

УДК 629.363:656.073+519.7

Ю.В. Артамонова

Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ГІДРОМЕХАНІЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ АВТОСАМОСКИДІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

У роботі розроблені науково-обґрунтовані рекомендації, спрямовані на оптимізацію періодичності технічного обслуговування гідромеханічної передачі великовантажних автосамоскидів, що працюють на технологічних перевезеннях металургійних підприємств. Оптимізація досягається за рахунок диференціювання періодичності технічного обслуговування автосамоскидів на маршрутах різної «раціональності» за двома критеріями: мінімізацією витрат і забезпеченням безвідмовності роботи.

Ключові слова: технічне обслуговування, оптимізація, раціональний маршрут, автосамоскид, наробіток на відмову, економіко-ймовірнісний метод, ймовірність відмови, витрати на ремонт, витрати на технічне обслуговування.

Актуальність теми. На більшості металургійних підприємств України при виконанні технологічних перевезень відходів металургії - шлаків широке поширення одержав кар'єрний автотранспорт великої вантажопідйомності (автосамоскиди БілАЗ).

Використання кар'єрних автосамоскидів, призначених для перевезення розкритих порід, корисних копалин і ґрунту, на перевезеннях шлаків обумовлене тим, що шлаки відносяться до накидних промислових вантажів.

Однак мартенівські й конвертерні шлаки на відміну від перерахованих вище вантажів мають високі температури (до 600⁰) і можуть бути віднесені до гарячих.

Також необхідно відзначити, що висока температура вантажу є тільки однією з умов експлуатації. Істотний вплив на ефективність роботи автосамоскидів роблять характеристики маршрутів руху (довжина, поздовжні й поперечні ухили, радіуси в плані й у профілі, ширина проїзної частини, стан покриття тощо), інтенсивність роботи (число їздок із вантажем, обсяг перевезень) і людський фактор.

Так, всі маршрути одного з найбільших металургійних підприємств України – комбінату імені Ілліча можна розділити на три групи:

1. Малої дальності (до 2,4 км) високої інтенсивності зі значною вантажною складовою; при експлуатації на таких перевезеннях автомобіль за добу робить близько 50 їздок, має місце значний обсяг перевезень.
2. Середньої дальності (до 6,4 км) і інтенсивності.
3. Далекі перевезення (до 17 км) у режимі транспортної роботи.

Друга й третя групи маршрутів мають менш інтенсивний характер, кількість їздок у добу становить 20 - 10, відповідно й обсяги перевезень менше.

Різноманітні характеристики й умови роботи автосамоскидів визначають досить широкий діапазон, динамічність навантажень, що приводить до скорочення ресурсу їх роботи.

Таким чином, з урахуванням зазначеної специфіки функціонування кар'єрний автотранспорт в умовах металургійного підприємства вимагає величезних витрат.

Величина сировинних, матеріальних, енергетичних і трудових витрат, у свою чергу, у значній мірі залежить від правильного вибору періодичності технічного обслуговування агрегатів.

Зараз періодичність технічного обслуговування автосамоскида визначається заводом-виробником для всієї сукупності однієї марки автомобілів без урахування високих температур вантажу, що впливають на агрегати, і умов експлуатації.

Одним з агрегатів, що найбільш нагрівається й відмовляє, згідно [1] і статистики Маріупольського металургійного комбінату ім'я Ілліча є гідромеханічна передача.

З огляду на вищевикладене, актуальним науковим і практичним питанням є оптимізація періодичності технічного обслуговування гідромеханічної передачі великовантажних

автосамоскидів, що працюють на технологічних перевезеннях відходів металургійних підприємств - шлаків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Незважаючи на актуальність питання, у наукових і технічних публікаціях воно належного висвітлення не одержало, тобто відсутні науково-обґрунтовані рекомендації, спрямовані на адаптацію серійних кар'єрних автосамоскидів до інших умов роботи.

