



УДК 622.685: 531.8

ЗМЕНШЕННЯ ГІДРОАБРАЗИВНОГО ЗНОСУ НАПІРНИХ СТАЛЕВИХ ПУЛЬПОПРОВОДІВ ЗА РАХУНОК МАГНІТНО- ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ

Котило О.В., Малигін Б.В.,
Херсонська державна морська академія,
Шкільнюк А.О.
Херсонський державний університет

У статті розглянуто розрахунок гідроабразивного зношення сталевих пульпопроводів систем гідротранспорту на гірничо-збагачувальних комбінатах залежно від умов роботи, механічних та фізичних властивостей деталей. Приведено формули для розрахунку зносу пульпопроводів. Аргументовано метод підвищення довговічності та працездатності роботи систем гідротранспорту в результаті зменшення гідроабразивного зносу за рахунок використання магнітно-імпульсної обробки. Наведено результати випробувань зносостійкості металів після магнітно-імпульсної обробки (МІО) та описано методику розрахунку гідроабразивного зношення. Випробування проводились на різних сплавах як фрикційних так і не фрикційних. Як результат доказано ефективність магнітно-імпульсної обробки в підвищенні надійності систем гідротранспорту та наведено методику використання МІО для гідротранспорту.

Ключові слова: гідроабразивний, магнітно-імпульсна обробка, гідротранспорт, зносостійкість, працездатність.

Постановка проблеми. У зв'язку з тим, що найбільше виробництво в Україні зосереджено на видобуваючій промисловості, актуальною є проблема підвищення працездатності та довговічності обладнання працюючого на гірничо-збагачувальних комбінатах. Виникає необхідність визначення характерних параметрів гідравлічного транспорту, на підставі яких буде вибрано насосне устаткування, що відповідає необхідній продуктивності по твердих хвостах збагачення і необхідному тиску для подолання опорів по довжині трубопроводу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш вагомий внесок у вивчення довговічності та зносостійкості роботи машин внесли: В. Р. Кулінченко [2], Г. П. Дмитриев, Л. И. Махарадзе, Т. Ш. Гочиташвили [3], Ф. М. Канарев та інші. У більшості робіт пов'язаних із підвищенням довговічності та надійності ресурсу базується на покращенні механізму мащення, що неможливо виконати для пульпопроводів та на утворенні цементацийних покриттів, що є досить дорогою процедурою. Ними встановлено, що приблизно від третини до половини енергетичних ресурсів витрачається на тертя, тому проблеми тертя та зношування деталей в сучасному світі важко переоцінити. Оскільки зношування рухомих деталей під впливом сил тертя призводить до передчасного виходу з ладу машин і великих затрат на ремонт, боротьбі з тертям і зношуванням в машинах і механізмах в усіх промислово розвинених країнах світу приділяють підвищену увагу.

Формулювання мети дослідження. Метою даної роботи є дослідження впливу МІО на зносостійкість та довговічність напірних сталевих пульпопроводів та аргументація збільшення їх довговічності за рахунок МІО.

Результати дослідження. Розглядаючи роботу напірного пульпопроводу можна встановити, що час роботи пульпопроводу до зменшення товщини стінок на 1 мм, T_1 визначається як:

$$T_1 = \frac{Q_1}{Q_T}, \quad (1)$$

де Q_1 – об'єм включень твердих часток, що викликає зменшення товщини стінок, $\text{м}^3/\text{мм}$; Q_T – продуктивність гідротранспорту твердого матеріалу $\text{м}^3/\text{рік}$.

Величина Q_1 визначається за формулою [4]:

– при транспорті твердого матеріалу з розміром включень до 2 мм



$$Q_1 = A_3 K_3 K_L D^{1,7} \rho_\pi^{0,25} / K_r K_\beta K_\rho v^{1,5}, \quad (2)$$

– при транспортуванні включень розміром від 2 мм

$$Q_2 = AK_3 K_L D^2 \rho_\pi^{0,25} / K_\beta K_\rho v_p \omega, \quad (3)$$

де A_3 – коефіцієнт абразивності матеріалу прийнятого за еталон (пісок для випробування цементу по ГОСТ 6139-78, зміст $\text{SiO}_2 > 98\%$, $d_{cp} = 0,5-0,9$ мм), приймається рівним $8 \cdot 10^6$; K_r – гідравлічна величина для середньозважених часток d_{cp} , м/с; K_3 – коефіцієнт зносостійкості металу пульпопроводу; K_L – коефіцієнт дальності транспортування (рис. 1); K_r – коефіцієнт відносного значення; K_β – коефіцієнт нахилу труб, знос стінок, що враховує, залежно від кута нахилу пульпопроводу; K_ρ – коефіцієнт приведеної щільності, що враховує вплив щільності пульпи для часток розміром величиною до 2 мм, приймається залежно від ρ_0 (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнту приведеної щільності від густини

