

ВИКОРИСТАННЯ ГРЕБНЄЗМАЩУВАЧІВ КОЛІС НА РЕЙКОВОМУ ТРАНСПОРТІ КАР'ЄРІВ І ШАХТ

¹Проців В.В., ²Мацук З.М., ³Козечко В.А., ¹Колесник Є.В.

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України,
²ТОВ «МОДІФІК»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРЕБНЕСМАЗЫВАТЕЛЕЙ КОЛЕС НА РЕЛЬСОВОМ ТРАНСПОРТЕ КАРЬЕРОВ И ШАХТ

¹Проців В.В., ²Мацук З.М., ³Козечко В.А., ¹Колесник Е.В.

¹Национальный технический университет «Днепро́вская политехника» МОН Украины,
²ООО «МОДИФИК»

USE OF RIDGE LUBRICATORS OF WHEELS ON RAIL TRANSPORT OF QUARRIES AND MINES

¹Protsiv V.V., ²Matsuk Z.M., ¹Kozechko V.A., ¹Kolesnik Ye.V.

¹Dnipro University of Technology, ²“MODIFIC” LCL

Анотація. У роботі представлено уніфіковану конструкцію гребнезмащувача гребенів коліс з твердозмащувальним наповнювачем, яку можливо встановлювати як на привідних колесах (локомотивів), так і тих, що вільно котяться (вагонів), як рухомого складу Укрзалізниці, промислового рейкового транспорту широкої колії, так і на шахтному й рудниковому підземному транспорті з вузькою колією. На кар'єрах з видобутку залізної руди в Україні та світі достатньо широко використовують залізничний рейковий транспорт широкої колії (1520 мм). На шахтах і рудниках України використовують вузьку рейкову колію (900 мм або 600 мм), тому криволінійні ділянки (закруглення шляху) виконують замалими (радіусом 21 м і навіть менше). Наведені результати порівняльних випробувань штатних і перспективних (модифікованих) змащувальних матеріалів виробництва ТОВ «МОДІФІК» для гребнезмащувачів промислових підприємств і Укрзалізниці підтверджують значну ефективність наданих для цього новітніх мастильних матеріалів з твердозмащувальним наповнювачем. Порівняльна ефективність становить до 340 %. Розкритий механізм дії нових наповнювачів, коли частки наповнювача, що вводять до поверхні тертя разом з мастильними матеріалами, мають незначні абразивні властивості та видаляють шар деформованого металу поверхні тертя, одночасно подрібнюючись між ними та знижуючи, таким чином, свою абразивність. У подальшому виникає мікронагартування поверхонь тертя одночасно з додатковим подрібненням матеріалу твердозмащувальних наповнювачів по поверхням їхньої спайності. На цьому етапі по точках контакту йдуть мікрометалургійні процеси, а з вмісту наповнювачів виходять вільні іони, що дифундують у поверхневі шари матеріалу й утворюють різні види розчинів і хімічних сполук. На поверхнях тертя утворюються шари металокерамики. Характерною особливістю процесу тертя з твердозмащувальними наповнювачами є його здатність до саморегуляції, що обумовлена одночасним протіканням процесів на обох дотичних поверхнях під впливом одного і того ж навантаження.

Ключові слова: тертя, трибологічні процеси, твердозмащувальні наповнювачі, мастильні матеріали

Існуюча проблема. На кар'єрах з видобутку залізної руди в Україні та світі достатньо широко використовують залізничний рейковий транспорт широкої колії (1520 мм). Наприклад, на ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» сформовано 24 потяга з тяговими агрегатами EL21 або ПЭ2М, ПЭ2У та вагонами «думпкарами», у яких транспортують руду від горизонту 210 метрів, куди її від забою доставляють багатотонні вантажівки-самоскиди, до збагачувальної фабрики, де вона спочатку подрібнюється, потім збагачується до концентрату й далі йде на виробництво агломерату. Загальна протяжність контактної мережі ПГЗК – 260 кілометрів. Майже увесь шлях – це суцільна крива, бо з глибин кар'єру можливо прокласти лише спіральну колію – «серпа-

нтин», тому знос гребенів коліс та внутрішніх поверхонь рейок – це велика проблема, що суттєво ускладнює роботу залізничного цеху комбінату. Доречи, суттєво зношуються як гребені приводних коліс локомотивів [1], так і вагонів.

