

Водолазська Н.В.,
Пастухов О.Г.,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»
E-mail: pastukhov_ag@mail.ru

**ПРОБЛЕМИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ
ОБЛАДНАННЯ АПК НА ПРИКЛАДІ
СТАТИСТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗНОСУ
НАСОСУ РОТОРНОГО ТИПУ**

УДК 620.186:621.825.6

У статті викладені результати проведення експериментів по оцінці зношування й виявленню причин відмови насоса НР-10. Встановлено, що основними робочими поверхнями, що визначають зміну робочого тиску насоса, є поверхні кришок, які утворюють робочу камеру, у якій розташовані ротори, а також ведучий і ведений вали роторного насоса. На підставі аналізу отриманих даних показана якісна картина зношування поверхонь і кількісні характеристики розподілу зношування.

Однією з найважливіших характеристик, що враховується при розробці, проектуванні та монтажі машин і пристроїв, являється їх експлуатаційна надійність [1]. Саме ця властивість технічних об'єктів спроможна забезпечити безвідмовність, ремонтпридатність і довговічність складних організаційно-технічних систем різного призначення на всіх стадіях їхнього життєвого циклу.

В агропромисловому комплексі підвищення надійності машинно-технологічного обладнання, що забезпечує одержання продукції з певними економічними параметрами в необхідній кількості і відповідної якості, потребує додаткових інвестицій в його розробку і впровадження [2]. Однак витрати на придбання нового устаткування можуть виявитися настільки істотними, що підвищать вартість продукції, що випускається, роблячи її менш привабливою для споживача. Отже, практичну значимість набуває проблема освоєння методів високоефективного використання існуючого парку машин і обладнання, за рахунок поліпшення технічного сервісу у спосіб удосконалення системи технічного обслуговування і ремонтів (ТОР) [3], а також використання нових технологій ремонту машин [4, 5, 6]. Таким чином, підвищення продуктивності машинно-технологічного устаткування сільського господарства й збільшення терміну служби діючого в даний момент технічного оснащення є ключовими напрямками розвитку агропромислового комплексу.

До обладнання, яке широко використовується в переробній промисловості АПК відносяться насоси роторного типу. Не зважаючи на деяку складність конструкції, вони мають певні переваги, а саме:

- здійснюють більш рівномірну подачу середовища в порівнянні зі зворотно-поступальними насосами;
- здатні працювати з високою частотою обертання випереджаючи поршневі й плунжерні насоси;
- в їх конструкції відсутні клапани, які спричиняють зниження втрат потужності при роботі, що в цілому приводить до збільшення загального коефіцієнту корисної дії насоса;
- роторні насоси мають оборотність (зворотність), що виражається в можливості роторних насосів працювати в режимі гідромотора.

В насосах роторного типу переміщення середовища, яке транспортується, здійснюється шляхом послідовного заповнення робочої камери середовищем з наступним його витисненням, яке відбувається за рахунок обертального або обертально-поступального руху робочого органа - ротора, залежно від виду роторного насоса. Роторні насоси

типу НР - 10 широко застосовуються у виробничому процесі й призначені для перекачування по трубопроводах молочних продуктів. Ці насоси використовуються для виготовлення таких продуктів, як вершки, концентроване й згущене молоко з концентрацією не вище 45%, суміші для морозива, кисломолочні продукти, майонез, кетчуп, рослинна олія, сиропи й т. п. Основними елементами роторного насоса НР-10, від яких головним чином залежить його працездатність, являються: корпус, робочі органи насоса – ротори (типу коліс Рутса), кришки, зубчата пара (зубчасте колесо і шестірня), вали й т. п.. Рівень їхньої надійності обумовлюється конструктивними, технологічними й експлуатаційними факторами. Відомо, що через конструктивно-технологічну недосконалість, низької якості складання й порушення правил експлуатації інтенсивність виникнення відмов різко підвищується [7]. Устаткування працює в тяжких умовах: при високих температурах, у вологій атмосфері, при значних швидкостях відносного переміщення тертьових деталей, при наявності вібрацій. У ряді випадків робітничі середовища містять абразивні домішки. Зупинка насоса, викликана зношуванням або руйнуванням деталей, спричиняє не тільки збитки від простою, але й псує продуктів.