№ з/п	Густина $\rho_0, \text{кг/м}^3$	K_ρ
1	< 1100	0,7
2	1100 – 1300	1
3	> 1300	$[(\rho_r - \rho_0)\rho_v / (\rho_r - \rho_v)\rho_0]^{0,8}$

Для часток розміром 2 - 100 мм при будь-якій щільності пульпи визначається за формулою [4]:

$$K_\rho = 1/(1 + n), \quad (4)$$

де n – вміст в пульпі часток розміру 0–1 мм.

Розрахунковий знос пульпопроводу визначається за формулою:

$$\delta_\rho = T_\rho / (T_1 n \psi K_\delta), \quad (5)$$

де T_ρ – ресурс експлуатації пульпопроводу за термін служби, років; n – число робочих положень труб при здійсненні технічних обслуговувань; ψ – коефіцієнт нерівномірності зношування; K_δ – коефіцієнт використання ресурсів товщини стінок при профілактичному ремонті.

Технічний ресурс пульпопроводу T визначається по формулі:

$$T = (\delta - \delta_m) T_1 n \psi K_\delta / K_y, \quad (6)$$

Фактичний термін служби пульпопроводу до граничного зносу T_ϕ , років, визначається по формулі:

$$T_\phi = T + T_\pi, \quad (7)$$

де t_π – сумарний час усіх простоїв пульпопроводу до витікання ресурсу T , років.

При розрахунках слід враховувати, що знос в стикових з'єднаннях труб, особливо у фланцевих і швидкокорозійних, на 25–50 % більше зносу на прямолінійних ділянках [2].

Виходячи з даних розрахунків можна встановити, що довговічність роботи пульпопроводів залежить від коефіцієнту абразивності матеріалу, гідравлічної величини середньозважених часток; коефіцієнт нахилу труб, які в процесі роботи системи не можливо змінювати. Також довговічність роботи залежить від коефіцієнту дальності транспортування та має таку залежність зміни. Як видно з графіку (рис. 1) коефіцієнт зростає при збільшенні довжини транспортування, але ж на підприємстві довжина транспортування залежить від робочої зони об'єкту.

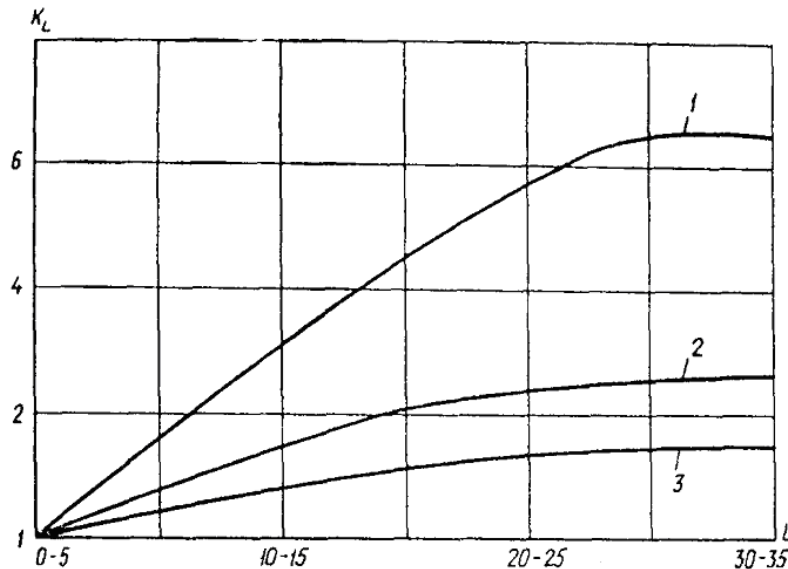


Рисунок 1 – Графік зміни коефіцієнта K_L від відстані транспортування L :
1 – для малоабразивних матеріалів з твердістю $H = 2 \dots 2,5$ за шкалою Мооса; 2 – для матеріалу середньої абразивності при $2,5 < H \leq 4,5$; 3 – для високоабразивного матеріалу $H \geq 5 \dots 7$

Залежність довговічності роботи системи від коефіцієнту приведеної щільності можна змінювати змінюючи щільність суспензій додаванням води, але при цьому втрачається коефіцієнт корисної дії та ефективність роботи системи. А як наслідок тільки коефіцієнт зносостійкості металу пульпопроводу ми можемо змінювати без втрати ефективності та переобладнання всього виробництва. При зменшенні тертя довговічність роботи трубопроводів значно збільшиться. Для зменшення тертя та як наслідок підвищення довговічності ми вирішили розглянути можливості магнітно-імпульсної обробки деталей для підвищення їх зносостійкості [1].