Метою даної статті є розробка науково-обґрунтованих рекомендацій, спрямованих на оптимізацію періодичності технічного обслуговування гідромеханічної передачі великовантажних автосамоскидів металургійних підприємств.

Вищевказана мета обумовила наступні **завдання дослідження**:

- зібрати й обробити статистичну інформацію про відмови гідромеханічної передачі на маршрутах металургійного підприємства з різними умовами експлуатації;

- обґрунтувати періодичність проведення технічного обслуговування гідромеханічної передачі кар'єрних автосамоскидів на різних маршрутах металургійного підприємства.

Основна частина. У роботі [2] введена комплексна оцінка «раціональності» або «нешкідливості» маршрутів руху автосамоскидів у гривнях середньомісячних змінних витрат на маршруті, які приходяться на один автосамоскид.

При цьому пропонується для мінімізації змінних витрат (насамперед на ремонт) для парку автосамоскидів розподіляти їх з урахуванням терміну попередньої експлуатації. Ідея такого розподілу полягає в тому, що нові автомобілі будуть експлуатуватися на «нераціональних» (витратних) маршрутах, а зі збільшенням терміну служби будуть переводитися на «раціональні» (менш витратні) маршрути.

Однак такий розподіл може привести до прискореного зношування агрегату, що нагрівається, - гідромеханічної передачі нових автосамоскидів. Щоб запобігти цьому, пропонується диференціювати періодичність технічного обслуговування за маршрутами зі збільшенням частоти обслуговування нових автомобілів в «вузькому» місці.

Для визначення періодичності технічного обслуговування гідромеханічної передачі використовуємо економіко-ймовірнісний метод, що враховує економічні й ймовірнісні фактори [3].

Періодичність впливу встановлюється з умови, що певному співвідношенню вартісних витрат при виконанні ремонтних операцій примусово або відповідно за потребою, при даних характеристиках закону розподілу випадкової величини, відповідає тільки одна оптимальна періодичність і рівень ймовірності безвідмовної роботи, при яких сумарні питомі витрати на технічне обслуговування й ремонт будуть мінімальні, і визначається з рівнянь:

$$p + l_p f(l_p) + \frac{f(l_p)}{p} \int_{l_{\min}}^{l_p} l \cdot f(l) dl = \frac{c}{c-d}, \quad (1)$$

де p – ймовірність ресурсу вузла, агрегату $l_i \geq l_p$;

q – ймовірність відмови вузла, агрегату при $l_i \leq l_p$;

l_p – заздалегідь заданий ресурс вузла, агрегату, км;

$f(l)$ – граничний стан вузла, агрегату, 1/км;

l_{\min} – мінімальний ресурс вузла, агрегату до відмови, км;

c – витрати, пов'язані з ремонтом за потребою, грн;

d – витрати на один ремонт, що виконується примусово, грн;

l – наробок машини, км.

Одна зі стратегій технічного обслуговування C_1 зводиться до усунення несправностей агрегату в міру їх виникнення, тобто за потребою. Питомі витрати при цьому визначаються як:

$$C_1 = \frac{c}{\bar{l}} = \frac{c}{\int_{l_{\min}}^{l_{\max}} l f(l) dl}, \quad (2)$$

де \bar{l} , l_{\min} , l_{\max} - середній, мінімальний і максимальний наробок на відмову, км.

Альтернативна стратегія C_2 передбачає попередження відмови й несправностей, відновлення вихідного стану або близького до нього стану агрегату до того, як буде досягнуто граничний стан. Ця стратегія реалізується при попереджувальному технічному обслуговуванні за наробком.

Розглянемо етапи оптимізації періодичності технічного обслуговування гідромеханічної передачі великовантажних автосамоскидів, що працюють в умовах металургійного підприємства, економіко-ймовірнісним методом (профілактика за наробком).

Отже, потрібно визначити з урахуванням варіації наробку на відмову оптимальну періодичність l_o , при якій сумарні питомі витрати на попередження й усунення відмов будуть мінімальними, а ризик відмови відомий.