Аналогічні труднощі виникають і на шахтному й рудниковому підземному транспорті. Рейкова колія вузька (900 мм або 600 мм), тому криволінійні ділянки (закруглення шляху) виконують замалими (радіусом 21 м і навіть менше). Інтенсивний знос реборд (гребенів) та внутрішніх поверхонь рейок дошкуляє службі головного механіка, вимагаючи частих заміни колісних пар локомотивів та вагонеток.

Знос відбувається, також, за рахунок агресивного середовища шахтних і кар'єрних вод, абразивного пороку гірських порід, а також не завжди задовільного стану рейкової колії.

Вирішення проблеми. Найбільш ефективним у таких випадках є змащування гребенів набігаючих на рейку коліс рейкового транспортного засобу у той час, коли він рухається по криволінійній ділянці колії. Для усіх видів засобів залізничного транспорту, колісні пари якого розміщені на візках, прикріплених до рами транспортного засобу із можливістю обертання відносно вертикальної осі, гребнезмащувач колеса містить твердий гребнезмащувач, встановлений на важелі, що шарнірно закріплений на рамі візка, та/або тягар, що разом із вагою важеля притискають вказаний гребнезмащувач до реборди колеса, як це показано на рисунку 1.

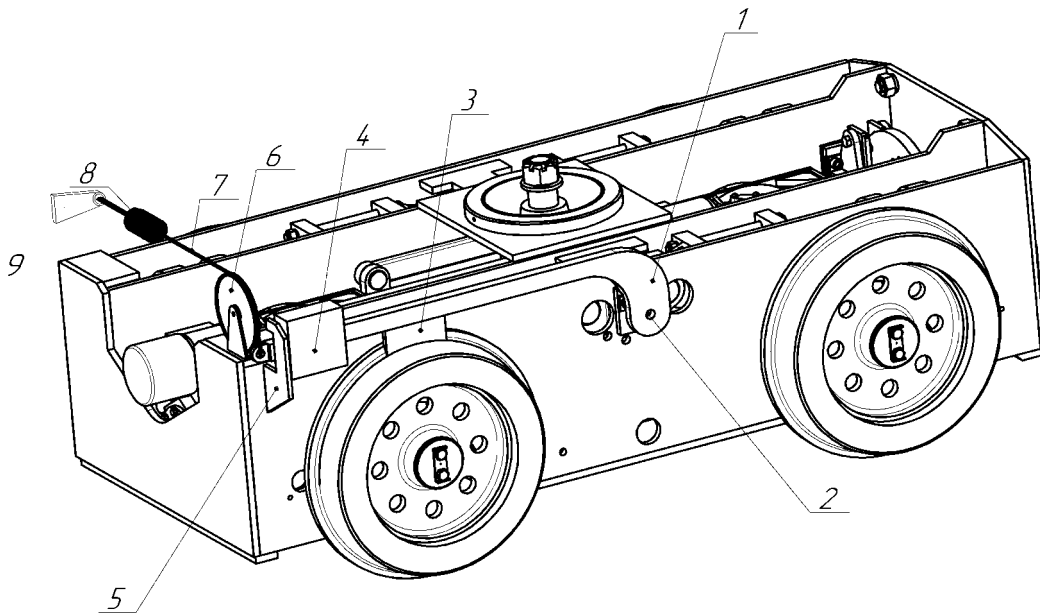


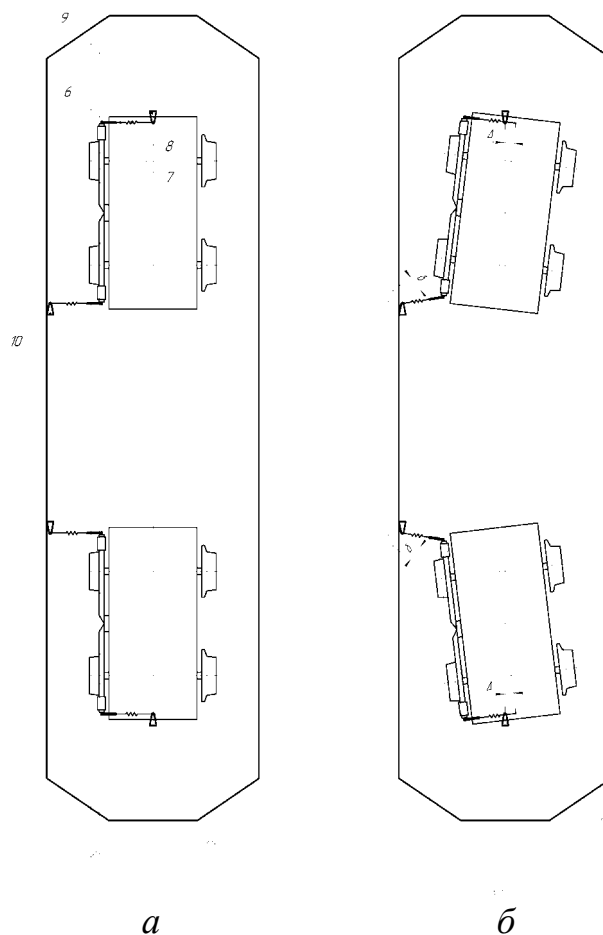
Рисунок 1 – Загальний вигляд візка із гребнезмащувачем колеса

При цьому важіль та/або тягар можуть переміщуватися у вертикальних напрямляючих, розміщених на візку. До того ж вільний кінець важеля з'єднаний гнучким зв'язком і пружиною розтягнення із рамою транспортного засобу через встановлений на візку відхиляючий блок. Також вільний кінець важеля може бути з'єднаний важільним механізмом і пружиною стискування із рамою транспортного засобу через закріплене на візку коромисло. Поперек рами

