

ВПЛИВ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ СИСТЕМИ «ЛЮДИНА-МАШИНА-ДОВКІЛЛЯ»

Радіонов Олександр Володимирович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
ТОВ «НПЗП «Ферогідродинаміка»
ORCID: 0000-0001-7282-578X
e-mail: ferrohydrodynamica@gmail.com

Тарельнік Наталія В'ячеславівна

кандидат економічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-6304-6925
e-mail: natasha-tarelnik@ukr.net

Думанчук Михайло Юрійович

старший викладач,
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-3559-4729
e-mail: m_duman@i.ua

В статті розглянуто питання підвищення екологічної безпеки технічних систем шляхом вдосконалення їх технічного сервісу. Розглянуто вплив комплексу заходів з технічного обслуговування обладнання на надійність функціонування технічних систем. Прیدілена увага питанням модернізації технологічного устаткування, що забезпечує поліпшення властивостей системи в жорстких умовах існуючої конструкції. Представлено досвід модернізації електродвигунів шляхом застосування магніторідинних герметизуючих комплексів. Запропоновано варіант модернізації підшипникових вузлів насосних та компресорних агрегатів шляхом формування комплексних електроіскрових покриттів на елементах підшипників ковзання.

Ключові слова: екологічна безпека, довговічність, технічний сервіс, модернізація, покриття, підшипник, ущільнення, електродвигун, компресор, насос.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.2.8>

Вступ.

Однією з фундаментальних складових загальної безпеки є екологічна безпека, суть якої полягає у формуванні сприятливих природних умов для життєдіяльності людини. Багато машин і устаткування слід розглядати як джерела підвищеної небезпеки для людей і навколишнього середовища.

Оцінка захищеності складних технічних систем (СТС) визначається їх здатністю протистояти виникненню і розвитку несприятливих ситуацій в штатних і позаштатних умовах. Оцінку захищеності складних технічних систем і вироблення захисних заходів припадає здійснювати в умовах високого рівня невизначеності щодо інтенсивності експлуатаційних навантажень і зовнішніх впливів на систему, а також несучої здатності відповідальних елементів СТС на різних етапах циклу експлуатації. Джерелом невизначеності є: природна варіативність параметрів системи і зовнішнього середовища, обмеженість знань про зв'язки між елементами СТС, між подіями і процесами, в них протікають; неточність наявних статистичних даних та існуючих оцінок;

Для України ситуація ускладнюється тим, що більшість заводів було збудовано 40 та більше років тому. А це означає, що старіють всі фабрики і заводи, їх комунікації. Велика частина основних виробничих фондів в Україні в даний час фізично зношена і морально застаріла, ступінь їх зносу в окремих галузях перевищує 80%, а рівень оновлення знаходиться в межах 0,4...9% [1]. Цією обставиною пояснюється

виробничий травматизм і високий рівень професійних захворювань.

У порівнянні з ненадійним становищем в традиційній енергетиці через дефіцит органічного палива, фізичного і морального старіння обладнання теплових електростанцій, через шкідливий їх вплив на навколишнє середовище, ядерна енергетика працює досить стабільно і при дотриманні всіх заходів безпеки є найбільш екологічно чистим джерелом енергії. Незважаючи на відносно високу надійність АЕС їх обладнання також потребує модернізації. Концепція підвищення безпеки діючих енергоблоків атомних електростанцій (далі - Концепція) [2] є основоположним документом для продовження реалізації заходів, передбачених «Комплексною програмою модернізації та підвищення безпеки енергоблоків атомних електростанцій». В продовження планування після 2010 року ДП НАЕК "Енергоатом" у 2010 році розробив "Комплексну програму підвищення безпеки енергоблоків АЕС України", в якій необхідні заходи відсортовані по їх пріоритетності [3].

Процеси функціонування СТС та процеси забезпечення їх безпеки багато в чому принципово відрізняються. Перші орієнтовані на досягнення головної, виробничої мети складної технічної системи, тому їм приділяється основна увага на всіх стадіях життєвого циклу. Другі визначаються, на жаль, досить часто як другорядні зважаючи помилкової думки, що основні проблеми працездатності і надійності, а, отже, і безпеки СТС вирішені на етапах розробки, доведення,

випробувань, доопрацювання.