Вихідними даними є наробок на відмову l у вигляді щільності ймовірності $f(l)$ при експлуатації агрегату без профілактики (статистика за 6 місяців).

Дані диференціюємо за автомобілями, що працюють на маршрутах різної «раціональності». Попередньо виділено шість маршрутів технологічних перевезень гарячих шлаків великовантажними автосамоскидами (табл. 1). Оскільки наробок на відмову є випадковою величиною, визначимо її закон розподілу.

Таблиця 1

Вихідні дані для визначення закону розподілу наробку на відмову гідромеханічної передачі

i	l_i , км	l_{i+1} , км	$l_{сеп}$, км	Частота влучення в інтервал n_{ij} на j -тому технологічному маршруті						Σn_{ij}
				1	2	3	4	5	6	
1	140	523,2	331,6	2	2	0	0	3	0	7
2	523,2	906,4	714,8	2	6	0	1	3	0	12
3	906,4	1289,6	1098	5	7	0	2	6	0	20
4	1289,6	1672,8	1481,2	14	11	0	6	18	1	50
5	1672,8	2056	1864,4	12	6	3	3	16	2	42
6	2056	2439,2	2247,6	4	3	5	1	6	4	23
7	2439,2	2822,4	2630,8	0	0	9	1	5	3	18
8	2822,4	3205,6	3014	0	0	9	0	5	1	15
9	3205,6	3588,8	3397,2	0	0	2	0	2	1	5
10	3588,8	3972	3780,4	0	0	2	0	2	0	4
Σn_{ij}				39	35	30	14	66	12	196

Примітка. Маршрути: 1 - Гранустанова - Грековата; 2 - Гранустанова - Англофабрика; 3 - Гранустанова - Сталеплавильний; 4 - Киснево-конвертерний цех - Грековата, Стан 3000, Шлакопереробка; 5 - Мартен - Грековата, Стан 3000, Шлакопереробка; 6 - інші маршрути

Неоднакова кількість вимірів (частота) на різних маршрутах обумовлена різною кількістю автомобілів на технологічних маршрутах.

На прикладі маршруту 2 («найнерациональнішого») покажемо, що наробок на відмову розподіляється за нормальним законом (рис. 1, табл. 2).

Таблиця 2

Перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу наробку на відмову гідромеханічної передачі для маршруту 2

i	l_i , км	l_{i+1} , км	$l_{сеп}$, км	Експериментальна частота n_{i2}^3	Розрахункове значення частоти n_{i2}^p	\bar{l}_B , км	σ_B , км	χ^2	χ_k^2
1	140	523,2	331,6	2	2	1339	511	1,2	11,3
2	523,2	906,4	714,8	6	5				
3	906,4	1289,6	1098	7	9				
4	1289,6	1672,8	1481,2	11	10				
5	1672,8	2056	1864,4	6	6				
6	2056	2439,2	2247,6	3	3				
Σn_{ij}				35	35				

