H - середньозважена висота підйому вантажу, м; i_c - середній ухил траси, %; $f_{ск}$ - середньозважений опір коченню, $N_{уддв}$ - питома потужність дизеля, кВт/т; $v_{срм}$ - середньотехнічна швидкість самоскида, км/год; $P(t)$ - імовірність безвідмовної роботи самоскида, що визначається у відповідності до навантажувальних режимів роботи вузлів і систем.

Одним зі шляхів підвищення ефективності використання кар'єрного автотранспорту можна вважати збільшення швидкості його руху. Основні міри, які спрямовані на підвищення швидкості руху самоскидів поділяються на чотири великі групи: технологічні, гірничотехнічні, дорожні й конструктивні [1].

Швидкість самоскида обладнаного ЕМТ визначається частотою обертання вала тягового двигуна (ТЕД) залежно від передаточного числа РМК [2]:

$$v = \frac{n \cdot 2 \cdot 0,06 \cdot \pi \cdot R_k}{\mu_p} \quad (2)$$

де n - частота обертання вала ТЕД, μ_p - передаточне число РМК; R_k - кінематичний радіус колеса.

Необхідне передаточне число РМК, що забезпечить підвищені швидкісні властивості, залежно від експлуатаційних умов буде коливатися від мінімального до максимального у межах, габаритних розмірів корпусу РМК. Але, до сьогоднішнього дня ні сам виробник, ні узагальнення досвіду експлуатації зазначених машин в різних гірничотехнічних умовах **не дають рішення щодо чіткого визначення** ефективного передаточного числа РМК для відповідних гірничотехнічних умов роботи.

Метою дослідження є визначення ефективного передаточного числа РМК у відповідності до умов експлуатації самоскидів у кар'єрі, що дозволить підвищити середньотехнічну швидкість руху завдяки більш повному використанню потенціалу силової установки. Для досягнення поставленої мети сформульовані завдання:

- Визначити дорожньо-транспортні умови експлуатації великовантажних самоскидів на прикладі Гіннівського кар'єру ПАТ «Північний ГЗК».

- Установити вплив передаточного числа РМК на тягові-швидкісні властивості самоскидів з ЕМТ, виходячи з того, що продуктивність кар'єрного автотранспорту залежить, насамперед, від середньотехнічної швидкості руху.

- На основі отриманих результатів вибрати й обґрунтувати передаточне число РМК, що буде ефективним для заданих умов експлуатації.

Виходячи із причинно-наслідкового зв'язку між гірничотехнічними і дорожніми умовами, а також типом ТЕП працюючих машин, були визначені наступні характеризуючі параметри для Гіннівського кар'єру ПАТ «Північний ГЗК»: відстань транспортування гірничої маси, км; довжина ухилів на трасі, км; середній і максимальний ухил шляху, %.

Ухил кар'єрної дороги визначався виходячи з висотних оцінок плану гірничих робіт у кар'єрі за допомогою формули:

$$i = \frac{H_2 - H_1}{L} \quad (3)$$

де i - ухил кар'єрної дороги, %; H_2 - висота наприкінці траси, м; H_1 - висота на початку траси, м; L - довжина ділянки траси, м.

Характер розподілу ухилів трас від 0% до 15% представлений в таблиці 1, а дорожньо-транспортні умови експлуатації самоскидів у кар'єрі в таблиці 2.

На основі проведеного аналізу були обрані сім найбільш типових трас руху, які характеризують всю дорожню мережу кар'єру.

Основним технологічним автотранспортом Ганнівського кар'єру є самоскиди Белаз-75145 і Белаз-75131, які оснащено ЕМТ з передаточним числом РМК 30,36. Також на ці машини можлива установка РМК із передаточним числом, рівним 38 [2].