На основі аналізу технічної літератури [8, 9] встановлено, що основними критеріями виникнення відмови насоса роторного є заклинювання роторів, зношування й злам шестірень, вихід з ладу підшипників, зношування валів, вихід з ладу торцевого ущільнення. Дані відмови визначають досягнення граничного стану роторного насоса, обумовленим зношуванням внутрішніх поверхонь корпусу роторів і самих роторів.

Таким чином, визначення оцінки й виявлення картини зношування елементів насоса роторного НР-10 є актуальним завданням.

Метою даної роботи являється встановлення кількісної оцінки і якісної картини зношування поверхонь деталей робочої камери насоса НР-10. Для рішення цього завдання планується після аналізу ступеня зношування розробити раціональні методи відновлення поверхонь зношених елементів.

Програма експериментальних досліджень включає наступні етапи:

- вивчення конструкції насоса роторного, побудова структурної моделі з виділенням структурних одиниць і виявленням зв'язків будови й функціонування;
- аналіз технічної інформації й виявлення найбільш слабких елементів насоса роторного й факторів, що визначають його працездатність;
- розробка методики й аналіз зношування критичних елементів;
- аналіз експлуатаційної документації при проведенні регламентних робіт з технічного обслуговування насоса роторного;
- розробка рекомендацій із заходів забезпечення працездатності насоса.

Після виконання цих етапів було встановлено, що найбільш зношуваними поверхнями робочої камери насоса НР-10 (рисунок 1) являються внутрішні поверхні проміжної й глухої кришок, що замикають простір робочої камери, у якій знаходяться ротори, а також ведучий і ведений вали.

Вибір методу виміру зношування залежить від конструктивних особливостей деталей, для яких провадиться оцінка зношування, необхідної точності та ймовірності результатів виміру, класу шорсткості й точності обробки поверхонь тертя. Зношування деталей можна визначати наступними відомими методами: інтегральним, сумарним, мікрометруванням, за глибиною вирізаних лунок, профільографуванням та ін. [10, 11, 12]. Найпоширенішим і доступним методом визначення величини зношування є мікрометрування. Як засіб виміру величини зношування для кришок був використаний індикатор годинного типу ІЧ-10МН із ціною ділення 0,01 мм за ДСТ 577-68, а для валів - був використаний штангенциркуль ШЦ-І с ціною ділення 0,05 мм ДСТ 166-89.



Рис. 1 – Робочі деталі насоса роторного НР-10, знятого з експлуатації
1 - камера з роторами, 2 - корпус, 3 - проміжна кришка 4 - вали

Методика мікрометрування містить наступні дії:

- визначення базової поверхні на кришках робочої камери роторного насоса НР-10 (аналогічно визначення базової поверхні для ведучого і веденого валів);
- визначення необхідного числа вимірів і точок їхнього розташування;
- підготовка документації для занесення даних експерименту;
- нанесення контрольних точок на вимірювану поверхню;
- установка на вимірювальну плиту елементів насоса і вимірювального засобу;
- визначення величини зношування в зазначених точках і запис обмірюваних даних у підготовлені форми.

Виміри здійснювалися послідовно: спочатку проміжної кришки, потім глухої, після нанесення контрольних точок (рисунок 2).