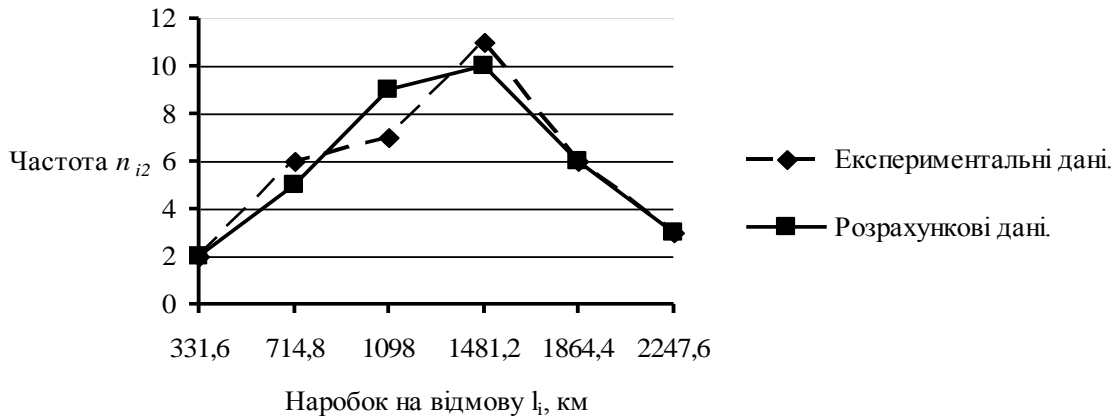


Рис. 1. Частота розподілу випадкової величини - наробку на відмову на маршруті 2

Наступним кроком є визначення разової вартості ремонтних c і профілактичних d робіт. Для цього використовуємо дані про характер відмов та несправностей гідромеханічної передачі автосамоскидів базового металургійного підприємства й [4]. Середнє значення вартості ремонтних робіт становить $c = 0,5$ тис. грн, середнє значення вартості профілактичних робіт - $d = 0,15$ тис. грн згідно цін на комплектуючі й даних базового підприємства.

Розіб'ємо абсцису на рисунку 1 через крок, рівний 0,23 тис. км і визначимо для кожного наробку на відмову ймовірність відмови. Для визначення ймовірності відмови будемо використовувати нормовану функцію:

$$f(l) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(l-\bar{l})^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (3)$$

4 Питомі витрати на попередження й усунення відмов як відношення зваженої вартості технічного обслуговування й ремонту до зваженого наробку виконання операцій технічного обслуговування й ремонту:

$$C_2 = \frac{c \cdot q + d \cdot p}{l_p' \cdot q + l_p \cdot p}, \quad (4)$$

де $c \cdot q + d \cdot p$ - середньозважена вартість виконання операції технічного обслуговування й ремонту, тис. грн;

$l_p' \cdot q + l_p \cdot p$ - середньозважений наробок виконання операції технічного обслуговування й ремонту, тис. км;

l_p - періодичність технічного обслуговування при виконанні за наробком, тис. км;

l_p' - середній наробок елементів, що відмовили з ймовірністю q ($l_i < l_p$), тис. км.

Результати розрахунків на прикладі маршруту 2 наведені у вигляді табл. 3 і на рис. 2.

Таблиця 3

Визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування економіко-ймовірнісним методом на прикладі маршруту 2

l_p , тис. км	$f(x)$	q	l_p' , тис. км	p	C_2 , тис. грн	C_1 , тис. грн
0,37	0,1293	0,029	0,37	0,971	0,433	0,373
0,6	0,2744	0,074	0,485	0,926	0,297	0,373
0,83	0,4754	0,160	0,6	0,840	0,260	0,373
1,06	0,6726	0,293	0,715	0,707	0,263	0,373
1,29	0,7771	0,462	0,83	0,538	0,289	0,373
1,52	0,7332	0,638	0,945	0,362	0,324	0,373
1,75	0,5650	0,789	1,06	0,211	0,354	0,373
1,98	0,3555	0,895	1,175	0,105	0,368	0,373
2,21	0,1826	0,956	1,29	0,044	0,364	0,373