Більшу частину робочого часу самоскиди рухаються з номінальним завантаженням від вибою до перевантажувального пункту на підйом [1]. Шлях транспортування розбивався на елементарні ділянки різної довжини з умовно однаковими дорожніми умовами, насамперед, ухилом і опором коченню, формула якого залежно від швидкості наведена в технічному описі ТЕП [2]. Визначення швидкості при русі самоскида БелАЗ-75131 на підйом на кожному елементі ділянок трас при різних передаточних числах РМК проводилось графоаналітичним методом на основі попередніх тягово-швидкісних розрахунків [3] з урахуванням поправочних коефіцієнтів, які встановлені в результаті експериментальних досліджень: при відстані транспортування до 3 км швидкість по граничній

динамічній характеристиці на кожному елементі траси зменшується в 1,3 рази, більше 3 км - в 1,2 рази. При цьому були прийняті такі допущення: несталі режими руху на ділянках траси відсутні ($\frac{dv}{dt} = 0$); потужність дизеля при транспортуванні (тяговий режим) використовується повністю [1].

Даний метод із введенням поправочних коефіцієнтів дає більше точні результати при порівнянні різних модифікацій однотипних самоскидів, що фактично і є метою дослідження.

Таблиця 1.

Розподіл уклонів доріг по Ганнівському кар'єру

| № п/п | Ухил, % | Довжина траси, L, м. | Частка трас з ухилом у загальній довжині кар'єрних доріг, % |
|-------|---------|----------------------|---|
| 1 | 0 | 16819 | 56,3 |
| 2 | 0,03 | 840 | 2,8 |
| 3 | 0,05 | 940 | 3,1 |
| 4 | 0,06 | 1334 | 4,5 |
| 5 | 0,07 | 8340 | 27,9 |
| 6 | 0,08 | 430 | 1,4 |
| 7 | 0,09 | 860 | 2,9 |
| 8 | 0,11 | 130 | 0,4 |
| 9 | 0,15 | 200 | 0,7 |
| 10 | | 29893 | 100,0 |

Таблиця 2

Дорожньо-транспортні умови експлуатації самоскидів в Ганнівському кар'єрі.

| № п/п | Параметр | Значення параметра |
|-------|--|--------------------|
| 1 | Довжина кар'єру, м | 5000 |
| 2 | Ширина кар'єру, м | 1200 |
| 3 | Глибина кар'єру, м | 260 |
| 4 | Середня відстань транспортування гірничої маси, км | 3,7 |
| 5 | Середньозважений ухил, % | 6,82 |
| 6 | Максимальний ухил, % | 15,0 |
| 7 | Середня висота підйому гірничої маси, м | 135 |

Порівняння граничних динамічних характеристик самоскида, отриманих у результаті тягового розрахунку ЕМТ самоскида Белаз-75131 при повному завантаженні, залежно від передаточного числа РМК представлено на рис. 1.

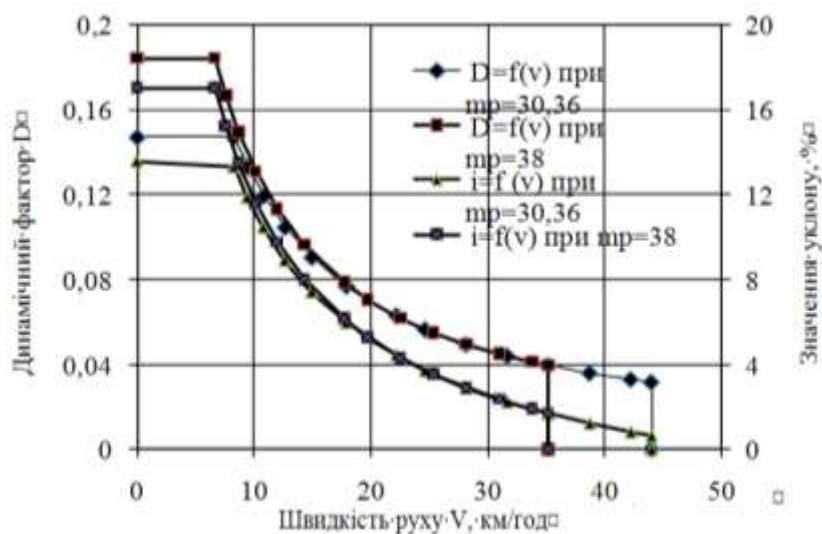


Рис 1. Граничні динамічні характеристики самоскиду БелАЗ -75131 при застосуванні РМК з передаточними числами $\mu_p=30$ та $\mu_p=38$