Дії МІО на довговічність деталей вузла тертя перевірялася на стенді СКПС-200 при роботі підшипників ковзання. Випробовувалося тертя в підшипниках ковзання з сірих і антифрикційних чавунів, бронз, латуні, баббітов і металокераміки масою 1, 2, кг. Для вибору режиму роботи вузла зразки, (призми) матеріалів випробовувалися на знос на машині тертя. Деталі підшипника ковзання при випробуванні на стійкість готувалися так, щоб критерій Фур'є при їх роботі був практично постійним.

У дослідях вивчалася сухе, граничне, напіврідинне і рідинне тертя ковзання. МІО зразків виробів велася на установці «ИМПУЛЬС-ДМ» по режиму: напруженість магнітного поля 300..1000 кА/м, час імпульсу 1,0 з, число імпульсів 1..3 для чавунних деталей і 10..20 по деталей з бронзи, латунь, бабітів, бронзо- і металографіта. Випробовувались маловуглецеві сталі 45Х, 45Г; 5СГ2, 40ХС, інструментальні сталі 65, 60С2, ХЗГ, ХВГС, а також нержавіючі сталі 12ХН2, 12Х13 та ін. [5].

З антифрикційних сплавів випробовувалися деталі підшипників з чавуну (СЧ15, СЧ18, СЧ24, АЧС-1, АЧС-4, АЧС-6, АЧВ-2, АЧВ-2К, АЧК-2), бронзи (БрОФ 10-1, ОЦС 6-6-3, АШ 10-3-2), латунь (ЛМц ОС 56-2-2-2, МЖМц 66-6-6-3-2, ЛКС 60-3Э, бабіту (Б86С, БН, Б16, БС6), а також бронзо- і металографіта.

Досліди (табл. 2 і табл. 3) показали, що за інших рівних умов за рахунок МІО деталей вузла тертя довговічність як підшипників ковзання з антифрикційних матеріалів, так і валів збільшується в 1,3...2,5 рази. Причому, чим міцніше сталь, чим складніше динаміка тертя і роботи вузла і чим більше рідкого мастила, тим вище ефективність магнітної обробки і ресурс механізму. Режим впливу для таблиці 2 під час обробки як круглої так і призматичної деталі: час дії імпульсу 0,6 с., перерва між імпульсами 0,5 с., напруженість магнітного поля 310 кА/м, число циклів 15.



Таблиця 2 – Стійкість металів при терті

Марка сталі	Стійкість %	
	Деталь (призма)	Деталь (вал)
45,40X, 45X, 45Г, 50Г2	120...150	130...160
30ХГТ, 35ХГФ, 40ХС, 40ХН, 40ХМФА	130...160	130...150
30ХГСА, 35ХНСА, 38ХГН, 40ХН2МА	130...170	120...160
12Х13,40Х13,36Х18Н225СГ	150...180	140...160
65,70,60С2, 70С2ХА	130...160	120...140
ХВГС, ХВГ	150...180	140...150
12Х13,14Х17Н27	160...180	145...160
15Х18СЮ, 08Х18Т1	140...160	140...170
009Х15Н810, 08Х17Н5М3	145...170	150...185
45Х14Н14В2ВМ, 20Х25Н20С2	150...190	160...180

Для глибшого уявлення про вплив магнітної обробки на працездатність вузла тертя вивчалися основні триботехнічні параметри, що характеризують роботу механізму, тобто розглядалися наступні критерії: коефіцієнт теплопереносу КМ, швидкість течії хімічних реакцій в зоні контакту фаз. Випробовувались деталі підшипників з сірих чугунів (СЧ15, СЧ18, СЧ24). Дослідження проводилися на парі тертя сталей. Методом розрахунку і порівняння по стандартних методиках, визначалися відносні значення вищезгаданих параметрів.

