

С. О. Лук'яненко, д-р техн. наук (НТУУ «КПІ»)
Б. Д. Халмурадов, канд. мед. наук, С. М. Занько
(Національний авіаційний університет)

ВИРОБНИЧИЙ РИЗИК ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПАР ТЕРТЯ У ПРЕЦИЗІЙНИХ МЕХАНІЗМАХ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У роботі висвітлено питання зниження технічних причин виробничого ризику при використанні пар тертя у прецизійних механізмах силових агрегатів транспортних засобів. Запропонована методика безрозбірного відновлення за допомогою постійного магніту дозволяє в умовах зміни утомної міцності матеріалу стабілізувати та покращити показники виробничого ризику при експлуатації прецизійних механізмів силових агрегатів транспортних засобів.

Ключові слова: гідравлічне обладнання, тертя руйнування, ризик, втома матеріалу.

В работе освещены вопросы снижения технических причин производственного риска при использовании пар трения в прецизионных механизмах силовых агрегатов транспортных средств. Предложенная методика безразборного восстановления с помощью постоянного магнита позволяет в условиях изменения усталостной прочности материала стабилизировать и улучшить показатели производственного риска при эксплуатации прецизионных механизмов силовых агрегатов транспортных средств.

Ключевые слова: гидравлическое оборудование, трение разрушения, риск, усталость материала.

The paper highlights the issues of technical reasons lowering operational risk by using the friction pairs in precision mechanisms powertrain vehicles. The proposed method CIP recovery with the help of a permanent magnet allows the changing of the fatigue strength of the material to stabilize and improve the performance of the production risk in the operation of precision mechanisms powertrain vehicles.

Keywords: hydraulic equipment, friction fracture risk, fatigue material.

Вступ. У наш час при виконанні процедур, пов'язаних із вступом України у Євросоюз і виходом її продукції на Європейський ринок,

особливої актуальності набувають питання забезпечення ризик-орієнтованого підходу при оцінюванні стану охорони праці на промислових об'єктах, транспорті тощо, оскільки загально прийняті у більшості промислово розвинених країн стандарти OHSAS 18001:2010 (менеджмент охорони праці) та ISO 9001:2000 (системи менеджменту якості) ідентифікують якість продукції із безпекою праці.

Сучасний стан проблеми. За 2015 рік в Україні на виробництві було травмовано 4260 осіб (із них 375 – смертельно), що порівняно з 2014 роком менше на 2058 і 173 особи відповідно.

Але зважаючи на ту обставину, що до середини 2014 року майже 30 % усієї валової продукції давали підприємства різних галузей, які зараз знаходяться у зоні АТО і не працюють, можна зробити висновок, що показники виробничого травматизму за останні роки у цілому майже не змінилися [1].

Відносно АР Крим можна зауважити тільки те, що наведені у джерелі [1] за 2014 рік показники неможливо брати до уваги з тієї ж причини та відсутність даних про стан виробництва, починаючи з 2 кварталу 2014 року. Але є інші данні щодо показників. Так, на сайті Харківської ОДА станом на 1 жовтня 2015 року повідомляється [2], що за 8 місяців порівняно з відповідним періодом 2014 року загальний виробничий травматизм у області знизився на 31 %, а смертельний – більш ніж у три рази. При цьому не вказані ані показники економічної діяльності, ані кількість працівників.

Дослідження та впровадження нових методів і засобів оцінки та зниження виробничого ризику при виготовленні та експлуатації елементів і вузлів прецизійних механізмів (зокрема, плунжерних пар насосів, гідромоторів, двигунів внутрішнього згорання) транспортних засобів (авіа-, авто-, суднобудівельних і залізничних), що є потенційно небезпечними з огляду на можливість соціальних і економічних збитків, а також травмування і загибелі людей, дозволяють значно поліпшити стан охорони праці, а, відповідно, і якість цих вузлів, знизити небезпеки при використанні. Це дає можливість економії фінансових і матеріальних ресурсів в умовах розвитку технічного прогресу, однією із головних характеристик якого є довговічність і ремонтпридатність. Адже пристрої вищезазначених засобів експлуатуються у різних середовищах при значних коливаннях динамічних і температурних показників, у тому числі й у закритих системах, які є важкодоступними для контролю їх технічного стану, ремонту та відновлення. Особливо це стосується пар тертя і є високовартісною процедурою та призводить до зростання накладних витрат при їх експлуатації, оскільки навіть у розвинених країнах ремонтом різних складних механізмів, на які витрачається п'ята частина усього металу, що виплавляється, зайнято близько 30 % від загальної чисельності робітників і така ж частина верстатного парку.