Тому важливою є проблема безпеки при нормальній експлуатації. Бездіяльність будь-якої СТС можна розглядати як складну систему (подія), яка має просторову і часову характеристику, тобто відбувається в певний час і в обмеженому просторі, і складається з ряду окремих елементів виробничого циклу, що знаходяться в причинно-наслідкових зв'язках, які в цілому складають систему типу «людина-машина-середовище». Імовірність виникнення таких відмов повинна бути знижена до мінімуму за допомогою технічних і організаційних заходів.

Для цього необхідно забезпечити системну узгодженість оцінювання і коригування працездатності і безпеки в процесі функціонування СТС. Тому важливо встановити вплив кожного з її елементів на забезпечення необхідного рівня безпеки. Одним з таких елементів, який вимагає всебічного дослідження та вивчення, є організація виробничого технічного сервісу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У літературі досить докладно досліджуються особливості та властивості технічних систем, що призводять до проблем при взаємодії з навколишнім середовищем. До них відносяться дрібні відмови, які можуть в результаті провокувати значні наслідки; накопичення прихованих ушкоджень, старіння матеріалів, втомні динамічні процеси в конструкціях, що призводять до різких якісних змін; спільна дія різних факторів в залежності від їх поєднання і послідовності впливу, що в результаті викликає різні наслідки; індивідуальні відмінності навіть однотипних технічних систем в силу «віку» і особливостей експлуатації до дії факторів середовища, той чи інший вплив, «знайшло» уразлива ланка в СТС, що може призвести до ланцюгової реакції відмов і т.д.) [4 - 6].

З урахуванням того, що неможливо створити абсолютно безпечні технології і забезпечити абсолютну безпеку, очевидно, слід прагнути до досягнення такого рівня ризику, з яким суспільство в даний період часу може погодитися. Прийнятний ризик поєднує в собі технічні, екологічні, соціальні аспекти і представляє певний компроміс між прийнятним рівнем безпеки і економічними можливостями його досягнення [7].

Проведений аналіз літературних джерел показав, що основна увага в наукових роботах приділяється питанням оцінки ризику при реалізації власне процесів життєвого циклу. Слід зауважити, що питання оцінки ризиків, які виникають при розробці, впровадженні та/або модернізації технологічного обладнання та його елементів висвітлюється явно в недостатньому обсязі. Це ж відноситься і до аналізу існуючого технологічного рівня в даній галузі промисловості.

В [8] зазначається, що найменш вивченим є питання формування екологічної небезпеки та управління безпекою в умовах постійно діючого технологічного навантаження, яка не носить яскраво вираженого екстремального характеру. В [9] прямо вказується, що мета подальших досліджень повинна складатися в оцінці ступеня впливу конкретних властивостей людино-машинної системи на умови появи і величину техногенного ризику, що, в першу чергу, відноситься до властивостей технічних систем.

Питанню дослідження впливу виробничого технічного сервісу на рівень екологічної і техногенної безпеки в даний час належної уваги не приділяється.

Метою роботи є дослідження взаємовпливу техногенно-екологічної безпеки та технічного сервісу для розробки шляхів комплексного захисту людини і навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Ухвалення концепції сталого розвитку як основи державної політики свідчить про необхідність комплексного розгляду екологічних проблем в системі «людина-машина-середовище».

Важлива роль при вирішенні цих питань повинна відводитися організації виробничого технічного сервісу.

Грамотно спланований сервіс дозволяє знизити рівень виробничого технічного ризику і підвищити ефективність виробництва як за рахунок створення сприятливих умов трудового процесу, так і підвищення продуктивності праці. Технічний сервіс повинен забезпечувати тривалу безвідмовну роботу технічних систем протягом всіх періодів експлуатації. Він необхідний на всіх стадіях виробничого циклу.

До основних заходів слід віднести коригування системи технічного обслуговування, періодичний контроль за станом об'єкта і визначення засобами технічного діагностування залишкового ресурсу і передвідмовного стану, впровадження сучасної технології ремонту з можливістю одночасного здійснення модернізації, аналіз причин відмов і організація зворотного зв'язку з розробниками і виробниками.

