

На основі проведених досліджень умов роботи основних вузлів тертя аксіально-поршневих гідромашин запропоновані доступні шляхи застосування ряду триботехнічних методів, що підвищують експлуатаційні характеристики. Проведений порівняльний аналіз основних нетрадиційних способів підвищення довговічності і здатності навантаження пар тертя деталей аксіально-поршневих гідромашин, шляхом зміни властивостей робочої рідини або застосування активних твердих мастил. Показані їх реальні можливості практичного використання

Ключові слова: гідромашина, знос, присадки, тверді мастила, активні матеріали, виборче перенесення, рухливі вставки

На основе проведенных исследований условий работы основных узлов трения аксиально-поршневых гидромашин предложены доступные пути применения ряда триботехнических методов, повышающих эксплуатационные характеристики. Проведен сравнительный анализ основных нетрадиционных способов повышения долговечности и нагрузочной способности пар трения деталей аксиально-поршневых гидромашин, путем изменения свойств рабочей жидкости или применения активных твердых смазок. Показаны их реальные возможности практического использования

Ключевые слова: гидромашина, износ, присадки, твердые смазки, активные материалы, избирательный перенос, подвижные вставки

РАЗРАБОТКА НЕТРАДИЦИОННЫХ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКСИАЛЬНО- ПОРШНЕВЫХ ГИДРОМАШИН С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕМОНТА

М. Н. Довбенко

Аспирант*

E-mail: dmark@bk.ru

В. Д. Евдокимов

Доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой*

*Кафедра судоремонта

Одесский национальный морской университет

ул. Мечникова, 34, г. Одесса, Украина, 65029

1. Введение

Аксиально-поршневые гидромашины в настоящее время нашли широкое применение в различных областях техники в качестве насосов и гидромоторов. Так, например, на одних и тех же агрегатах они выполняют сразу обе функции. При этом вращение от двигателя внутреннего сгорания или электромотора передается на вал гидронасоса, а от него рабочая среда в виде гидравлического масла под давлением в среднем 100–150 атмосфер поступает по шлангам на гидромоторы, которые передают крутящий момент на исполнительные органы для вращения колес, поворота кранов, движения гусениц и прочее. Как и все изделия машиностроения, аксиально-поршневые гидромашины имеют ограниченную долговечность, что приводит к выходу из строя и простоя техники, на которой они установлены. Вследствие этого наносится ущерб и потеря средств на производстве, а также могут возникать аварийные ситуации на средствах транспорта. Несмотря на стремительное развитие научных исследований и совершенствование конструкций аксиально-поршневых гидромашин, существует ряд проблем, которые

требуют проведения научно-исследовательской работы для повышения эксплуатационной долговечности этих гидромашин. Поэтому актуальность темы остается в центре внимания научных работников.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Ограниченный срок службы аксиально-поршневых гидромашин обуславливается интенсивностью износа их основных узлов трения и условиями эксплуатации. [1–5]. Имеют место и другие причины. Например, разрыв шлангов высокого давления, трещины в корпусе, поломка подшипников, заклинивание поршней в блоках цилиндров, отрыв шатунов от упорных полусфер, повреждение уплотнений и прочее [6, 7]. Как и любые изделия современной техники, аксиально-поршневые гидромашин должны постоянно совершенствоваться [8], при этом требования к их надежности все время возрастают. Это подтверждается непрерывным интересом ученых, инженеров и производителей в области повышения их рабочих характеристик, увеличению долго-

вечности и безотказности их работы, изучению условий смазки основных пар трения, снижению утечек, шума и вибрации [9–12]. Несмотря на достигнутые результаты по разработке новых технологий и конструкторских решений, связанных с улучшением условий смазывания рабочих поверхностей, существует необходимость поиска новых путей повышения надежности аксиально-поршневых гидромашин, а также изменения требований по проведению их ремонта. Заметим, что в эксплуатационных условиях ремонт аксиально-поршневых гидромашин, как правило, не выполняют, а отсылают их на специализированные заводы-изготовители. Поэтому данная работа будет направлена на разработку технологий доступных даже в условиях ремонтных мастерских на производстве по повышению рабочих характеристик и способных продлить срок службы аксиально-поршневых гидромашин при их эксплуатации.

3. Цели и задачи исследования

Целью работы – выявить основные трибологические повреждения рабочих поверхностей аксиально-поршневых гидромашин и разработать реальные методы повышения их эксплуатационных характеристик.

Основными задачами в работе являются: определение доступных в условиях ремонта нетрадиционных методов, повышающих эффективность работы узлов трения гидромашин, и получение экспериментальных данных по оценке эффективности этих методов.