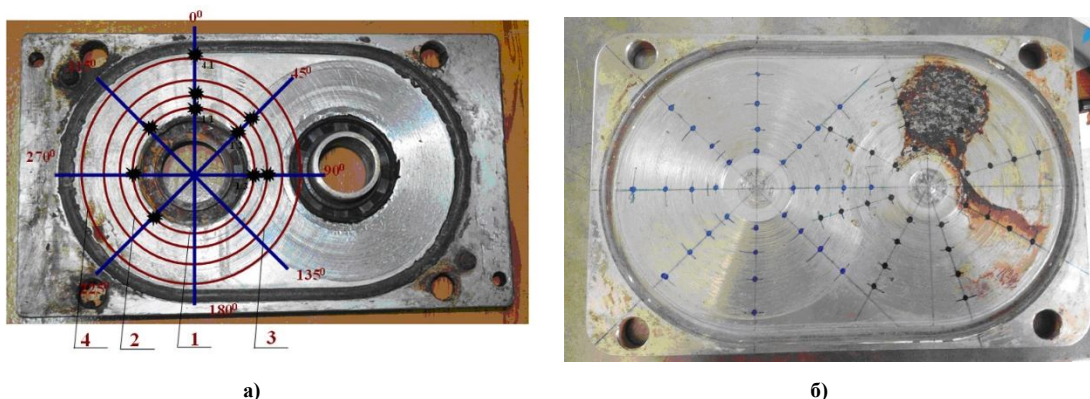


Рис. 2 – Схеми розмітки поверхні кришок:
а) кришка проміжна, № 1 - № 4 - розмічальні кола; б) кришка глуха

Досліджувана частина, наприклад, ведучого вала (рисунок 3) розбивалася на 3 перерізи, у кожного з яких виконувалися виміри через 60° .

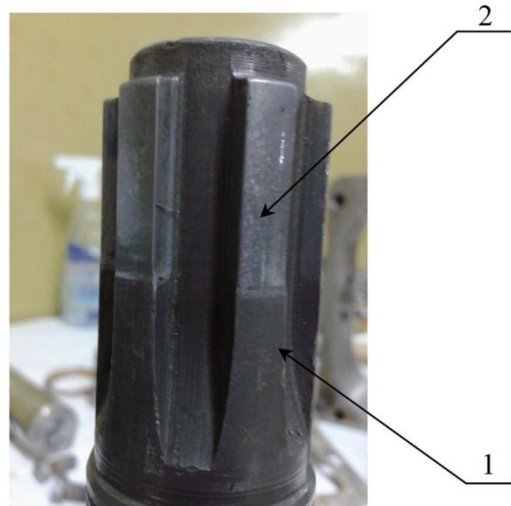


Рис. 3 - Поверхні ведучого вала: 1 - базова поверхня; 2 - зона зношування

Результати виміру величини зношування досліджуваних деталей з урахуванням кодування заносилися в підготовлені форми у вигляді таблиць. Наприклад, для валів таблиці мали наступний вигляд.

Таблиця 1

Результати виміру величини зношування валів

| Ведучий вал | | | | Ведений вал | | | |
|-------------|--------------|------|------|-------------|--------------|------|------|
| Перетин | Значення, мм | | | Перетин | Значення, мм | | |
| | 0° | 60° | 120° | | 0° | 60° | 120° |
| I-I | 0,08 | 0,07 | 0,08 | I-I | 0,24 | 0,22 | 0,22 |
| II-II | 0,10 | 0,08 | 0,09 | II-II | 0,20 | 0,24 | 0,24 |
| III-III | 0,08 | 0,10 | 0,06 | III-III | 0,24 | 0,26 | 0,22 |

За результатами проведених вимірів виконана графічна інтерпретація розподілу величин зношування по області тертя для ведучого і веденого валів в місцях взаємодії з колесами Рутса. Приклад розподілу величини зношування представлений на рисунку 4.