транспортного засобу на візку може бути встановлена тяга, один кінець якої має клинову поверхню під кінцем (або у пазі) важеля та/або тягара, а інший розмішений шарнірно на вказаній рамі з можливістю обертання навколо вертикальної осі.

Гребнезмащувач колеса рейкового транспортного засобу (див. рис. 1) використовується таким чином. Важіль 1 встановлюють на рамі візка рейкового транспортного засобу через шарнір 2. Твердий гребнезмащувач 3 розміщують на важелі над колесом таким чином, щоб при опусканні важеля вниз гребнезмащувач взаємодіяв з ребордою колеса. На важелі може бути встановлений тягар 4 певної ваги, щоб створювати потрібне зусилля притискання гребнезмащувача до гребеня колеса. Задля унеможливлення перекосів важеля, він може розміщуватися у направляючих 5. Через закріплений на рамі візку блок 6, вільний кінець важеля з'єднують гнучким зв'язком 7 (тросом або ланцюгом) і пружиною розтягнення 8 із рамою 9 транспортного засобу (показана умовно).

Довжину гнучкого зв'язку 7 встановлюють такою (рисунок 2а), що коли транспортний засіб рухається по прямій колії, важіль із гребнезмащувачем є піднятий над колесом (гребнезмащувач не треться по гребеню колеса).



a – рух по прямій; *б* – рух по кривій ділянці рейкової колії

Рисунок 2 – Розміщення візка та рами рейкового транспортного засобу у колії

А коли транспортний засіб переходить у криву (рисунок 2б), радіус якої менше відповідно встановленого значення), то відстань до точки кріплення гнучкого зв'язку 7 до рами транспортного засобу 9 зменшується за рахунок обертання візка навколо вертикальної осі (шкворень) і гнучкий зв'язок дає можливість важелю разом з гребнезмащувачем та/або тягарем опуститися на колесо під дією сили тяжіння. Гребнезмащувач починає тертися об гребінь колеса і змащувати його.