Відповідно до динамічної характеристики, самоскид із передаточним числом РМК 38 має більші значення динамічного фактору, тому використання даного редуктора раціонально в умовах надглибоких кар'єрів, тобто при експлуатації машин на максимальних ухилах коли висота підйому гірничої маси, обмежена граничною температурою нагріванням електричних машин. Максимальний ухил, що може бути подоланий самоскидом з передаточним числом РМК рівним 38, досягає 17%, а з передаточним числом РМК 30,36 - 15%.

Середньотехнічна швидкість руху машини у вантажному напрямку з урахуванням ухилу й глибини кар'єру розрахована за допомогою формули [4]:

$$v_c = \frac{L_g + (H/i_c)}{[L_g/v_{mz} + (1/v_{mi}) \cdot (H/i_c)] \cdot K} \quad (4)$$

де L_g – сумарна довжина горизонтальних ділянок траси, км; H – глибина кар'єру, м; i_c – середній ухил похилих ділянок траси; v_{mz} , v_{mi} – технічні швидкості руху відповідно на горизонтальних ділянках і ділянках з ухилом, км/год; K – поправочний коефіцієнт зменшення реальної швидкості в порівнянні з розрахунковою.

Технічні швидкості руху на горизонтальних і похилих ділянках визначаються по граничній динамічній характеристиці самоскида. Користуючись даною методикою були визначені середньотехнічні швидкості руху самоскидів для семи обраних технологічних трас Ганнівського кар'єру у відповідності до передатних чисел РМК. На рис. 2. і 3 представлені результати визначення середньотехнічної швидкості руху повністю навантаженого самоскида БелАЗ-75131 в залежності від передаточного відношення РМК у вигляді графіків зміни швидкостей на відповідних ділянках трас західної і східної частини Ганнівського кар'єру.

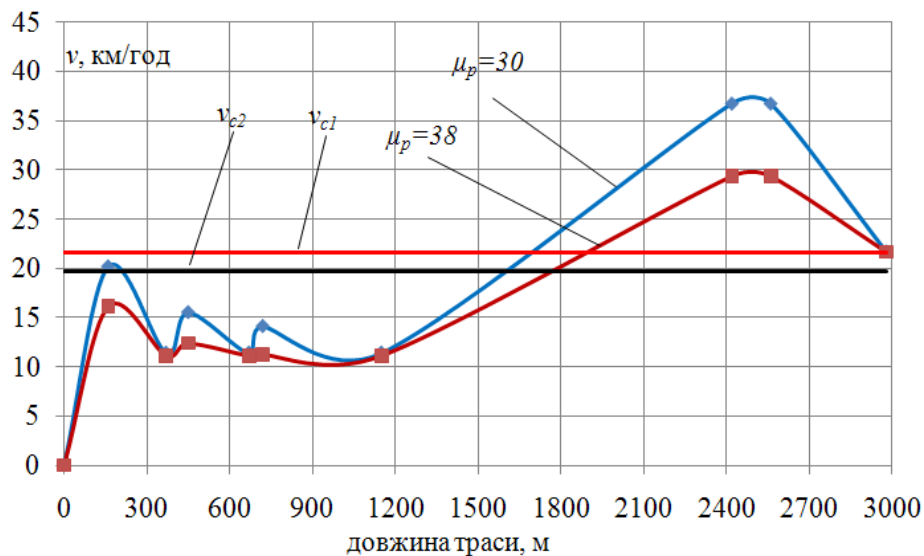


Рис 2. Графіки зміни швидкості руху повністю навантаженого самоскида БелАЗ-75131 при русі з -60 горизонту до перевантажного майданчика на +15 горизонті західної частини Ганнівського кар'єру в залежності від передаточного відношення РМК

На горизонтальних ділянках швидкості руху самоскида з передаточним числом РМК, рівним 30,36 досягають 33-36 км/год. за умови, якщо довжина ділянки траси дозволяє розвинути ці швидкості, (див рис. 3). Всі розрахункові швидкості на горизонтальних ділянках не виходять за межі обмеження максимальної швидкості руху самоскидів в кар'єрі.