Режими МІО: напруженість поля 360 кА/м, час імпульсу 0,6...1,0 з, число циклів 5..25, витримка після обробки 24 години. У якості реакційної (Т) теплової, гідродинамічної і енергетичної, а також коефіцієнти реакції зміщення і перешкоди руйнуванню). З антифрикційних сплавів сталевих зразків і деталей машин початкового еталону (100 %) приймалася величина роботи на тертя пари із сталей 40ХН – 30ХГСА, без магнітного зміщення. Діаметр 25...200 мм, довжина від 25 до 250 мм

Таблиця 2 – Довговічність при МІО вузлів тертя ковзання

Матеріал	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 4
СЧ15, СЧ18, СЧ24	120...140	130...150	140...160	150...200
АЧВ-2, АЧВ-2К, АЧК-2	150...180	150...200	160...180	170...190
Бр. ОФ 10-1, ОЦС	120...180	140...160	150...170	160...200
Б88С, БН, Б16, БС6	130...150	150...200	140...190	150...200
Бронзографіт	140...160	150...180	150...200	160...180
Залізографіт	160...180	160...200	180...220	160...200

Висновки. Проведено дослідження впливу МІО на зносостійкість металів з яких видно, що практично усі показники, якими користуються під час оцінки стійкої роботи вузла тертя і оптимального зносу деталей, в результаті магнітної обробки робочих елементів вузла підвищуються в 1,2...2 рази. За рахунок магнітного поля створюються такі умови для поступового притирання деталей, що обертаються, що вектор магнітного зміщення зерен не зростає. Величина поля тиску і коефіцієнт протидії руйнуванню зменшується в 2–3 рази. Встановлено, що між тертям і магнетизмом існує жорсткий зв'язок, а саме після магнітно-імпульсної обробки зменшується тертя в вузлах. Причому фізичні основи управління трибодинамікою тертя і зниженням коефіцієнта тертя базується на можливостях прикладного магнетизму виробів конкретної маси, розмірів і властивостей. Довговічність роботи пультпроводів можна збільшити в 1,5–2 рази.



У подальших дослідженнях можна розглянути автоматичні системи для використання прикладного магнетизму в підвищенні надійності роботи системи гідротранспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грачев В. В. Динаміка трубопровідних систем / В. В. Грачев, С. Г. Щербаков, Е.І. Яковлев. – М. : Наука, 1987. – 438 с.
2. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід : підручник / В. Р. Кулінченко. – Донецьк : Фірма «Інкос», центр навчальної літератури, 2006. – 616 с.
3. Дмитрієв Г. П. Напірні гідротранспортні системи / Г. П. Дмитрієв, Л. І. Махарадзе, Т. Ш. Гочіташвілі. – М. : Надра, 1991. – 304 с.
4. Посібник з проектування гідравлічного транспорту (до СНиП 2.05.07-85). – М. : Стройиздат, 1988. – 40 с.
5. Малигін Б. В. Магнітне зміцнення інструмента і деталей машин / Б. В. Малигін. – М. : Машиностроение, 1989. – 112 с.

Котыло О.В., Малыгин Б.В., Шкильнюк А.О. УМЕНЬШЕНИЕ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНОСА НАПОРНЫХ СТАЛЬНЫХ ПУЛЬПОПРОВОДОВ ЗА СЧЕТ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

В статье рассмотрен расчет гидроабразивного износа стальных пульпопроводов систем гидротранспорта на горно-обогатительных комбинатах в зависимости от условий работы, механических и физических свойств деталей. Приведены формулы для расчета износа пульпопроводов. Аргументировано метод повышения долговечности и работоспособности работы систем гидротранспорта в результате уменьшения гидроабразивного износа за счет использования магнитно-импульсной обработки. Приведены результаты испытаний износостойкости металлов после магнитно-импульсной обработки (МИО) и описана методика расчета гидроабразивного износа. Испытания проводились на различных сплавах как фрикционных, так и не фрикционных. Как результат доказано эффективность магнитно-импульсной обработки в повышении надежности систем гидротранспорта и приведена методика использования МИО для гидротранспорта.

Ключевые слова: гидроабразивный, магнитно-импульсная обработка, гидротранспорт, износостойкость, работоспособность.

Kotylo O.V., Malygin B.V., Shkilnyuk A.O. DIMINISHING OF HYDROABRASIVE WEAR OF PRESSURE STEEL PULP WIRES IS FOR ACCOUNT OF MAGNETICALLY-IMPULSIVE TREATMENT

The article deals with the calculation of waterjet wear steel hydraulic conveying systems pulpoprovodiv in mining enterprises, depending on the operating conditions, mechanical and physical properties of the components. Some formulas to calculate depreciation pulpoprovodiv. Argued the method of increasing the durability and performance of systems by reducing the hydraulic conveying hidroabrazynoho wear through the use of magnetic-pulse treatment. The results of testing the wear resistance of metals after magnetic-pulse treatment (M & E) and describes the methodology for calculating waterjet wear. Vyproduvannya held at various alloys as friction and no friction . The result proved the effectiveness of M & E methodology for hydraulic conveying .

Keywords: hydroabrasive, magnetically-impulsive treatment, hydraulic conveying, wearproofness, capacity.

Статтю прийнято
до редакції 6.05.14.