Коли напрям викривлення колії змінюється на протилежний і гребінь колеса непотрібно змащувати (бо колесо не набігаюче), то відстань до точки кріплення гнучкого зв'язку 7 до рами транспортного засобу збільшується за рахунок обертання візка навколо вертикальної осі (шкворень) і пружина 8 розтягується, тримаючи важіль із гребнезмащувачем піднятим над колесом (гребнезмащувач не треться об гребінь колеса).

Можливий варіант виконання пристрою вмикання-вимикання гребнезмащувача у вигляді важільного механізму (рисунок 3а), коли вільний кінець важеля 1 з'єднаний важільним механізмом через пружину стискання 11 із рамою транспортного засобу 9 за допомогою закріпленого на візку коромисла 12.

На рисунку 3 механізми знаходяться у фазі руху транспортного засобу по криволінійній ділянці рейкової колії, тобто гребнезмащувач 3 (показаний разом із вільним кінцем важеля 1 у розрізі) взаємодіє із гребнем колеса.

Можливий також варіант, коли поперек рами транспортного засобу на візку встановлена тяга 13 (рисунок 3б), один кінець якої має клинову поверхню 14 під кінцем (або у пазі) важеля 1 та/або тягара 4, а інший – розміщений шарнірно на вказаній рамі 9 транспортного засобу з можливістю обертання навколо вертикальної осі.

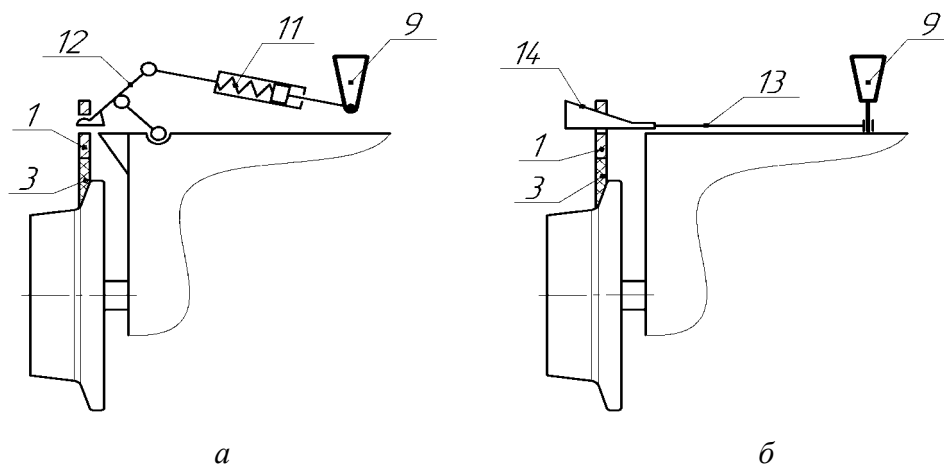


Рисунок 3 – Кінематична схема важільного механізму гребнезмащувача колеса

Надійність роботи твердого гребнезмащувача зі зменшення тертя гребеня колеса об рейку забезпечується вмістом у його полімерній оболонці від 8 до 15 відсотків силікатних гранул, від 25 до 35 відсотків одноосновної карбонової

кислоти, від 50 до 70 відсотків бітуму та до 1 відсотку магнієво-залізистих гідросилікатів. Можливий варіант, коли у полімерній оболонці гребнезмашувача міститься від 80 до 95 відсотків олігомерів та від 5 до 20 відсотків магнієво-залізистих гідросилікатів.

Твердозмашувальний наповнювач такого гребнезмашувача дозволяє суттєво зменшити знос гребенів коліс, як це видно з результатів порівняльних випробувань на машині тертя СМЦ-2 штатних мастил марки Рельсол-М та Рельсол-ГС (виробництва ТОВ «НВО Агрінол» [4]) з новітніми змашувальними матеріалами марок ЗМГЗ НТ30-63 та ЗМРЗ НТ30-63 [5] (виробництва ТОВ «МОДІФІК»). Втрати маси сталених зразків зі сталі марки 45 свідчать про можливість збільшення опору зносу гребенів набігаючих коліс у криволінійних ділянках рейкової колії при використанні змашувальних матеріалів з твердозмашувальним наповнювачем від 170 % до 340 % [6]. Результати зносу (втрати маси) рухомого й нерухомого зразків під час випробувань з різними мастилами наведені на діаграмі (рисунок 4).