До інновацій в сфері технічного сервісу [10] відносять створення спеціального технологічного устаткування, що дозволяє оптимізувати перебіг процесів. Така модернізація забезпечує поліпшення властивостей об'єкта в жорстких умовах існуючої конструкції. Вона необхідна, так як швидке оновлення парку діючого обладнання в силу економічних причин, що склалися в Україні, неможливо. Необхідно також відзначити, що за останні роки створені нові розробки і технології, які можуть дозволити істотно підвищити ефективність технологічного обладнання. При цьому вони не вимагають серйозних капітальних витрат при впровадженні та великих змін конструкцій. Ці зміни цілком можна провести при плановому ремонті устаткування, одночасно здійснивши і його модернізацію.

Позитивною рисою модернізації з впровадженням останніх технічних досягнень є автоматична їх апробація в важких експлуатаційних умовах, що в майбутньому дозволить закладати високоефективні наукомісткі технології в серійні зразки нової техніки.

Модернізаційний підхід має і ряд інших переваг, основним з яких є:

- можливість поетапного впровадження нових технічних рішень і удосконалень в конструкцію технологічного обладнання;

- можливість впровадження нових технологічних рішень, що підвищують рівень техногенно-екологічної безпеки при ремонті обладнання, що було в експлуатації.

Проаналізуємо одну з таких модернізацій, пов'язану з впровадженням магніторідинні герметизуючих комплексів (МЖГК) на електродвигуни серії ВАСО, ВАСВ, АСВО, які використовуються в якості приводу вентиляторних градирень і апаратів повітряного охолодження.

Для визначення характеру і причин відмов електродвигунів ВАСО було проведено системне вивчення умов експлуатації значної кількості двигунів в різних галузях промис-

ловості. При дослідженні експлуатаційної надійності за період з 1992 по 2020 рік були розглянуті асинхронні електродвигуни (АД) як з традиційними ущільненнями, так і з МЖГК. Дані про відмови були зібрані в електроремонтних цехах хімічних підприємств Северодонецька, Горлівки, Одеси, Череповця, Гродно, Алмалик і т.д.; нафтопереробних підприємствах Лисичанська, Кременчука, Атирау, Киришей, Тобольська, Омська і т.д.; а також на газоперекачувальних станціях в Долині і Тюмені. Всього було зібрано та опрацьовано статистичний матеріал про більш ніж 4000 вийшли з ладу електродвигунів ВАСО. Аналіз статистичного матеріалу проводився з використанням методів математичної статистики [11]. Дані про величини середньомісячної відносної вологості, температури повітря, тривалості випадання роси і т.д. бралися з архівів метеостанцій, відкритий доступ до яких є в інтернеті.

На підставі аналізу статистичних даних про причини передчасного виходу електродвигунів з ладу виділені в якості «слабких ланок» наступні елементи конструкцій електродвигуна ВАСО: підшипниковий вузол - пошкодження складають 73%, обмотка статора - 24%, ротор - 3% від загального числа відмов АД (вибірка містила АД тільки із застосуванням традиційних ущільнень). Інші пошкодження АД були в інтервалах похибки і тому далі не розглядалися.

На рис. 1 представлені діаграма характеру пошкоджень електродвигунів ВАСО на хімічних і нафтопереробних

заводах України і середньої смуги Росії, за період 2000 - 2005 рр. (так як в ці роки кількість електродвигунів, що експлуатуються, було максимальним). Ці дані добре корелюються з результатами, наведеними в [12], де 80% відмов пов'язані з ушкодженнями підшипників, 16% - з обмоткою статора і 4% - з ротором, а також з даними, що обговорювалися на першому семінарі з проектування, управління та діагностики електричних машин WEMDCD'2013, де пошкодження підшипників склали 69%, обмоток статора - 21%, ротора - 7% і пошкодження, пов'язані з сполучними муфтами вентилятора - 3% [13].