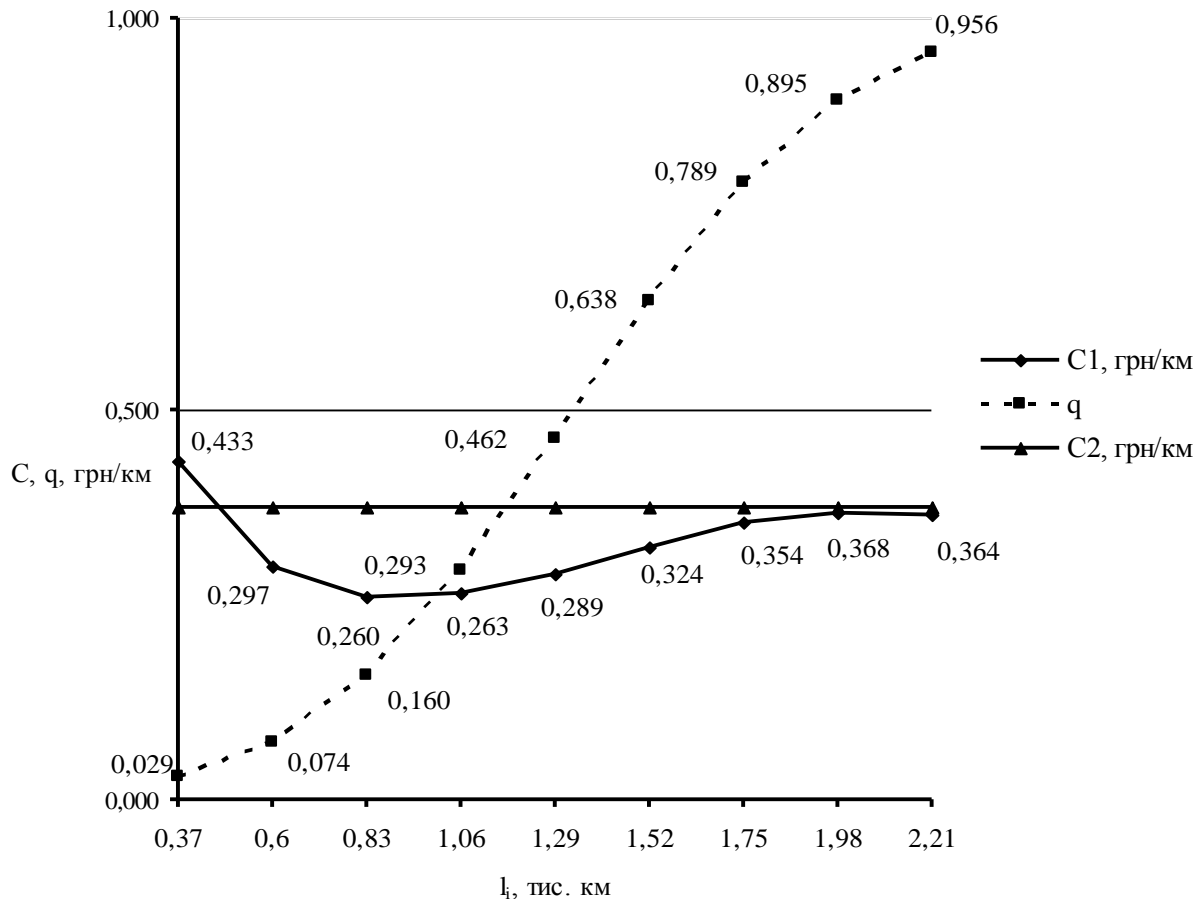


Рис. 2. Зміна сумарних питомих витрат і ймовірності відмови в міжмотровий період q залежно від періодичності технічного обслуговування гідромеханічної передачі

Отримані результати дозволяють зробити висновки для маршруту 2:

- мінімальне значення сумарних питомих витрат $C_{2min} = 0,26$ грн / км відповідає оптимальній періодичності технічного обслуговування $l_o = 800$ км (приймаємо кратне 100 значення);
- застосування профілактичної стратегії з оптимальною періодичністю технічного обслуговування скорочує питомі витрати в порівнянні з ремонтом за потребою на 0,113 грн / км, тобто на 30%.

Аналогічні розрахунки проводимо на всіх маршрутах базового підприємства.