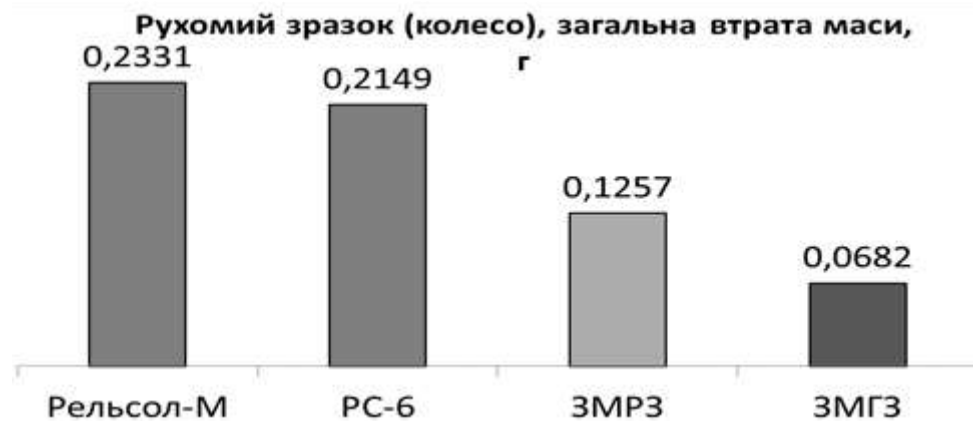


Рисунок 4 – Діаграма втрати маси рухомими зразками (гребенями коліс)

Трибологічний вузол зазвичай містить дві поверхні розділу та плівку мастила, що позділяє їх. Традиційно присадки, що додають у мастило, дозволяють змінювати властивості мастильної плівки практично не впливаючи на властивості поверхонь тертя [7]. Але ж твердозмашувальні наповнювачі принципово відрізняються від розповсюджених антифрикційних присадок можливістю змінювати поверхні тертя у процесі роботи трибологічного вузла. В результаті обробки такими наповнювачами, на поверхні тертя з'являється новий шар, що за своїми трибологічними властивостями (зносостійкості та антифрикційним властивостям) значно перевершує властивості деформованих шарів без такого наповнювача.

За результатами обробки існуючих поверхонь тертя твердозмашувальними наповнювачами, створюється новий шар, що за своїми властивостями значно перевершує деформовані шари без такого наповнювача. Потрапляючи до зони тертя, твердозмашувальні наповнювачі суттєво зміцнюють її. Наприклад, сталь марки 45 після нормалізації зазвичай має ферито-перлітову структуру з пластинчатим перлитом. Якщо її використовувати у якості пари тертя, то в ній

відбуваються зміни – у підповерхневих шарах зернин фериту спостерігається виділення часток нової дрібнозернистої фази. Вона має округлу трохи каплеподібну форму та неупорядковано орієнтована відповідно до початкових зернин кристалічної решітки. Кількість виділеної фази непостійна й неоднакова у різних зернах. Також спостерігаються сліди пластичного деформування, ступінь якого у деяких випадках досягає 80 %. Наявна видовженість зернин. На деяких ділянках майже неможливо розпізнавати структурні складові. Після закінчення припрацювання пар тертя, у приповерхневих шарах з'являється троститна структура з великою мікротвердістю, а на поверхні – м'яка феритна структура, що легко деформується (мнеться). Усе це свідчить про великий ступінь пластичного деформування й значні температури, що виникають на вузьких прилеглих до поверхонь тертя шарах зразків.

У разі використання твердозмашувальних наповнювачів, на поверхнях тертя утворюються білі за кольором шари, що не піддаються хімічному травленню, як це властиво металам. Алюміній та залізо, що входять до наповнювачів, стають каталізаторами утворення піровуглецю у кордонах зернин поверхневого шару, а основний склад наповнювача модифікує прикордонний шар з великим ступенем вільних зв'язків, що приєднують «втрачений» при попередньому терті металічний матеріал з дисперсного середовища мастильних матеріалів. Таким чином зменшується шорсткість поверхні, а її западини заповнюються матеріалами твердозмашувальних наповнювачів. У передповерхневих шарах спостерігається подрібнення цементитних пластин у перліті, а також зменшення кількості феритних зернин.