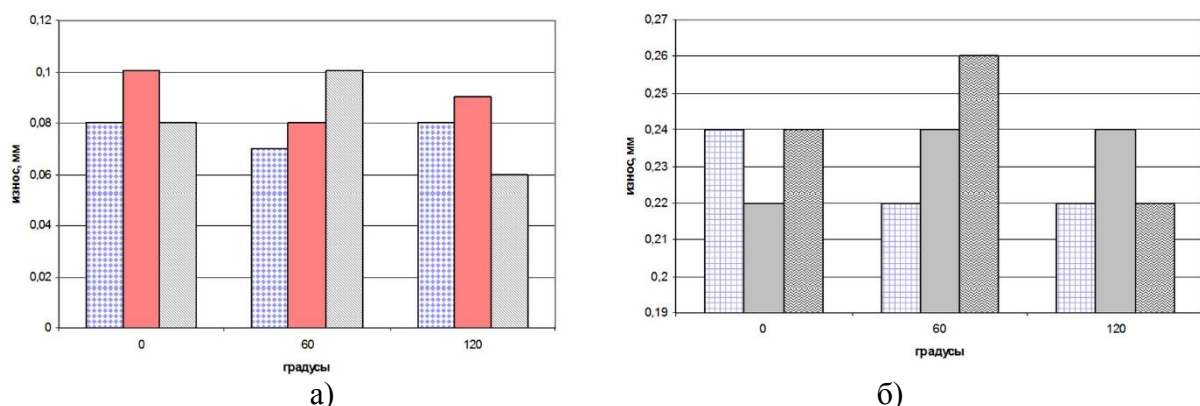


Рисунок 4 - Розподіл величини зношування по поверхнях валів: а) ведучий вал; б) ведений вал

Отримані результати показують, що в місцях тертя провідного вала з колесами Рутса величина найбільшого зношування досягає значення 0,1 мм, а для веденого вала глибина зношування доходить до 0,26 мм. Такий характер зношування приводить до порушення форми валів в поздовжньому перетині як веденого вала так і ведучого вала (рисунок 5), що свідчить про тривалий перекид осей роторів і про биття зубів коліс Рутса

через нерівномірність подачі рідини, що перекачуються.

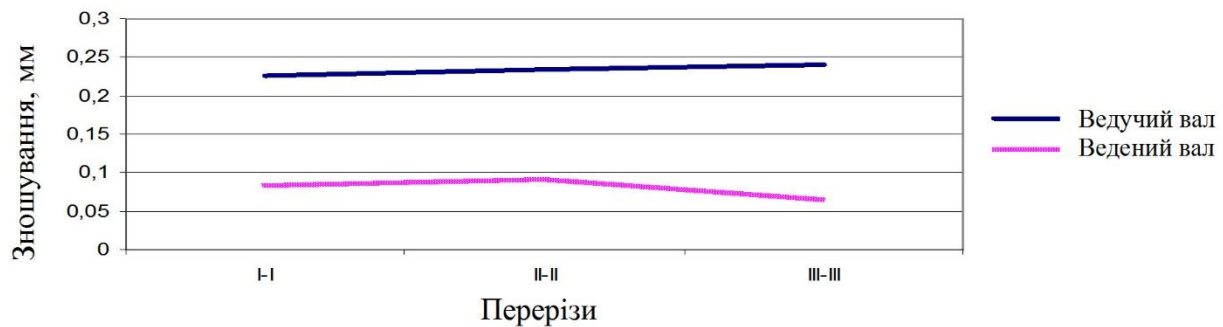


Рис. 5 – Графік зношування в поздовжньому перетині валів

Статистична обробка масиву даних обмірюваних величин зношування по зазначених перетинах показала, що середні значення величини зношування збільшуються від першого перетину до третього для веденого вала, де середнє значення величини зношування становить 0,24 мм, а для ведучого вала максимальна величина зношування є у другому перетині, де середнє цієї значення дорівнює 0,09 мм. При цьому значення дисперсій для ведучого і веденого валів склали 0,0002 мм², а значення середньоквадратичних відхилень: для ведучого вала – 0,0121 мм, для веденого – 0,0133 мм. Зіставлення статистичних характеристик досвідчених даних виконано на основі коефіцієнта варіації [13]. Величина коефіцієнта варіації для ведучого вала становить 0,15, а для веденого - 0,05 і знаходяться нижче межі 0,33, що свідчить про однорідність сукупності величини зношування в межах кожного перетину. Такий характер зношування свідчить про тривалий перекис осей роторів і невідповідності радіальних зазорів між колесами Рутса нормованому значенню.