Таким чином, збільшення швидкості руху за рахунок використання РМК із передаточним числом 30,36 можливо на горизонтальних ділянках трас, частка яких становить 56,3% від загальної довжини доріг Ганнівського кар'єру, при цьому середньотехнічна швидкість транспортування підвищиться від 8,0 до 9,7%, що у свою чергу, зможе забезпечити ріст продуктивності роботи самоскидів.

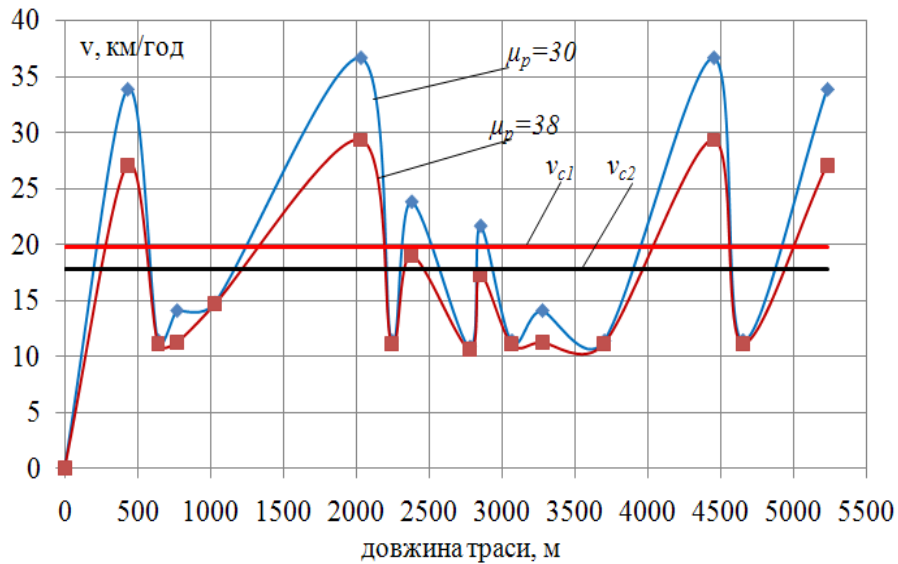


Рис 3. Графіки зміни швидкості руху повністю навантаженого самоскида БелАЗ-75131 при русі з -135 горизонту до перевантажного майданчика на 0 горизонті східної частини Ганнівського кар'єру в залежності від передаточного відношення РМК

При розрахунках річної продуктивності самоскида були прийняті усереднені величини експлуатаційних параметрів і формули, які використовуються в практиці планування й аналізу роботи кар'єрного автотранспорту. Результати розрахунків сформовано до таблиці 3. За рахунок використання на самоскидах РМК із передаточним числом 30,36 в гірничотехнічних умовах Ганнівського кар'єру, можливе збільшення продуктивності самоскидів на всіх технологічних трасах. В цілому ж по кар'єру можна очікувати збільшення продуктивності - на 8,2%.

Таблиця 3

Продуктивність самоскида БелАЗ-75131 залежно від передаточного числа РМК

| № п/п | Траса | Відстань транспортування, км | Швидкість руху, км/год | | Годинна продуктивність, т/ч | |
|-------|------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| | | | Передаточне число РМК 30,36 | Передаточне число РМК 38 | Передаточне число РМК 30,36 | Передаточне число РМК 38 |
| 1 | 1 | 2,316 | 19,90 | 18,30 | 395 | 371 |
| 2 | 2 | 2,98 | 21,65 | 19,68 | 347 | 322 |
| 3 | 3 | 5,300 | 19,73 | 17,80 | 202 | 184 |
| 4 | 4 | 5,370 | 20,88 | 18,63 | 207 | 187 |
| 5 | 5 | 3,370 | 17,79 | 16,25 | 269 | 249 |
| 6 | 6 | 2,700 | 19,46 | 17,39 | 345 | 316 |
| 7 | 7 | 3,932 | 17,65 | 15,95 | 234 | 215 |
| 8 | Середнє значення | 3,700 | 19,60 | 17,70 | 269 | 247 |