4. Рассмотрение основных узлов трения АПГ и анализ подбора материалов их деталей при заводском изготовлении

Для наглядности рассмотрим общие основные узлы трения аксиально-поршневых гидромашин на примере машины нерегулируемого типа, представленной на рис. 1, а и в отдельности ее поршней с качающимися штоками на рис. 1, б.

Как следует из рис. 1, конструкция гидромашин содержит различные пары трения. Прежде всего, это поршни 2, совершающие возвратно-поступательные движения в отверстиях блока 1. Таких отверстий семь. При серийном производстве блоки гидроцилиндров выполняются, как правило, из высокоолеволянистой бронзы БрО-12, а поршни сделаны из азотированной стали 38ХМЮА. Это наиболее оправданное практикой сочетание материалов. Однако высокоолеволянистая бронза является весьма дорогой и, кроме того, из-за недостаточной прочности ограничивает увеличение давления рабочей жидкости выше 180–200 атм. Если такую бронзу заменить сталью, что положительно отразится на увеличении прочности блока гидроцилиндров, то взамен произойдет усложнение технологии изготовления стального блока путем применения его термической обработки и прецизионного шлифования. Это вызовет также необходимость изменять сочетание материалов других пар трения, как мер повы-

шения износостойкости стальной пары блок-поршни и, в первую очередь, изготавливать распределитель придется не из стали, а, например, из бронзы.

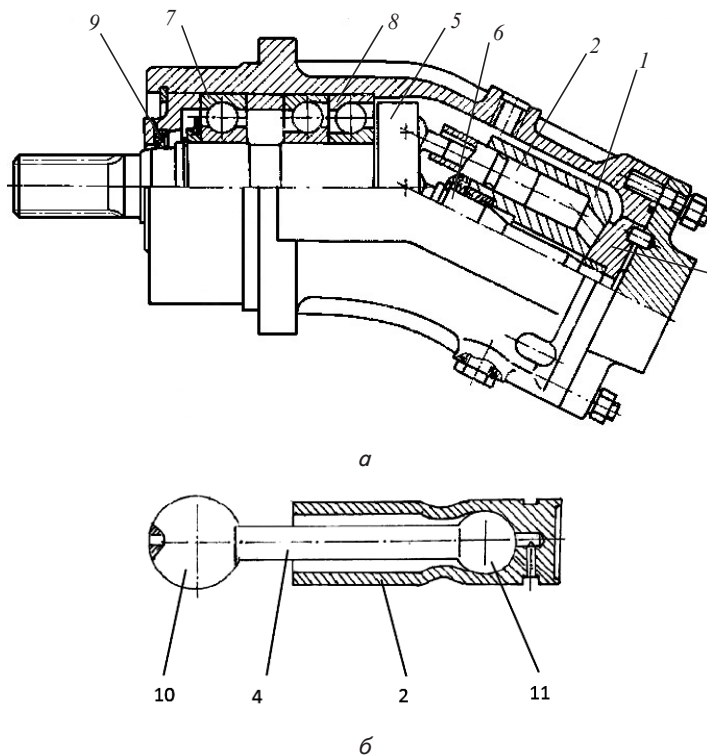


Рис. 1. Аксиально-поршневая гидромашинка и ее основные пары трения: а – гидромашинка; б – поршень; 1 – блок цилиндров; 2 – поршень; 3 – распределитель; 4 – шток; 5 – опорный диск; 6 – шип; 7, 8 – подшипники; 9 – уплотнение; 10, 11 – сферическая поверхность

Как известно, условия трения деталей в гидромашине достаточно жесткие. Поэтому при эксплуатации на рабочих поверхностях наблюдаются задиры и зоны схватывания, как на юбках поршней рис. 2, а, так и на их гидроцилиндрах рис. 2, б.

Следующая пара трения – торцевая сферическая поверхность блока гидроцилиндров 1 и притертая к ней поверхность распределителя 3 (рис. 1). Ранее их поверхности делали плоскими. От качества изготовления таких поверхностей зависит способность гидромашин выполнять свои функции при малых утечках рабочей жидкости. К тому же из-за различного торцевого прижатия в зонах высокого и низкого давления возникает неодинаковый износ контактирующих поверхностей и даже отжим с одной стороны с образованием клина [13, 14]. При этом, даже небольшое количество абразивных частиц в масле сказывается, прежде всего, на износе этих поверхностей, вызывая продольные риски, повышенный износ и утечки.