Далі був проведений статистичний аналіз відмов електродвигунів ВАСО на заводах, де вже тривалий час все АД укомплектовані МЖГ. На його підставі був зроблений висновок, що підшипниковий вузол вже не є основною причиною передчасного виходу електродвигунів з ладу. Це добре ілюструється рис.2, де наведені причини виходу з ладу електродвигунів за даними експлуатації ПАТ «Укртатнафта» (м.Кременчук) за 1994 - 1998 рр. (Комплектація штатними ущільненнями) і за 2011 - 2016 рр. (Комплектація МЖГ).

«Вузьким місцем» при експлуатації ВАСО стала ізоляція обмотки статора. З цієї причини передчасно вийшло з ладу 61% АД, по підшипниковому вузлу було зафіксовано 36% відмов і з інших причин - 3% відмов [14].

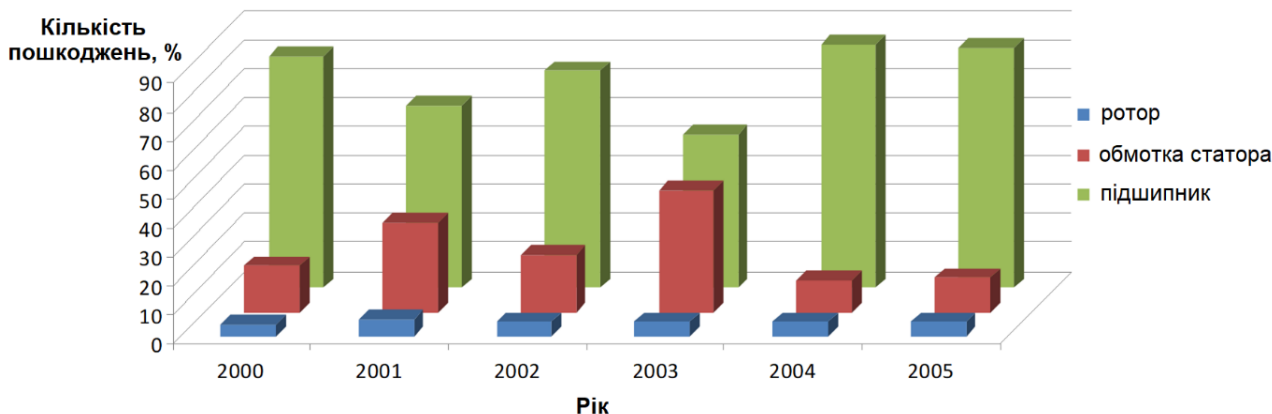


Рис. 1. Діаграма характеру пошкоджень електродвигунів ВАСО на хімічних і нафтопереробних заводах України і середньої смуги Росії за п'ять років.

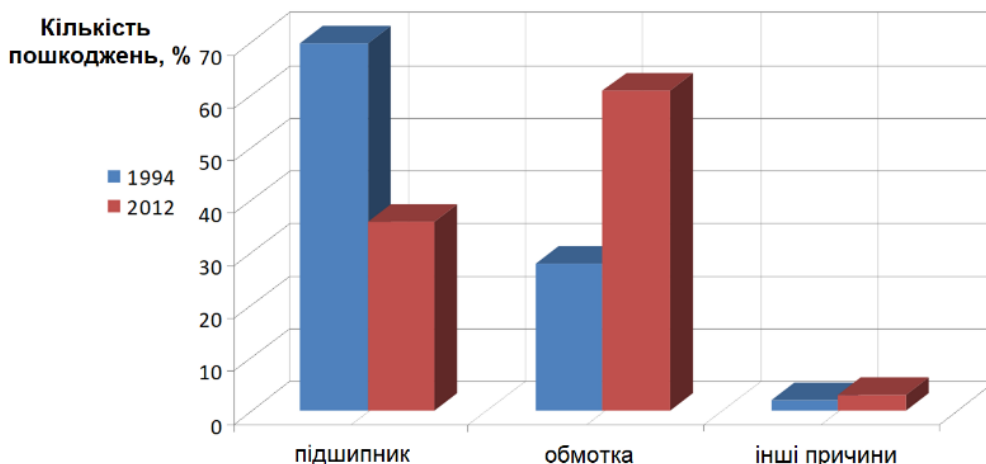


Рис. 2. Діаграма характеру пошкоджень електродвигунів серії ВАСО на ПАТ «Укртатнафта» (м.Кременчук) зі штатними ущільненнями (1994 - 1998 рр.) і МЖГ (2012 - 2016 рр.).