Відомо також, що діапазон змін показників безвідмовності елементів і вузлів гідронасосів знаходиться у межах від 10^{-5} ... 10^{-3} до 10^{-3} ... 10^{-1} , а їх прискорене напрацювання на відмову збільшує ризик травмування працівників поряд із організаційними і психофізіологічними його причинами.

Причини і можливість настання виробничої травми у разі нещасного випадку (далі – НВ) залежать від цілого комплексу причин, таких як: характер і умови сучасної праці, особливості технологічного процесу, обладнання, ергономічні параметри показників робочого місця (далі – РМ), а також психофізіологічні характеристики людини-оператора. Але з відомих причин сьогодні виділяють три основні класи виробничої травми – організаційні, технічні та психофізіологічні.

На рівень перших впливає якість організації праці на всій протяжності технологічного процесу від прохідної підприємства до робочого місця, включно із дотриманням правил використання чи експлуатації транспортних засобів, обладнання, інструментів, території, відсутність чи задіяність засобів колективного та індивідуального захисту, порушення або недоліки в організації РМ, невиконання або недотримання різних правил і норм не лише при здійсненні основних виробничих завдань, а й при складуванні та зберіганні матеріалів, пристроїв, готової продукції, а також недоліки у організації праці та відпочинку, нагляді за їх дотриманням та у навчанні працівників та їхньої атестації на допуск з *безпечного* виконання *робіт* тощо.

Технічні причини відрізняються не лише станом, досконалістю та відповідністю сучасним вимогам технологічних процесів, обладнання, інструменту, засобів захисту, споруд і приміщень, міцністю та витривалістю елементів і вузлів, їх напрацювання на відмову (табл. 1), а і порушеннями санітарно-гігієнічних вимог, що призводить до виникнення на робочому місці та всьому виробничому приміщенні підвищених рівнів шуму, вібрації, концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони, несприятливому освітленню, ненормованих метеорологічних умов праці тощо.

Увесь комплекс вищезазначених причин впливає на ті роботи, що пов'язані з безрозбірними варіантами відновлення як найбільш економічними, оскільки вони дозволяють скоротити витрати на ремонт і подовження ресурсу роботи обладнання, а також зниження ризику травмування за рахунок післяремонтного збільшення напрацювання на його відмову.

Одним із таких методів є використання альтернативних джерел енергії, зокрема магнітного поля (далі – МП), для переносу феромагнітних матеріалів на поверхні пар тертя, які зношуються у процесі експлуатації. Це пов'язане із здатністю наведеного постійним

магнітом МП навіть невеликої напруженості, змінювати швидкість електрохімічних і хімічних характеристик матеріалів в умовах нестабільного стану, в яких вони знаходяться у вузлі тертя.

Таблиця 1

Показники безвідмовності гідравлічного обладнання (за [3])

№	Найменування обладнання	Інтенсивність відмов	Значення, 1/год.
1.	Насоси гідравлічні	Під час роботи	0,0004
2.	Клапани гідравлічні з приводом від електродвигуна	При відкритті у При утриманні у відкритому положенні	0,0001 0,0005
3	Клапани гідравлічні з приводом від соленоїду	При відкритті у При утриманні у відкритому положенні	0,0004 0,0002
4.	Трубопроводи гідравлічні	При навантаженні	1×10^{-9}
5.	Циліндри гідравлічні	При навантаженні	0,00009
6.	Зворотні клапани	При роботі	0,00003
7.	Датчики тиску	При вимірюванні	0,00005
8.	Манометри	Під навантаженням	0,00005
9.	Витратовимірювач гідравлічний	При роботі	0,0003
10.	Посудини високого тиску	Руйнування	0,00005