Загалом, механізм дії твердозмашувальних наповнювачів можливо представити таким чином. За час експлуатації вузла тертя на його поверхнях утворюється дефектний шар металу. Частки наповнювача, що вводять до поверхні тертя разом з мастильними матеріалами, мають незначні абразивні властивості та видаляють цей шар металу, одночасно подрібнюючись між поверхнями тертя та знижуючи, таким чином, свою абразивність. У подальшому виникає мікронагартування поверхонь тертя одночасно з подальшим подрібненням матеріалу твердозмашувальних наповнювачів за поверхнями їхньої спайності. На цьому етапі по точках контакту йдуть мікрометалургійні процеси, а з вмісту наповнювача виходять вільні іони, що дифундують у поверхневі шари матеріалу й утворюють різні види розчинів і хімічних сполук. На поверхнях тертя утворюються шари металокерамики.

Характерною особливістю процесу тертя з твердозмашувальними наповнювачами є його здатність до саморегуляції, що обумовлена одночасним протіканням процесів на обох дотичних поверхнях під впливом одного і того ж навантаження. Дифузія твердозмашувальних наповнювачів у тверду поверхню відбувається повільніше, що призводить до поступового зрівнювання мікротвердості поверхневих шарів контактуючих деталей. Процес збільшення лінійних розмірів деталей теж є саморегулюючим, оскільки діє доти, поки не будуть «вибрані» (зменшені до мінімально потрібних) існуючі зазори між поверхнями тертя.

Така здатність до саморегуляції процесу використання твердозмащувальних наповнювачів відкриває великі перспективи їх використання у залізничному транспорті, та, перш за все, задля змащування гребенів коліс рухомого складу на кривих ділянках рейкової колії.

Висновки

1. Гребнезмащувачі гребенів коліс з твердозмащувальним наповнювачем уніфікованої конструкції можливо встановлювати як на привідних колесах (локомотивів), так і тих, що вільно котяться (вагонів), рухомого складу Укрзалізниці, промислового рейкового транспорту широкої колії, а також і на шахтному й рудниковому підземному транспорті з вузькою колією.

2. Використання змащувальних матеріалів з твердозмащувальним наповнювачем дає можливість збільшення опору зносу гребенів набігаючих коліс у криволінійних ділянках рейкової колії від 170 % до 340 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гетьман Г.К. Статистический анализ износа гребней колесных пар локомотивов на Приднепровской железной дороге / Гетьман Г.К., Афанасов А.М., Швець А.В. // Труды IX Между-нар. конф. "Проблемы механики железнодорожного транспорта". 1996. С.69.
2. Protsiv V.V., Monya A.G. Experimental determination of characteristics of clutch of mine locomotive under the braking conditions. Metallurgicheskaya i Gorno-rudnaya Promyshlennost. № 2, P. 95-97. <https://www.researchgate.net/publication/293546988_Experimental_determination_of_characteristics_of_clutch_of_mine_locomotive_under_the_braking_conditions> [Accessed 20 January 2003].
3. Проців В.В., Новицький О.В., Самойлов А.І. Переваги магніторейкового довантажувача над рейковим гальмом у шахтному локомотиві // Науковий вісник Національного гірничого університету Дніпропетровськ: НГУ, 2012. № 4. С. 79 – 83. Advantages of magnetic loader over rail brakes on mine locomotive. <<http://nv.nmu.org.ua/index.php/ru/glavnaya/89-ruscat/arkhiv-zhurnala/2012/soderzhanie-4-2012/geotekhnicheskaya-i-gornaya-mekhanika-mashinostroenie/184-preimushchestva-magnitorelsovogo-dogruzhatelya-nad-relsovyim-tormozom-na-shakhtnom-lokomotive>> [Accessed 09 November 2012].
4. ТУ У 23.2-30802090-055:2006 «Мастила «Агрінол Рельсол» Технічні умови».
5. ТУ У 20.5-42277844-001:2019 «Наповнювачі твердозмащувальні. Технічні умови».
6. Проців В.В., Мацук З.М., Козечко В.А. Випробування змащувальних матеріалів для гребнезмащувачів та пересувних стаціонарних колійних рейкозмащувачів // Збірник наукових праць міжнародної конференції «Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості та транспорту 2019». Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. С. 80-86. <http://okmm.nmu.org.ua/ru/2019/citep2019.pdf>.
7. Исследование механизма действия геомодификаторов и разработка геотрибологии с целью повышения ресурса горно-металлургического оборудования: отчет о НИР (заключительный) / Национальный горный университет. рук. Р. П. Дидык – ГП-294; ГР 0102U003026. – Д., 2003. – 120 с.