Аналіз досвіду модернізації шляхом застосування МЖГК показує, що першорядні загрози за масштабами і тяжкості наслідків відчувають такі базові властивості системи, як здатність до саморозвитку і здатність протистояти дестабілізуючим чинникам. Тому в якості критерію оцінки рівня техногенно-екологічної безпеки необхідно включати критерії, що характеризують базові властивості системи.

Технічні служби підприємств абсолютно обґрунтовано приділяють постійну увагу розвитку систем діагностики і моніторингу, вдосконалення методів і підвищенню якості технічного обслуговування обладнання. Однак слід зазначити, що створити абсолютно безвідмовну і гранично довговічну машину неможливо, так як протягом всього життєвого циклу на неї впливають різні чинники, змінюючи властивості деталей і, як наслідок, знижуючи її надійність. Базовий рівень надійності агрегату закладений в його конструкції і постійно знижується в процесі експлуатації. Модернізація є оптимальним рішенням проблем, пов'язаних з підвищенням продуктивності та економічності динамічного обладнання при відносно невеликих витратах і повинна забезпечити поліпшення споживчих властивостей агрегату в жорстких рамках існуючої конструкції. Перш за все потрібно позбавити замовника від проблем, що мають місце при експлуатації агрегату, мінімізувати всі навантаження, втрати і витрати, використовувати отримані

резерви для більш якісного виконання основних виробничих функцій.

Іншим прикладом модернізації може послужити аналіз роботи підприємства ТОВ «ТІЗ» м Суми, яке протягом багатьох років тісно співпрацює з низкою найбільших підприємств хімічної, нафтової і газової промисловості в області модернізації, ремонту, діагностики та реконструкції відцентрового компресорного та насосного обладнання.

Результатом довголітнього співробітництва і взаєморозуміння є модернізація понад сто позицій компресорного устаткування, яке успішно експлуатується на різних підприємствах. При цьому міжремонтний ресурс агрегатів або модернізованих вузлів в середньому збільшено в 2-3 рази. У ряді випадків відновлена працездатність обладнання, реальний ресурс якого був близький до нуля. На замовлення підприємств виконано модернізацію ряду компресорів, а також реконструкція їх окремих систем і вузлів. У процесі модернізації вирішувалися проблеми, пов'язані зі збільшенням терміну служби машин, який безпосередньо залежить від підвищення зносостійкості і надійності вузлів тертя. Для пар тертя найбільше застосування знайшли бабітові підшипники ковзання (ПК) у яких бабітові покриття може наноситися як на криволінійні (рис. 3, а, б), так і на плоскі поверхні (рис.3, в) [15, 16].

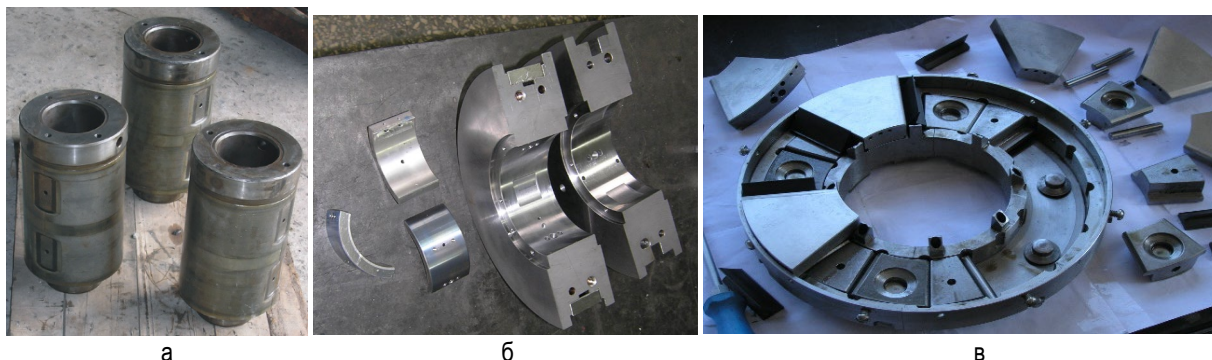


Рис. 3. Конструктивні елементи ПК з бабітових покриттям: а - зовнішня поверхня опорних пальців зубчастих коліс, б - внутрішня поверхня вкладишів опорних ПК, в - плоска поверхня напольгивої ПК.