Однак широке впровадження магнітного поля для переносу феромагнітних матеріалів на поверхні пар тертя уповільнюється, оскільки для такого методу недослідженим є питання причин розбіжності у дії МП у різних умовах експлуатації вказаних матеріалів і механізму цієї дії. За основу у роботі прийнято обґрунтування щодо здатності МП змінювати напрям масопереносу заряджених часток не тільки в агресивних, а і в інших існуючих мастильних середовищах, оскільки вони складаються із заряджених часток іонів.

Номенклатура сучасних гідравлічних і мастильних систем постійно розширюється, що потребує підвищення ресурсу та надійності безвідмовної роботи пар тертя гідравлічних та інших систем. Тому розробка ризик-орієнтованого науково-методичного забезпечення процесу безрозбірного відновлення плунжерних пар гідронасосів при використанні МП дозволить підвищити їх післяремонтну якість і

зменшити показники виробничого ризику у процесі їх подальшої експлуатації, що є актуальним завданням.

У наш час відомі декілька методів і технологій відновлення та ремонту плунжерних пар, що базуються як на механічній обробці їх поверхонь тертя, наприклад, шліфуванням, так і на нанесенні композиційного покриття, зокрема, хромуванням [4] або наплавленням [5]. Але з точки зору оптимізації процесу відновлення за правилом «ціна – якість» для забезпечення заданої довговічності або напрацювання на відмову, тобто зменшення ризику травмонебезпечної ситуації при використанні транспортних засобів з механізмами типу гідроциліндри, паливні насоси тощо, основним вузлом яких є плунжерні пари, необхідно використовувати системне проектування.

Метою роботи є шляхи підвищення ресурсу гідравлічного обладнання для зменшення ймовірності аварійних ситуацій. У зв'язку з вищезгаданим постає актуальність вказаної проблеми, необхідність поглибленого дослідження зношення та відновлення пар тертя при дії на них магнітного поля в умовах використання мастильних середовищ на основі системного підходу та методів системного аналізу зумовили вибір теми, актуальність і цільову спрямованість цієї роботи.

Для вирішення вищезазначеної проблеми було розроблено методіку оцінки зміни топографії поверхонь пар тертя напрацюванням на відмову і моделювання показників виробничого ризику та інформаційно-вимірjuвальний комплекс з вузлом тертя, фотокамерою, електродвигуном змонтованих на станині з мікроскопом таким чином, що через його об'єктив подається сфокусоване освітлення на дільницю тертя металевого зразка перпендикулярно площині тертя та, відбиваючись від працюючої об'єктивної поверхні, проходить через оптичну вісь у зворотному напрямку і фокусується у фотокамері спеціально підготовленого магніту, вмонтованого під площиною контртіла на об'єктиві фотокамери таким чином, щоб магнітні лінії перетинали площину тертя тензометричної балки з пружиною для навантаження, датчика вібрації, диска з контртілом і двох комп'ютерів для прийняття вібраційного сигналу та оброблення і фотографування поверхонь тертя. Це дозволяє у динамічному режимі здійснювати моніторинг змін топографії поверхонь пар тертя, оцінювати кількісні та якісні параметри відновлення зношених поверхонь, збільшення терміну їх напрацювання на відмову, а, відповідно, і виробничого ризику.

Ця методика дозволила встановити, що при безрозбірному відновленні пар тертя розташування робочих поверхонь на полюсі N постійного магніту зміщує у феромагнітних матеріалах механізм тертя у бік відновлення, а процес намагнічування у мастильному середовищі часток зношеного матеріалу супроводжується їх утриманням у зоні тертя

з подальшим налипанням на найбільш енергетично нестабільні зони тертя, що дозволяє стабілізувати в умовах часу зміни стомлюючої міцності матеріалу, показники виробничого ризику при експлуатації прецизійних механізмів силових агрегатів транспортних засобів.