Збільшення відстані транспортування приводить до зниження годинної продуктивності як об'ємів перевезеної гірничої маси внаслідок зниження швидкості на поворотах і частих переломах профілю траси й збільшення тривалості рейсу, що наглядно ілюструє рис. 4.

Вплив середньозваженого уклону трас руху на середньотехнічну швидкість і об'єм виконаної транспортної роботи на рік зображено на рис 5.

З поглибленням кар'єру відстань транспортування також збільшується, що приводить до зниження продуктивності кар'єрного автотранспорту. Самі короткі траси розташовані в середній частині Ганнівського кар'єру й на них розрахункова годинна продуктивність більше, ніж в інших частинах кар'єру.

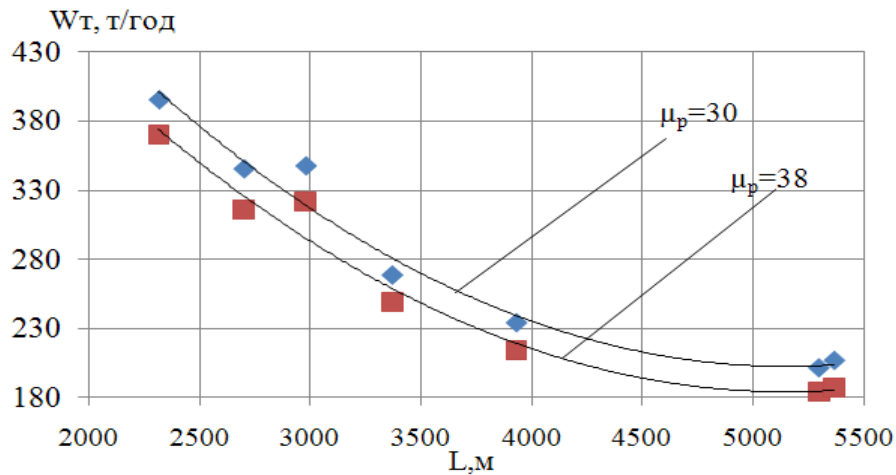


Рис 4. Залежність годинної продуктивності самоскиду від відстані перевезень гірничої маси.

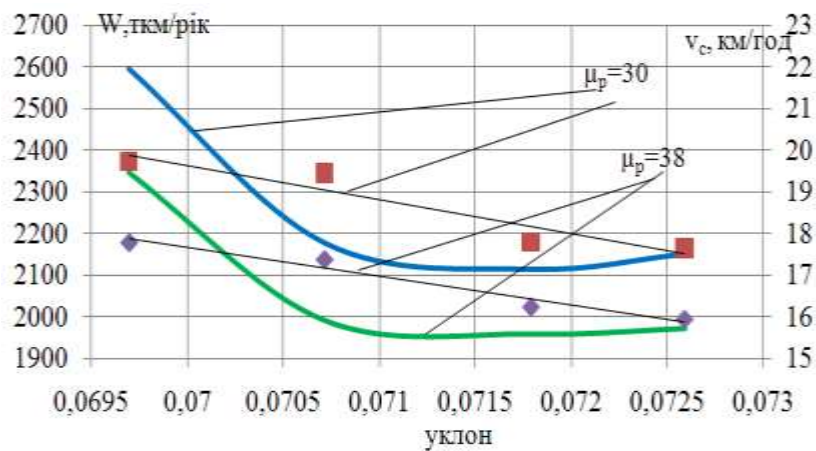


Рис 5. Залежність річної продуктивності і середньотехнічної швидкості самоскиду від ухилу технологічної траси

Залежність годинної продуктивності самоскидів Белаз-75131 від висоти підйому гірничої маси в Ганнівському кар'єрі представлена на рис. 6.