Аналогічним чином була визначена межа розподілу величин зношування по області тертя для глухої й проміжної кришок в області дії кожного ротора. Приклади розподілу величини зношування для глухої кришки з урахуванням впливу роторів представлені на рисунках 6 і 7. Проведений аналіз даних обмірюваних величин зношування по розмічальних колах показала, що середні значення величини зношування зменшуються від центру до периферії, змінюючись послідовно по розмічальних колах: 0,164 мм - № 1, 0,103 мм - № 2, 0,103 - № 3, 0,083 мм - № 4. При цьому значення дисперсій розташувалися в такий спосіб по розмічальних колах: №1-0,0131 мм², №2-0,0076 мм², №3-0,0101 мм², №4-0,0119 мм², а значення середньоквадратичних відхилень: №1-0,1147 мм, №2-0,0871 мм, №3-0,1005 мм, №4-0,1089 мм.

Характер зміни значень дисперсій показує ступінь мінливості (розсіювання) дослідних даних, тому найбільшу мінливість мають дані для кол № 1, № 4, № 3 і № 2 у порядку убування. Аналіз середніх квадратичних відхилень величини середнього значення (середня помилка) підтверджує згаданий факт. Зіставлення статистичних характеристик дослідних даних по розмічальних колах теж приведено на основі коефіцієнта варіації. Величина коефіцієнта варіації для кожної з розмічальних кіл (№1-0,698, №2-0,847, №3-0,980, №4-1,313) перебуває вище межі 0,33, що свідчить про значне розсіювання величини зношування, як у межах кожного розмічального о кола, так і в радіальному напрямку зон зношування (від центру до периферії).

Результати аналізу отриманих графіків показують, що поверхні кришок зношуються нерівномірно. У певних областях поверхні тертя зношування відбувається більш інтенсивно. У місцях тертя ведучого ротора із глухою кришкою найбільшому зношуванню підпадає сектор, який знаходиться між променями, проведеними під кутом 180 і 270°. Причому глибина зношування практично не змінюється в цій області від кола №1 до №4, тобто від центру до периферії (рисунок 2, а). Глибина подряпин у цьому секторі

кришки доходить до 0,42 мм. На проміжній кришці так само максимальне зношування приходить на сектор між променями під кутом 180° і 270°. Глибина зношування в цьому секторі доходить до 0,22 мм. Такий характер зношування свідчить про тривалий перекис осей роторів і не відповідності торцевого зазору між роторами й кришками робочої камери роторного насоса НР-10 нормованому значенню.