Значною мірою надійність ПК, при інших рівних умовах, залежить від якості його виготовлення, а також проведення монтажних і ремонтних робіт, виконання всіх вимог конструкторської та технологічної документації. При виготовленні корпусів і вкладишів підшипників (ВП), а також підшипникових шийок (цапф) роторів компресорів і насосів завжди є відхилення від їх ідеальної геометричної форми, які називаються похибками. Додаткові неточності привносяться при установці ротора. Накопичення похибок значно знижує реальну площу контакту цапфи і ВП, що є причиною перенапруження антифрикційного шару, особливо в період припрацювання. Крім того, в місцях незадовільного прилягання, поверхні вкладиша і «ліжка» можуть піддаватися щільний і фреттинг корозії.

Недостатня жорсткість вала може стати причиною перекосів цапф щодо підшипників і концентрації навантаження у країв. Результатом підвищеного керамічного тиску може бути утворення тріщин або пластичний зсув м'якого сплаву.

Поліпшення умов припрацювання і поліпшення ре-

жиму роботи в післяприрацювальний період можна забезпечити за рахунок збільшення піддатливості ВП і більш щільного прилягання до «ліжка», шляхом нанесення на одну або обидві контактуючі поверхні методом електроіскрового легування (ЕІЛ) м'яких металів (позиції 9 і 10, рис. 4), як правило, міді або олова. М'який метал, деформуючись під впливом високих питомих навантажень, забезпечить самовстановлення ВП, компенсуючи похибки виготовлення ПК [17].

Формування якісного поверхневого шару в значній мірі залежить від міцності зчеплення антифрикційного бабітові шару зі сталеву підкладкою. Так, причиною виходу з ладу ПК може служити неякісне заливання бабіту, яке проявляється в відшаруванні бабітовоо шару, викришування окремих ділянок, руйнуванні в процесі експлуатації.

Причиною виходу з ладу ПК на стадії експлуатації є вплив різних видів зносу: кавітація, абразивний знос, зношування внаслідок пластичної деформації, утомлюване зношування та ін., а також вплив навколишнього середовища.

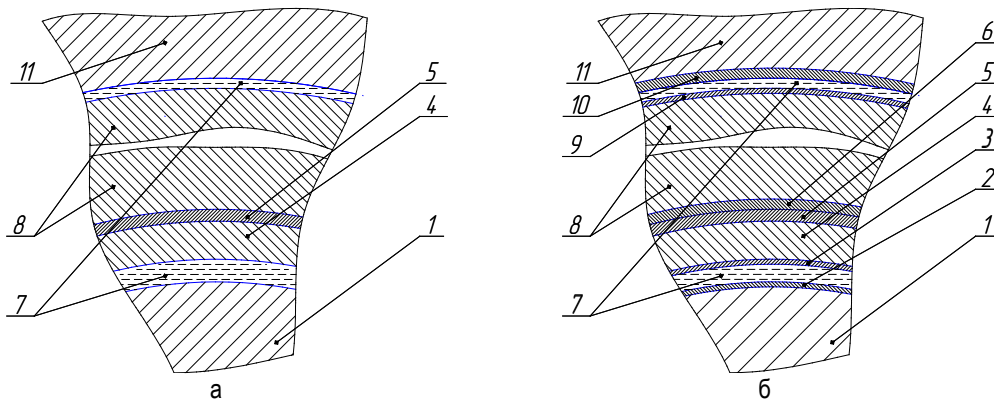


Рис. 4. Схема нанесення електроіскрових покриттів на елементи ПК: а - традиційна і б - фірми «ТРІЗ»: 1 - вал ротора; 2 - припрацювальне покриття з міді або олова на цапфі валу; 3 - припрацювальне покриття з індію або олова на поверхні бабіту; 4 - шар бабіту; 5 - лудіння оловом; 6 - перехідний шар з міді; 7 - робоча рідина (олива); 8 - вкладиш ПК; 9, 10 - м'яке, антифрикційне покриття з міді або олова на поверхні вкладиша (8) і (або) корпусу (10) ПК; 11 - корпус ПК.