REFERENCES

1. Getman G.K., Afanasov A.M., Shvets A.V. Statistical analysis of the wear of the crests of locomotive wheelsets on the Dnieper Railway // Transactions of IX International Conference. "Problems of the mechanics of railway transport". 1996. P.69.
 2. Protsiv V.V., Monya A.G. Experimental determination of characteristics of clutch of mine locomotive under the braking conditions. Metallurgicheskaya i Gorno-rudnaya Promyshlennost. № 2, P. 95-97. <https://www.researchgate.net/publication/293546988_Experimental_determination_of_characteristics_of_clutch_of_mine_locomotive_under_the_braking_conditions> [Accessed 20 January 2003].
 3. Protsiv V.V., Novitsky O.V., Samoilov A.I. Benefits of a Magnetic Rail Loader over a Rail Brake in a Mine Locomotive // Science News of the National University of Dnepropetrovsk: NSU, 2012. No. 4. P. 79 - 83. Advantages of magnetic loader over rail brakes on mine locomotive. <<http://nv.nmu.org.ua/index.php/ru/glavnaya/89-ruscat/arkhiv-zhurnala/2012/soderzhanie-4-2012/geotekhnicheskaya-i-gornaya-mekhanika-mashinostroenie/184-preimushchestva-magnitorelsovogo-dogruzhatelya-nad-relsovyim-tormozom-na-shakhtnom-lokomotive>> [Accessed November 09, 2012].
 4. TU U 23.2-30802090-055: 2006 "Agrinol Relsol Lubricants" Specifications".
 5. TU U 20.5-42277844-001: 2019 "Fillers are solid lubricants. Specifications".
 6. Protsov VV, Matsuk ZM, Kozechko VA Testing of lubricants for comb lubricants and stationary track track lubricants // Proceedings of the international conference "Modern innovative technologies of engineering training for the mining industry and transport 2019". Dnipro: NTU "Dniprovsk Polytechnic", 2019. P. 80-86. <http://okmm.nmu.org.ua/en/2019/citep2019.pdf>.
- Study of the mechanism of action of geomodifiers and the development of geotribology in order to increase the resource of mining and metallurgical equipment: report on research (final) / National Mining University. hands. R.P. Didyk - GP-294; GR 0102U003026. - D., 2003. -- 120 p

Про авторів

Протів Володимир Васильович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, protsiv@ukr.net

Мацук Захар Миколайович, магістр, директор товариства з обмеженою відповідальністю «МОДИФІК», Дніпро, Україна, modific@ukr.net

Козечко Вікторія Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, kozehkova@ukr.net

Колесник Євген Валерійович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач лабораторії кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, ievgen.kolesnyk@ukr.net

About the authors

Protsiv Volodymyr Vasylovych, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of the Department of technologies of machine building and engineering and material sciences, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, protsiv@ukr.net

Matsuk Zakhar Mykolaiovych, Master of Science, Director of "MODIFIC" Liability Company Limited, Dnipro, Ukraine, modific@ukr.net

Kozechko Viktoriya Anatoliivna, Candidate of Technical Science (Ph.D.), Associate Professor of the Department of technologies of machine building and engineering and material sciences, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, kozehkova@ukr.net