Також було визначено параметри активного відновлення пара- і діамагнітних матеріалів при розташуванні поверхонь на дільниці між полюсами постійного нерівномірного магнітного поля ($N - S$). Зокрема встановлено, що магнітна індукція силою у 100 мкТл здатна утримувати парамагнітний порошок свинцю у зоні тертя, що при магнітній проникності свинцю $\mu = 1,0007$ і сталі $\mu \approx 800$ дозволяє часткам металу мікронних розмірів, які є продуктами зношення, отримати значну сумарну магнітну індукцію до 800 мкТл, що сприяє їх укріпленню у деформовану структуру поверхні сталі та її відновленню з утворенням фактичних плям контакту із складу парамагнітного порошку свинцю.

Встановлено, що у середовищі поліетиленгліколю ПЕГ-400 трибоелектрохімічні характеристики процесу відновлення є найбільш сталими і дієвими за рахунок його здатності бути якісним переносником атомів матеріалу анода (відновлювача) шляхом приєднання до одного з незаповнених своїх ланцюгів іону металу, який під впливом роботи трибосистеми чіпляється за дефектні місця кристалічної решітки, що виходять на поверхню тертя, відновлюючи її лінійні параметри, що дозволяє стабілізувати надійність обладнання та знизити ризик травмування працівників.

Висновки

Розроблено методику відновлення робочих поверхонь пар тертя прецизійних механізмів сумісною дією магнітного поля та трибоелектрохімічних процесів і визначення впливу їх параметрів на збільшення показників напрацювання на відмову, що дозволяє зменшити виробничий ризик травмування працівників через технічні причини.

У патентах України на корисну модель № 36600 МПК (2006) від 27.10.2008 [6] та на корисну модель № 36601 МПК (2006) від 27.10.2008 [7] обґрунтовано вирішення задачі з удосконалення способу відновлення поверхні тертя та засобу для дослідження матеріалів на тертя і зношення. Розроблено рекомендації з визначення параметрів магнітного поля та трибоелектрохімічного механізму для відновлення поверхонь, наприклад, плунжерних пар, що використовуються як насоси та силові елементи в насосах, гідромоторах і двигунах внутрішнього згорання. Їх впровадження дозволяє знизити ризик виникнення небезпечної, критичної або аварійної ситуації, при експлуатації транспортних засобів, відмова силових агрегатів яких може призвести до людських втрат як

серед обслуговуючого персоналу, так і пасажирів та інших учасників руху.

Список літератури

1. Стан виробничого травматизму за 12 місяців 2015 та 2014 року по галузях нагляду (осіб). [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://dnop.gov.ua/index.php/uk/operativna-informatsiya/travmatizm>.

2. На підприємствах регіону знижується виробничий травматизм [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://kharkivoda.gov.ua/news/76409/>

3. Державної служби статистики України. Офіційний сайт. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

4. Малихін О.В. Виробничий травматизм в Україні у I півріччі 2015 року: особливості і тенденції /О. В. Малихін, Т. М. Таїрова, І. В. Левченко // Інформаційний бюлетень з охорони паці. – К.: ДУ «ННДПБОП». – 2015. – № 3. – С. 17–29.

5. Леонтьев А. П. Повышение долговечности плунжерных пар топливных насосов высокого давления судовых дизелей нанесением износостойких покрытий : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.08.04 «Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства» / А. Л. Леонтьев. – Владивосток, 2012. – 22 с.

6. Токликишвили А. Г. Совершенствование технологии восстановления шеек коленчатых валов судовых среднеоборотных дизелей формированием износостойких покрытий : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук, : спец. 05.08.04 «Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства» / А. Г. Токликишвили. – Владивосток, 2013. – 20 с.

7. Патент України 36600 МПК (2006) G01N 3/56. Пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування / Свирид М. М., Паращанов В. Г., Занько С. М., Задніпровська С. М., Приймак Л. Б. // Опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20.

8. Патент України 36601 МПК (2006) G01N 3/56. Спосіб відновлення поверхні тертя / Свирид М. М., Кравець І. А., Паращанов В. Г., Занько С. М., Задніпровська С. М. // Опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20.

Дата подання статті до збірника – 30.03.2016