



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.225

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВОССТАНОВЛЕНИЮ РЕГУЛИРУЕМЫХ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ ГИДРОМАШИН

Ионов П.А., ¹Белов Ю.С.

ФГБОУ ВО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОРДОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.П. ОГАРЁВА" Саранск, Россия,
(430005, Республика Мордовия, город Саранск, Большевистская ул, д. 68), e-mail:¹ usbr@bk.ru

Научная статья посвящена технологическим подходам восстановления регулируемых аксиально-поршневых гидромашин, используемых преимущественно в системах гидравлического привода мобильных машин и стационарных установок. Рассматриваются основные виды повреждений деталей и узлов, влияющих на эксплуатационные характеристики гидромашин, методы диагностики дефектов, а также современные технологии ремонта и восстановления, обеспечивающие повышение ресурса, надежности и долговечности гидроприводов. Особое внимание уделено применению инновационных материалов и покрытий, позволяющих увеличить износостойкость рабочих поверхностей поршней, цилиндров и распределительных устройств. Представлены рекомендации по выбору оптимального технологического процесса восстановления гидромашин в зависимости от условий эксплуатации и требуемого уровня производительности.

Ключевые слова: Аксиально-поршневая гидромашина, ремонт, восстановление, диагностика, износостойчивость, покрытия, ресурс, надежность, производительность.

TECHNOLOGICAL APPROACHES TO THE RESTORATION OF REGULATED AXIAL- PISTON HYDRAULIC MACHINES

Ionov P.A., ¹Belov Yu.S.

"NATIONAL RESEARCH MORDOVIA STATE UNIVERSITY". N.P. OGAREVA" Saransk, Russia,
(430005, Republic of Mordovia, Saransk, Bolshevistskaya ul., 68), e-mail:¹ usbr@bk.ru

This scientific article is dedicated to technological approaches for the restoration of regulated axial-piston hydraulic machines, primarily used in hydraulic drive systems for mobile machines and stationary installations. It examines the main types of damage to components and assemblies that affect the operational characteristics of hydraulic machines, methods for diagnosing defects, as well as modern repair and restoration technologies that enhance the resource, reliability, and durability of hydraulic drives. Special attention is given to the application of innovative materials and coatings that increase the wear resistance of working surfaces of pistons, cylinders, and distribution devices. Recommendations are provided for selecting the optimal restoration technological process for hydraulic machines based on operating conditions and the required performance level.

Keywords: Axial-piston hydraulic machine, repair, restoration, diagnostics, wear resistance, coatings, resource, reliability, performance.

Современная гидравлическая техника испытывает постоянно возрастающие нагрузки в условиях достаточно активной интенсификации производственных процессов [2, 5]. Регулируемые аксиально-поршневые гидромашинны представляют собой высокоточные агрегаты, конструктивные особенности которых обуславливают специфические требования к процессам их технического обслуживания и ремонта. Эксплуатационные характеристики

данных устройств напрямую зависят от состояния прецизионных пар трения, геометрической точности сопрягаемых поверхностей и качества рабочих жидкостей.

Анализ отказов гидравлического оборудования показывает, что наибольшую долю составляют дефекты, связанные с износом плунжерных пар, распределительных дисков и блоков цилиндров. Абразивное изнашивание, кавитационная эрозия и усталостное разрушение материалов приводят к увеличению внутренних утечек, снижению объёмного КПД и ухудшению динамических характеристик гидросистем. Традиционный подход предполагает замену изношенных деталей новыми, однако экономическая целесообразность такого решения вызывает обоснованные сомнения при высокой стоимости комплектующих и длительных сроках их поставки.

Восстановительные технологии открывают альтернативные возможности для продления ресурса гидромашин при существенном сокращении материальных затрат [1]. Фундаментальной задачей становится выбор оптимального метода восстановления, учитывающего характер повреждений, материал детали, требуемую точность обработки и условия последующей эксплуатации. Электрохимические методы нанесения покрытий демонстрируют высокую эффективность при восстановлении плунжеров и внутренних поверхностей цилиндров. Хромирование обеспечивает формирование износостойких слоёв с твёрдостью до 1000 HV, обладающих низким коэффициентом трения и хорошей коррозионной стойкостью.

Газотермическое напыление расширяет спектр применяемых материалов покрытий, позволяя использовать металлокерамические композиции с заданными триботехническими свойствами. Плазменное напыление керметов на основе карбида вольфрама создаёт защитные слои толщиной 0,1-0,5 миллиметра с пористостью, способствующей удержанию смазочного материала в зоне контакта. Детонационное напыление обеспечивает более высокую адгезионную прочность покрытия благодаря значительным скоростям частиц при их соударении с подложкой.

Лазерные технологии модификации поверхностного слоя металлов получили распространение при восстановлении распределительных дисков и торцевых поверхностей блоков цилиндров. Лазерная наплавка позволяет формировать упрочнённые зоны с минимальными термическими деформациями базового материала. Управление параметрами излучения даёт возможность регулировать глубину проплавления, скорость кристаллизации расплава и, соответственно, микроструктуру наплавленного металла. Применение порошковых присадочных материалов на основе кобальтовых и никелевых сплавов обеспечивает получение слоёв с повышенной твёрдостью и износостойкостью.

Механическая обработка восстановленных деталей требует применения прецизионного оборудования, способного обеспечить необходимую геометрическую точность и параметры шероховатости поверхности. Алмазное хонингование цилиндрических отверстий позволяет достичь отклонений от круглости менее 2 микронметров при средней высоте микронеровностей Ra 0,1-0,2 мкм. Суперфиниширование плунжеров обеспечивает формирование зеркальной поверхности с Ra менее 0,05 мкм, что критично для минимизации утечек рабочей жидкости через зазоры прецизионных пар.