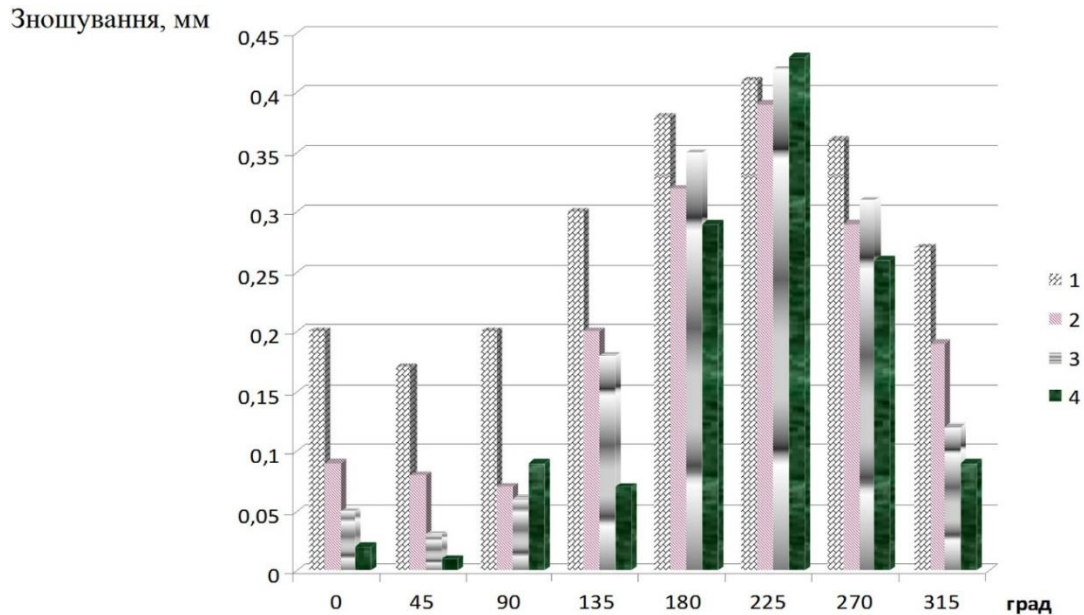


Рис. 6 – Розподіл величини зношування по області тертя для глухої кришки від впливу ведучого ротора

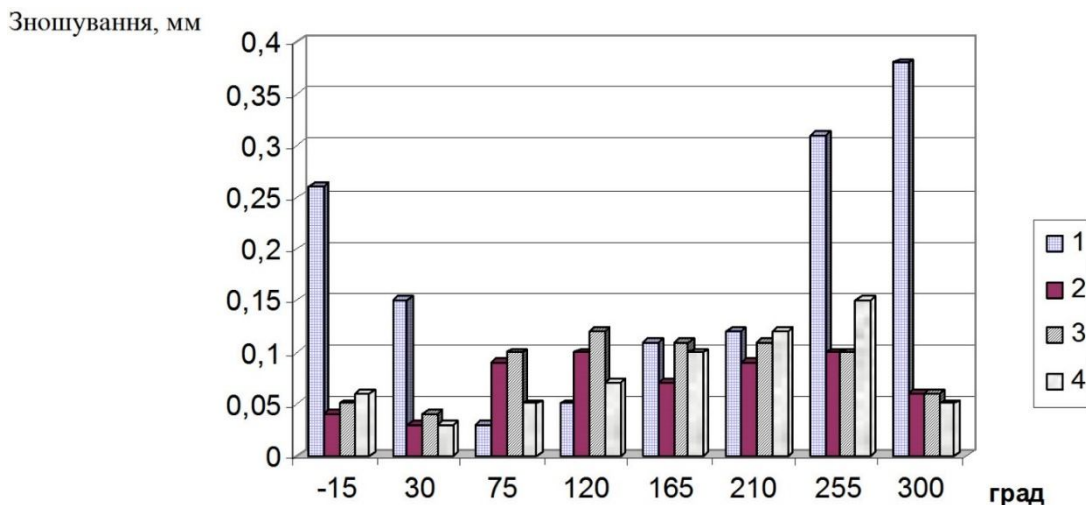


Рис. 7 – Розподіл величини зношування по області тертя для глухої кришки від впливу веденого ротора

Таким чином, наведені графічні ілюстрації дозволяють висловити припущення про те, що формування відмови насоса обумовлене механічним зношуванням внутрішніх поверхонь кришок робочої камери насоса роторного НР-10, відбувається при пружній деформації ведучого і веденого валів, що несуть ротори на консольних кінцях, зі зсувом зони найбільшого зношування за напрямком їхнього обертання. Дослідження картини зношування валів насоса НР-10 показали, що досягнення граничного стану обумовлено механічним зношуванням поверхонь деталей; максимальна зміна зношування в поздовжньому перетині провідних і веденого валів дорівнює відповідно 0,1 мм і 0,26 мм. Найбільш імовірними способами відновлення працездатності насоса, може бути нанесення шару матеріалу на плоску поверхню кришок з наступним шліфуванням і ремонтне шліфування з урахуванням компенсації зміни ланок функціонального розмірного ланцюга.