Прискорення зношування і розвитку пошкоджень поверхонь тертя в післяприпрацювальний період, залежить від наявності на поверхні тертя невірних мікро-, а іноді і макропошкоджень, що утворилися в процесі припрацювання. До таких пошкоджень відносяться локальні руйнування структурних складових в результаті перевантажень. У металі в цьому випадку розвиваються пошкодження внаслідок малоциклової втоми, причому вражаються найбільш слабкі структурні складові. Так, при використанні в тонкошарових підшипниках бабіту Б83, в кубічних кристалах SnSb утворюються мікротріщини, які згодом стають осередками розвитку тріщин вже по товщині всього шару [18].

Для припрацювання бабітових підшипників ковзання запропоновано спосіб, який полягає в ЕІЛ поверхні бабіту Б83 індієм і оловом, що дозволяє сформувати поверхневий шар товщиною відповідно до 130 і 100 мкм, мікротвердість якого нижче мікротвердості основи. Проведений металографічний аналіз показав, що в структурі сформованого шару тверді включення відсутні, тому такі покриття можуть поліпшити умови припрацювання ВП [19].

Наступними дослідженнями встановлено, що більш технологічно захистити поверхню бабітові шару від руйнування можна шляхом нанесення припрацювального покриття на цапфу вала [20].

В [21] запропоновано новий спосіб обробки вкладишів підшипників, що підвищує міцність зчеплення бабітового шару зі сталеву підкладку за рахунок формування методом ЕІЛ проміжного шару з міді. Спосіб може застосовуватися як для ПК, так і для плаваючих ущільнень, опорних пальців планетарних мультиплікаторів та ін.

В [22] наведені порівняльні результати якісних характеристик антифрикційних бабітових шарів, сформованих традиційною технологією, і з підшаром міді. Випробування на стиск по ГОСТ ISO 4386-2-99 показали, що застосування перехідних шарів з міді, сформованих методом ЕІЛ в захисному середовищі (аргон), підвищує міцність з'єднання бабітового шару з підкладкою на 35% в порівнянні з традиційною технологією (сталь 20 + олово + бабіт).

ВИСНОВОК.

Доведено, що в основі досягнення прийнятного рівня техногенно-екологічної безпеки значне місце повинно відводитися виробничій безпеці, що базується на створенні комплексної системи менеджменту безпеки, що включає в себе сервіс технічних систем, апріорний аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, моделювання небезпечних ситуацій і шляхів їх запобігання, а також розробку ефективних управлінських механізмів.

Список використаної літератури.

1. Скалецький Ю.М., Бірюков Д. С., Мартюшева О. О., Яценко Л. Д. Проблеми впровадження культури безпеки в Україні: аналіт. доп. К.: НІСД, 2012. 56 с.
2. Концепція державного регулювання безпеки та управління ядерною галуззю в Україні: Постанова Верховної Ради України від 25 січня 1994 року № 3871-XII. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3871-12#Text>
3. Официальный сайт ГП НАЭК Энергоатом (<http://www.energoatom.kiev.ua/ru/index.html>).
4. Быков А.А. О проблемах техногенного риска и безопасности техносферы. *Проблемы анализа риска*. 2012. т. 9., №3. С. 4-8.
5. Махутов Н.А., Резников Д.О. Сопоставительная оценка нормативного и основаного на управлении риском подходов к оценке защищенности сложных технических систем. *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2011. № 6. С. 92 – 103.
6. Панкратова Н.Д. Системный анализ в динамике диагностирования сложных технических систем. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2008. № 1. С. 33 – 50.
7. Калькис В., Кристиньш И., Роя Ж. Основные направления оценки рисков рабочей среды. Рига: SIA «Jelgavastipografija». 2005, 74 с.
8. Гражданкин А. И. Методическое обеспечение анализа опасностей и оценка риска промышленных аварий. *Безопасность труда в промышленности*. 2015. № 1. С. 54 – 58

9. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование. М.: Издательство Юрайт. 2014. 728 с.
10. Карнаухова В.К., Краковская Т.А. Сервисная деятельность. М.: ИКЦ «МарТ». 2008. 154 с.
11. Ивановский Р.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad. – СПб.: БХВ – Петербург, 2008. – 528с.
12. Хомутов С.О. Система поддержания надежности электрических двигателей на основе комплексной диагностики и эффективной технологии восстановления изоляции [Электронный ресурс]: монография / С.О. Хомутов. – Электронные данные. – Барнаул: ООО «МЦЭОР», 2015. – 1 эл. опт. диск (CD-R); 12 см.
13. F. Filippetti, A. Belini, G.-A. Capolino. Condition Monitoring and Diagnosis of Rotor Faults in Induction. *Machines State of Art and Future Perspectives. Published in conference WEMDCD'*. 2013. March, 11-12, IEEE. Pp. 196 – 209.
14. Марцинковський В.А., Тарельник В.Б., Антошевський Б., Марцинковський В.С., Радіонов О.В., Конопляченко Є.В., Гапонова О.П., Позовній О.О. Екологічна безпека експлуатації компресорного і насосного обладнання: монографія, за ред. О.В. Радіонова. Суми: Сумський державний університет. 2018. 282с.
15. Марцинковський В.С., Тарельник В.Б., Конопляченко Є.В., Радіонов О.В., Загорулько А.В., Гапонова О.П., Гудков С.М., Роп'як Л.Я., Величкович А.С., Витвицький В.С., Шовкопляс М.В., Тарельник Н.В., Думанчук М.Ю. Проблеми безпечної експлуатації компресорного та насосного обладнання в сучасній промисловості: монографія, за ред. В.Б. Тарельника, Є.В. Конопляченка - м. Суми: ФОП Литовченко Є.Б., 2020. – 410 с.
16. Tarelynyk V.B., Antoszewski B., Martsinkovskii V.S., Konoplyanchenko E.V., Belous A.V., Gaponova O.P., Improvement in Babbit Sliding Bearing Quality with Electrospark Alloying. *Chemical and Petroleum Engineering* 54(7-8), (2018) pp. 598-604.
17. В. С. Марцинковський, В. Б. Тарельник, Н. В. Тарельник, Способ сборки подшипников скольжения, Патент 2422690 RU. МПК F16C17/02, F16C33/04.
18. А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун и др., Трение, износ и смазка - М: Машиностроение: 2003. – 575 с.
19. В. С. Марцинковський, В. Б. Тарельник, Способ обработки вкладышей подшипников, Патент 2404378 RU. МПК B23H9/00.
20. В. Б. Тарельник, В. С. Марцинковський, О. В. Дзюба, Спосіб поліпшення припрацьовуваності пари тертя «вкладиш підшипника-шийка вала», Патент 105422 UA. МПК (2014.01), B23H 1/00, B23H 5/00.
21. В. С. Марцинковський, В. Б. Тарельник, Спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання. Патент 64663A UA. МКВ B23H1/00.
22. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Антошевський Б., Совершенствование технологии изготовления бабитовых подшипников скольжения. *Компрессорное и энергетическое машиностроение*, № 4 (6). – 2006 г. – С. 15-22.

Radionov A.V., SMPE Ferrohydrodinamica (Ukraine)

Tarelynyk N.V., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Dumanchuk M.Y., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

The influence of the technical service organization on the ecological safety of the «man-machine-environment» system

The article considers the issue of improving the environmental safety of technical systems by improving their technical service. The influence of a set of measures on maintenance of equipment on the reliability of technical systems is considered. Attention is paid to the modernization of technological equipment that improves the properties of the system in the harsh conditions of the existing structure. The experience of modernization of electric motors by application of magnetic fluid sealing complexes is presented. The variant of modernization of bearing units of pump and compressor units of ways of formation of complex electrospark coverings on elements of sliding bearings is offered.

Key words: *ecological safety, durability, technical service, modernization, covering, bearing, consolidation, electric motor, compressor, pump.*

Дата надходження до редакції: 26.05.2021