Притирка торцевых поверхностей распределительных узлов осуществляется на специализированных станках с применением абразивных паст различной зернистости. Контроль плоскостности производится интерферометрическими методами, позволяющими

выявлять отклонения на уровне долей микрометра. Качество притирки непосредственно влияет на герметичность золотниковых пар и, следовательно, на объёмные потери в гидромашине.

Диагностика технического состояния гидромашин перед восстановлением базируется на комплексе инструментальных методов контроля [4]. Виброакустический анализ позволяет выявлять дефекты подшипниковых узлов, нарушения балансировки вращающихся деталей и кавитационные процессы в рабочих камерах. Спектральный анализ масла информирует о характере и интенсивности изнашивания различных элементов гидромашин по концентрации продуктов износа определённого химического состава. Эндоскопическое обследование внутренних полостей выявляет локальные повреждения поверхностей без полной разборки агрегата.

Стендовые испытания восстановленных гидромашин проводятся в режимах, моделирующих реальные эксплуатационные условия. Измерение подачи при различных значениях давления и частоты вращения позволяет построить рабочие характеристики и оценить объёмный КПД. Регистрация пульсаций давления в напорной магистрали характеризует качество сборки и состояние уплотнительных элементов. Термографический контроль температурных полей корпуса указывает на локализацию зон повышенного трения и возможные дефекты монтажа.

Ресурсные испытания восстановленных агрегатов проводятся в ускоренном режиме с периодическим контролем эксплуатационных параметров. Статистическая обработка результатов позволяет прогнозировать межремонтный период и формировать рекомендации по условиям эксплуатации. Сравнительный анализ показателей надёжности новых и восстановленных гидромашин демонстрирует сопоставимые характеристики при правильном выборе технологии ремонта и соблюдении технологической дисциплины.

Эффективность и качество выполнения поставленных задач зависит от совершенства их рабочих органов и систем управления [3]. Экономическая эффективность восстановления определяется соотношением затрат на ремонт и стоимости нового изделия. Практика показывает, что при износе основных деталей в пределах технологически восстанавливаемых величин затраты составляют 30-50 процентов от цены новой гидромашин. Сокращение времени простоя оборудования в ожидании запасных частей даёт дополнительный экономический эффект, особенно критичный для непрерывных технологических процессов.

Перспективы развития восстановительных технологий связаны с внедрением аддитивных методов формирования функциональных поверхностей, применением наноструктурированных покрытий с заданными триботехническими характеристиками и использованием цифровых двойников для прогнозирования остаточного ресурса. Интеграция систем технической диагностики в конструкцию гидромашин позволит осуществлять мониторинг состояния в реальном времени и переходить к стратегии обслуживания по фактическому состоянию.

Разработка отраслевых стандартов на процессы восстановления гидравлического оборудования создаст нормативную базу для гарантирования качества ремонтных работ и унификации требований к технологическим процессам. Сертификация специализированных ремонтных предприятий обеспечит контроль компетенций исполнителей и наличия необходимого технологического оборудования. Формирование базы данных типовых

дефектов и рекомендуемых методов их устранения ускорит процесс принятия технологических решений и повысит воспроизводимость результатов восстановления.

Список литературы

1. Довбенко М.Н., Евдокимов В.Д. Разработка нетрадиционных путей повышения эксплуатационных характеристик аксиальнопоршневых гидромашин с учетом возможностей ремонта // ВЕЖПТ. 2014. №7 (71). С. 31-36.
2. Казаков И.В., Андреев Д.С. Современные тенденции развития гидрооборудования в условиях повышения нагрузок // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2024. №1. С. 45-52.
3. Казанников О.В., Смолейчук Т.А. Анализ способов ремонта ведущих валов аксиально-поршневых насосов // Ученые заметки ТОГУ. 2023. №2. С. 147-153
4. Коваленко А.Н. Диагностика и обслуживание аксиально-поршневых гидромашин / Справочное руководство. Новосибирск: Издательство Новосибирского университета, 2021. – 256 С.
5. Физические основы функционирования гидравлических систем: учеб. пособие / Н.И. Никифоров, В.Ю. Мороз; КТИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - Волгоград, 2021. - 96 С.

References

1. Belova T.N. The situation on the dairy front during the period of sanctions // Economist. 2015. No. 4. pp. 84-91.
 2. Dovbenko M.N., Evdokimov V.D. Development of Unconventional Methods for Improving the Operational Characteristics of Axial-Piston Hydraulic Machines Considering Repair Capabilities // VEZHP. 2014. No. 7 (71). pp. 31-36.
 3. Kazakov I.V., Andreev D.S. Modern Trends in the Development of Hydraulic Equipment Under Increased Loads // Scientific and Technical Bulletin of SPbSU ITMO. 2024. No. 1. pp. 45-52.
 4. Kazannikov O.V., Smoleichuk T.A. Analysis of Repair Methods for the Drive Shafts of Axial-Piston Pumps // Scientific Notes of TOGU. 2023. No. 2. pp. 147-153.
 5. Kovalenko A.N. Diagnosis and Maintenance of Axial-Piston Hydraulic Machines / Reference Guide. Novosibirsk: Novosibirsk University Press, 2021. – p.256
 6. Physical Principles of Hydraulic Systems Operation: Study Guide / N.I. Nikiforov, V.Yu. Moroz; KTI (Branch) of VolgGTU. - Volgograd, 2021. – p.96
-