Література

1. Пучин, Е.А. Основы теории надежности и диагностики технических систем: научно-практическое издание [Текст] / Е.А Пучин. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 182 с.
2. Ежевский, А. А. Тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства [Текст] / А. А. Ежевский, В. И. Черноиванов, В.Ф. Федоренко // Науч. аналит. обзор. – М.: ФГНУ «Росинфорагротех», 2010. – 292 с.
3. Водолазская Н. В. Увеличение нормативного срока службы мостовых и металлургических кранов путем совершенствования системы ТОиР [Текст] // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції 4-6 червня 2013 р. - Краматорськ: ДДМА, 2013. – С. 32.
4. Водолазская Н. В. Повышение ресурса оборудования молочно перерабатывающей промышленности за счет использования композиционных материалов [Текст] / Н. В. Водолазская, А. Г. Пастухов, А. Г. Минасян // Конструирование и производство изделий из композиционных материалов: труды Междунар. науч.- практ. конф., Караганда, 29 сентября 2015 г. / Карагандинский гос. технический ун-т – Караганда, 2015. – С. 15-16.
5. Сухарев Э. А. Системы ремонта машин (моделирование и расчет): учебное пособие. [Текст] – Ровно: РГТУ, 2002. – 82 с.
6. Кононенко, А. С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники с использованием nano структурированных герметиков [Текст]: автореф. дис. д-ра техн. наук / А.С. Кононенко. – М., 2012. – 34 с.
7. Водолазская Н. В. Проблема повышения долговечности деталей машин, эксплуатируемых в агрессивных средах. [Текст] / Н. В., Водолазская, Д. А. Шевченко // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Тези доповідей Десятої Всеукр. молодіжної наук.- техн. конф. (26 - 30 жовтня 2010 р.). – Суми: СумДУ, 2010. –С.25-27.
8. Лебедев, А.Т. Повышение износостойкости плунжера топливного насоса [Текст] / А. Т. Лебедев, П.А. Лебедев, В.А. Васин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. - № 1. – С. 24-25.
9. Пастухов, А. Г. Анализ проявлений отказа агрегатов механических трансмиссий сельскохозяйственной техники [Текст] / А.Г. Пастухов, А.В. Литвишко // Вестник аграрной науки Причерноморья. Матералы III международной научно-практической конференции «Перспективная техника и технологии – 2007». Специальный выпуск 2 (41). — Николаев: Николаевский ГАУ, 2007. — С. 165-168.
10. Крагельский, И.В. Узлы трения машин: справочник [Текст] / И.В. Крагельский, Н.М. Михин. - М.: Машиностроение, 1984. - 280 с.
11. Pastukhov A. Method and results of the evaluation of the wear of the rotary pump / A.Pastukhov, N. Vodolazskaja, A. Minasyan // Journal of Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance. – Serbia, University of Novi Sad, 2015. - Vol.20, No.1 – P. 36-42
12. Бурумкулов, Ф.Х. Работоспособность восстановленных деталей и сборочных единиц машин [Текст] / Ф.Х. Бурумкулов, П.П. Лезин. - Саранск: Изд-во Мордовского университета им. Н.П. Огарева, 1993. – 120 с.
13. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: учебник [Текст] / Под ред. И.И. Елисеевой. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика, 2004. — 656 с: ил. ISBN 5-279-02414-7

Summary

Vodolazskaya N.V., Pastukhov A.G. Problems of maintainability of the equipment of agricultural machines on the example of statistical researches the wear of the rotor type pump

The paper presents results of experiments according to wear and identification of failure causes of the pump NR-10. It is established that covers surfaces of the working chamber, conducting and conducted shaft of the rotor pump are the main working surfaces defining change of working pressure of the pump. We received here the qualitative picture of surfaces wear and quantitative characteristics of wear distribution.