Передача давления масла от поршней или к ним осуществляется качающимися штоками 4. Они имеют сферические поверхности на своих концах 10, 11 (рис. 1, б), которые совместно с опорами являются подшипниками скольжения. По принятой технологии одна сферическая поверхность каждого штока закреплена внутри поршня путем закатывания части его цилиндрической поверхности. Трение происходит

между сферой штока и сферической внутренней торцевой поверхностью поршня – сталь по стали. Каждая наружная сферическая поверхность штоков контактирует с бронзовым или стальным опорным диском 5.

Конструкция гидромашин снабжена центральным направляющим шипом 6 (рис. 1, а), который имеет две поверхности трения на своих оконечностях.

Вал гидромашин снабжен подшипниками качения 7, 8. Несмотря на хорошие условия смазывания, он подвержен всем видам износа и часто выходит из строя, не достигая пittingа.

Наконечники уплотнения 9. Они также сами изнашиваются и изнашивают поверхность выходного вала. С наружной стороны они часто находятся в запыленной среде, особенно при работе гидромашин в полевых условиях, в шахтах, на строительных участках дорог и прочее (рис. 3).

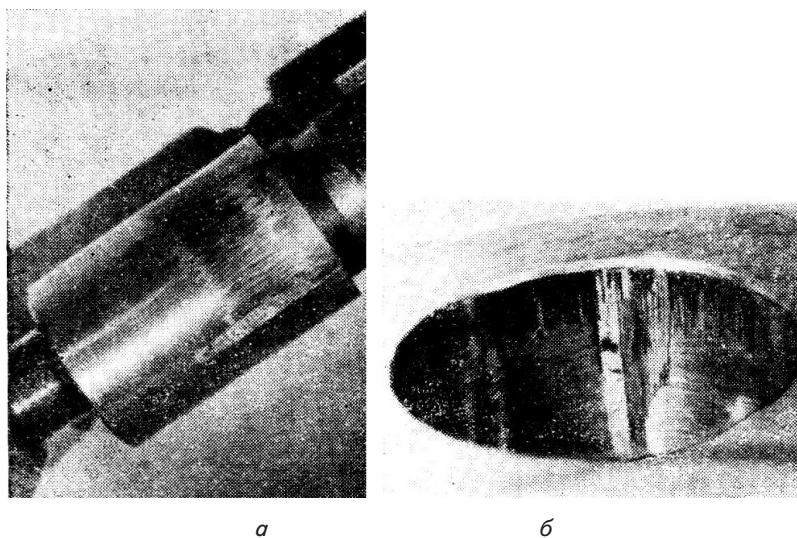


Рис. 2. Зоны задиrow и схватывания аксиально-поршневой гидромашин 210.25: а – на поршнях; б – в гидроцилиндрах



Рис. 3. Гидромотор 210.25 в приводе автодорожного крана при осуществлении строительных работ

5. Экспериментальная разработка нетрадиционных методов, повышающих долговечность работы основных узлов трения аксиально-поршневых гидромашин

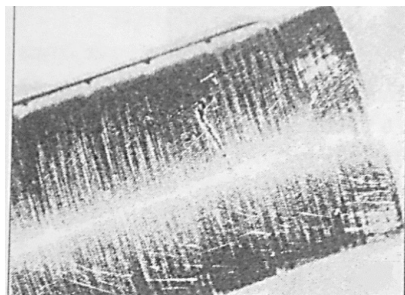
Из приведенного краткого перечня пар трения можно сделать вывод, что они достаточно разнообразны и работают в разных условиях. Поэтому единых рекомендаций и методов, повышающих их долговечность, может быть не так уж много. Тем более, выбор материалов деталей и рабочего гидравлического масла сделан достаточно оправданным практикой повышения эксплуатационной долговечности аксиально-поршневых гидромашин. Рассмотрим некоторые прогрессивные пути.

Наиболее универсальным средством управления долговечностью перечисленных выше пар трения аксиально-поршневых гидравлических машин является улучшение свойств рабочей среды путем применения различных добавок. В этом направлении по нашему мнению следует отдать предпочтение созданию условий проявления эффекта П. А. Ребиндера [15]. Проведенные эксперименты показали, что добавление в гидравлическое масло 1,5–2 % олеиновой кислоты в значительной степени снижает коэффициент трения, износ поверхностей, увеличивает в полтора раза допускаемую предельную нагрузку и снижает время приработки или обкатки поверхностей в 8–10 раз. Проявление данного эффекта было проверено в лабораторных условиях не только на модельных образцах, но и на самих гидромашин. На рис. 4 хорошо видно разницу в качестве приработки поршней гидромашин по заводскому режиму в течение 8 часов при 50 атм. рис. 4, а и по рекомендуемому режиму с применением поверхностно-активной добавки к маслу с сокращением времени приработки до 20 минут и увеличенной ступенчато нагрузкой до 200 атм. рис. 4, б.