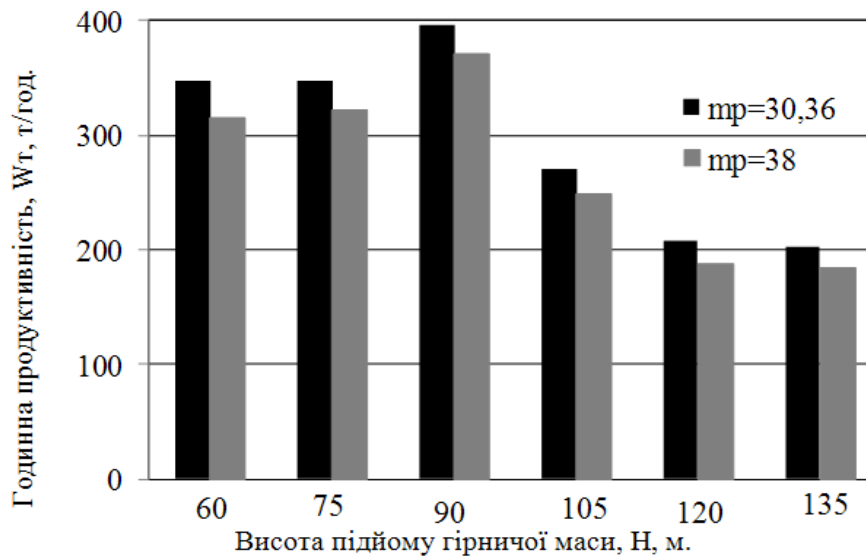


Рис. 6. Залежність продуктивності самоскида самоскидів Белаз-75131 від висоти підйому гірничої маси.

Висновки:

1. Аналітично встановлено, що для умов Ганнівського кар'єру технічні швидкості руху самоскидів БелАЗ-75131 у тяговому режимі з використанням повної вільної потужності дизеля, на горизонтальних ділянках трас будуть вище при використанні РМК із передаточним числом 30,36 у порівнянні з самоскидом, що обладнано передаточним числом РМК, рівним 38.

2. Виходячи з дорожньо-транспортних умов Ганнівського кар'єру, доцільне придбання й експлуатація самоскидів БелАЗ-75131, обладнаних РМК із передаточним числом 30,36. При виході з ладу й плановій заміні РМК [4], рекомендується також установка РМК із передаточним числом 30,36. Ці заходи дозволять збільшити річну продуктивність роботи самоскидів, як обсягу транспортної роботи і як об'єму перевезеної гірничої маси на 8,2%.

3. Для кар'єрів, де експлуатуються самоскиди Белаз-75131, з ухилами, які прагнуть до 15%, необхідно використовувати РМК із передаточним числом 38, це буде сприяти оптимальним умовам роботи електричних машин.

Подальші дослідження будуть спрямовані на проведення натурних експериментів, а саме порівняння експлуатаційних показників роботи кар'єрних самоскидів Белаз-75131 з передаточними числами РМК 30,36 та 38 на семи визначених трасах Ганнівського кар'єру.

1. Казарез А.Н., Кулешов А.А. Эксплуатация карьерных самосвалов с электромеханической трансмиссией. – М.: Недра, 1988.- С.78-102.
2. Электропривод тяговый карьерных самосвалов грузоподъемностью 120-130 тонн. Техническое описание. - «ПО Белорусский автомобильный завод».- С. 7-10.
3. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / Мариев П. Л., Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В. – СПб: Наука, 2004. - С.146-152.
4. Выбор организации замены основных агрегатов автосамосвалов БелАЗ грузоподъемностью 120 т / Монастырский Ю.А. - Разработка рудных месторождений, 2008, вып. № 92.- С. 148-152.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2014