References

1. Puchin, E.A. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostiki tehnikeskikh sistem: nauchno-prakticheskoe izdanie [Tekst] / E.A Puchin. – M.: FGBNU «Rosinformagroteh», 2013. – 182 s.
2. Ezhevskiy, A. A. Tendentsii mashinno-technologicheskoy modernizatsii selskogo khozyaystva [Tekst] / A. A. Ezhevskiy, V. I. Chernov, V.F. Fedorenko // Nauch. analit. obzor. – M.: FGNU «Rosinformagroteh», 2010. – 292 s.
3. Vodolazskaya N. V. Uvelichenie normativnogo sroka sluzhby mostovykh i metallurgicheskikh kranov putem sovershenstvovaniya sistemy TOiR [Tekst] // Vazhke mashinobudovaniya. Problemy ta perspektivy razvitiya. Materialy III mezhdunarodnoy naukovotekhnicheskoy konferentsii 4-6 chervnya 2013 r. - Kramatorsk: DDMA, 2013. – S. 32.
4. Vodolazskaya N. V. Povyshenie resursa oborudovaniya molochno pererabatyivayushey promyshlennosti za schet ispolzovaniya kompozitsionnykh materialov [Tekst] / N. V. Vodolazskaya, A. G. Pastukhov, A. G. Minasyan // Konstruirovaniye i proizvodstvo izdeliy iz kompozitsionnykh materialov: trudy Mezhdunar. nauch.- prakt. konf., Karaganda, 29 sentyabrya 2015 g. / Karagandinskiy gos. tehnikeskyy un-t – Karaganda, 2015. – S. 15-16.
5. Suharev E. A. Sistemy remonta mashin (modelirovaniye i raschet): uchebnoye posobie. [Tekst] – Rovno: RGTU, 2002. – 82 s.
6. Kononenko, A. S. Povyshenie nadezhnosti nepodvizhnykh flantsevykh soedineniy selskookhozyaystvennoy tekhniki s ispolzovaniem nano strukturirovannykh germetikov [Tekst]: avtoref. dis. d-ra teh. nauk / A.S. Kononenko. – M., 2012. – 34 s.
7. Vodolazskaya N. V. Problema povysheniya dolgovechnosti detaley mashin, ekspluatiruemyykh v agressivnykh sredakh. [Tekst] / N. V., Vodolazskaya, D. A. Shevchenko // Mashinobudovaniya Ukrainy ochima molodih: progresivni ideyi – nauka – virobnitstvo. Tezi dopovidey Desyatoyi Vseukr. molodizhnoyi nauk.- tehn. konf. (26 - 30 zhovtnya 2010 r.). – Sumi: SumDU, 2010. –S.25-27.
8. Lebedev, A.T. Povyshenie iznosostoykosti plunzhera toplivnogo nasosa [Tekst] / A. T. Lebedev, P.A. Lebedev, V.A. Vasin // Mehanizatsiya i elektrifikatsiya selskookhozyaystva. – 2010. - # 1. – S. 24-25.
9. Pastukhov, A. G. Analiz proyavleniy otkaza agregatov mehanicheskikh transmissiy selskookhozyaystvennoy tekhniki [Tekst] / A.G. Pastukhov, A.V. Litvishko // Vestnik agrarnoy nauki Prichernomorya. Materialy III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Perspektivnaya tekhnika i tehnologii – 2007». Spetsialnyy vyipusk 2 (41). — Nikolaev: Nikolaevskiy GAU, 2007. — S. 165-168.
10. Kragelskiy, I.V. Uzly treniya mashin: spravochnik [Tekst] / I.V. Kragelskiy, N.M. Mihin. - M.: Mashinostroeniye, 1984. - 280 s.

11. Pastukhov A. Method and results of the evaluation of the wear of the rotary pump / A. Pastukhov, N. Vodolazskaja, A. Minasyan // Journal of Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance. – Serbija, University of Novi Sad, 2015. - Vol.20, No.1 – R. 36-42
12. Burumkulov, F.H. Rabotosposobnost vosstanovlennyih detaley i sborochnyih edynits mashin [Tekst] / F.H. Burumkulov, P.P. Lezin. - Saransk: Izd-vo Mordovskogo universiteta im. N.P. Ogareva, 1993. – 120 s.
13. Eliseeva I.I., Yuzbashev M.M. Obschaya teoriya statistiki: uchebnyk [Tekst] / Pod red. I.I. Eliseevoy. — 5-e izd., pererab. i dop. — M.: Finansyi i statistika, 2004. — 656 s: il. ISBN 5-279-02414-7