Результати розрахунків оптимальної періодичності технічного обслуговування гідромеханічної передачі, диференційовані за маршрутами, наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Результати розрахунків оптимальної періодичності технічного обслуговування гідромеханічної передачі

Маршрут	l_j , км	C_{min2} , грн/км	C_1 , грн/км	Економія ΔC , грн/км	$L_{міс}$, км	Виграш $\Delta C_{міс}$, грн	Виграш за рік $\Delta C_{рік}$, грн	$A_{со}$, од.	Виграш на всі авто за рік $\Delta C_{рік}$, грн
1	1000	0,204	0,327	0,123	9174	1128,40	13540,82	6	81244,94
2	800	0,16	0,373	0,213	8288	1765,34	21184,13	6	127104,8
3	1900	0,075	0,183	0,108	4732	511,06	6132,672	7	42928,7
4	900	0,193	0,311	0,118	1894	223,49	2681,9	2	5363,81
5	1100	0,196	0,27	0,074	8288	613,31	7359,74	7	51518,21
6	1700	0,108	0,211	0,103	3789	390,267	4683,2	4	18732,82

Отримані результати дозволяють зробити загальні висновки:

- аналіз оптимальних періодичностей технічного обслуговування гідромеханічної передачі з урахуванням «раціональності» технологічних маршрутів показує, що періодичність найменш «шкідливого» маршруту 3 ($l_o = 1900$ км) близька до нормативного значення «Руководства по эксплуатации», тоді як періодичність найбільш «шкідливого» маршруту 2 ($l_o = 800$ км) у два рази менше;

- загальна економія коштів для парку великовантажних автосамоскидів на технологічних перевезеннях гарячих шлаків при застосуванні профілактичної стратегії з оптимальною періодичністю технічного обслуговування гідромеханічної передачі становить 326893,2 грн у рік.

Висновки. У статті розроблені науково-обґрунтовані рекомендації, спрямовані на оптимізацію періодичності технічного обслуговування гідромеханічної передачі великовантажних автосамоскидів металургійних підприємств.

Оптимізація досягається за рахунок диференціювання періодичності технічного обслуговування автосамоскидів на маршрутах різної «раціональності» за двома критеріями: мінімізацією витрат і забезпеченням безвідмовності роботи.

Відповідно до викладеного в статті оптимальна періодичність обслуговування гідромеханічної передачі залежить від «раціональності» маршруту, діапазон зміни періодичності технічного обслуговування $l_o = 800 - 1900$ км. Менше значення відповідає найбільш «нераціональному» (витратному) маршруту, більше - «раціональному».

Удосконалення технічного обслуговування гідромеханічної передачі великовантажних автосамоскидів на технологічних перевезеннях металургійних підприємств із урахуванням «раціональності» маршрутів приведе до збільшення ефективності їх роботи.

Річний ефект від застосування профілактичної стратегії технічного обслуговування гідромеханічної передачі для парку великовантажних автосамоскидів базового металургійного підприємства складе 326893,2 грн, що підтверджує необхідність її впровадження.

У перспективі, на підставі викладених у статті розробок, створення комплексного методу оптимізації терміну служби великовантажних автосамоскидів за рахунок удосконалення планування роботи автомобілів на маршрутах різної «раціональності» і системи технічного обслуговування агрегатів, що нагріваються й відмовляють.

1. *Парунакян В.Э., Помазков М.В., Ступак В.В., Артамонова Ю.В.* Исследование температурного режима эксплуатации большегрузных автосамосвалов Белаз-7540 на технологических перевозках высокотемпературных сталеплавильных шлаков // Защита металлургических машин от поломок: Міжвузівський тематический сборник научных работ. Мариуполь, 2006. Вип. № 9. - С. 110-117.
2. *Артамонова Ю.В.* Шляхи оптимізації раціональних термінів експлуатації великовантажних автосамоскидів на технологічних перевезеннях металургійних підприємств // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. Донецьк, 2009. Вип. № 1. С. 334 - 338.
3. *Техническая эксплуатация автомобилей / Е.С. Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин и др.; под ред. Е.С. Кузнецова.* – М.: Транспорт, 1991. – 413 с. – ISBN 5-277-00967-1.
4. *Карьерные самосвалы БелАЗ-7540 и их модификации. Руководство по эксплуатации 7540-3902015 РЭ.* – Республика Беларусь: РУПП «Белорусский автомобильный завод», 2008.

Рецензент: В.Е. Парунакян докт. техн. наук, проф., ПДТУ