Kolesnyk Yevhen Valeriiovych, Candidate of Technical Science (Ph.D.), Associate Professor, Head of the Laboratory in the Department of technologies of machine building and engineering and material sciences, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, ievgen.kolesnyk@ukr.net

Аннотация. В работе представлена унифицированная конструкция гребнесмазывателя гребней колес с твердосмазывающим наполнителем, которую можно устанавливать как на приводных колесах (локомотивов), так и свободно катящихся (вагонов), подвижного состава Укрзалізничці, промышленного рельсового транспорта широкой колеи, а также и на шахтном и рудничном подземном транспорте с узкой колеей. На карьерах по добыче железной руды в Украине и мире достаточно широко используют железнодорожный рельсовый транспорт широкой колеи (1520 мм). На шахтах и рудниках Украхны используют узкую рельсовую колію (900 мм или 600 мм), поэтому криволинейные участки (закругления пути) выполняют малыми (радиусом 21 м и даже меньше). Приведенные результаты сравнительных испытаний штатных и перспективных (модифицированных) смазочных материалов производства ООО «МОДИФИК» для гребнесмазывателей промышленных предприятий и Укрзалізничці подтверждают значительную эффективность предоставленных для этого новейших смазочных материалов с твердосмазывающим наполнителем. Сравнительная эффективности составляет до 340 %. Раскрыт механизм действия новых наполнителей, когда частицы наполнителя, которые вводят в поверхности трения вместе со смазочными материалами, имеют незначительные абразивные свойства и удаляют слой деформированного металла с поверхности трения, одновременно измельчаясь между ними и снижая, таким образом, свою абразивность. В дальнейшем возникает микронаклеп поверхностей трения одновременно с последующим измельчением материала твердосмазывающих наполнителей по поверхностям их спайности. На этом этапе по точкам контакта идут микрометаллургических процессы, а из среды наполнителя выходят свободные ионы, которые диффундируют в поверхностные слои материала и образуют различные виды растворов и химических соединений. На поверхностях трения образуются слои металлокерамики. Характерной особенностью процесса трения с твердосмазывающими наполнителями является его способность к саморегуляции, которая обусловлена одновременным протеканием процессов на обеих соприкасающихся поверхностях под влиянием одной и той же нагрузки.

Ключевые слова: трение, трибологические процессы, твердосмазывающие наполнители, смазочные материалы

Annotation. The work presents a unified design of a crest lubricator of wheel flanges with a solid lubricating filler, which can be installed both on drive wheels (locomotives) and freely rolling (wagons), Ukrzaliznytsya rolling stock, wide-gauge industrial rail transport, as well as on mine and mine underground transport with a narrow track. In iron ore quarries in Ukraine and the world, rail rail transport of a wide gauge (1520 mm) is quite widely used. A narrow rail colony (900 mm or 600 mm) is used in the mines and mines of Ukraine, so curved sections (curvings of the path) are made small (with a radius of 21 m or even less). The results of comparative tests of standard and prospective (modified) lubricants manufactured by MODIFIC LLC for comb lubricators of industrial enterprises and Ukrzaliznytsia confirm the significant effectiveness of the latest lubricants with solid lubricating filler provided for this. Comparative efficiency is up to 340%. The mechanism of action of new fillers is disclosed when filler particles, which are introduced into the friction surface together with lubricants, have insignificant abrasive properties and remove a layer of deformed metal from the

friction surface, while grinding between them and thus reducing their abrasiveness. Subsequently, micro-riveting of friction surfaces occurs simultaneously with subsequent grinding of the material of solid lubricating fillers on their cleavage surfaces. At this stage, micrometallurgical processes occur at the contact points, and free ions exit the filler medium, which diffuse into the surface layers of the material and form various types of solutions and chemical compounds. On the friction surfaces, cermet layers are formed. A characteristic feature of the friction process with solid lubricating fillers is its ability to self-regulation, which is due to the simultaneous occurrence of processes on both contacting surfaces under the influence of the same load.

Keywords: friction, tribological processes, solid lubricants, lubricants

Стаття надійшла до редакції 18.12.2018

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Р.В. Кірісю