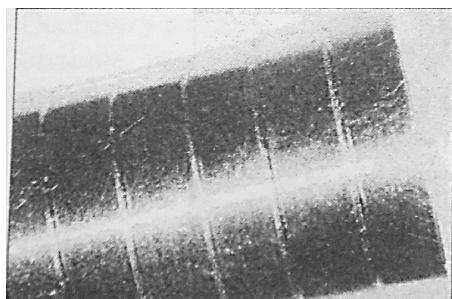
На рис. 5 показана приработка торцевой поверхности блока цилиндров непрерывным однообразным трением по заводскому режиму рис. 5, а и по экспериментальному с использованием 2 % поверхностно-активной добавки в течение 20 мин с повышением давления до 200 атм на рис. 5, б.

Вторым обобщенным для всех деталей методом повышения их долговечности может быть создание условий для проявления эффекта избирательного переноса, открытого Д. Н. Гаркуновым [16–17]. Однако вся сложность применения на практике этого открытия заключается в использовании специальной среды, содержащие глицерин. Тогда на стальных парах трения возникают тонкие пленки

меди, что делает процесс трения почти безызносным. С этой целью были испытаны такие пары трения и показано образование пленок меди толщиной порядка 3 мкм на стальных поверхностях, включая подшипники качения через 20 мин после приработки рис. 6, а и после 5 часов работы рис. 6, б.

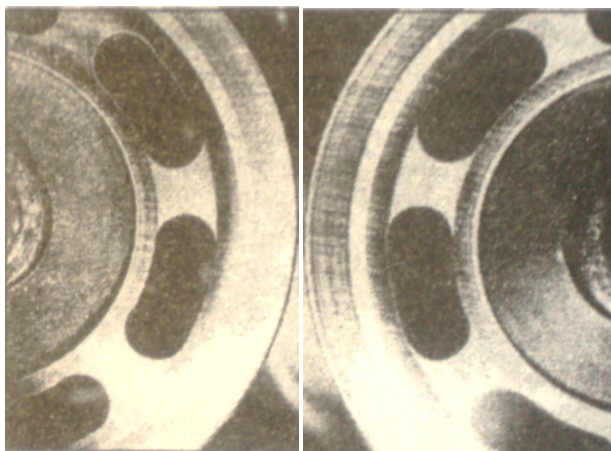


а



б

Рис. 4. Поверхности трения поршней после приработки:
а – 8 часов по заводскому режиму при 50 атм;
б – экспериментальная, рекомендуемая 20 минут с применением поверхностно-активной добавки при 200 атм



а

б

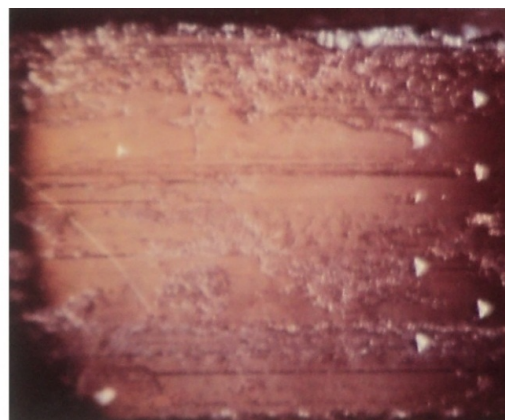
Рис. 5. Влияние поверхностно-активных добавок на приработку поверхности трения блока цилиндров:
а – непрерывное однообразное трение по заводской технологии 8 часов, 50 атм.; б – приработка с использованием 2 % поверхностно-активной добавки 20 мин, 200 атм

Далее при проведении дальнейших исследований были испытаны пары трения, содержащие специаль-

ные твердые смазочные вставки. Этот метод подвижных твердых вставок из активных смазочных материалов был рассмотрен впервые в работах [18]. Оказалось, что активные твердые смазочные материалы, выполненные в виде подвижных вставок, способны во много раз (до 10) улучшать условия трения, особенно для пар сталь-сталь. Твердые смазочные вставки были установлены на ряде узлов аксиально-поршневых гидромашин, работающих на рекомендуемых стандартных маслах. Это позволило даже заменить рабочую пару сталь-бронза для блока гидроцилиндров и распределителя на пару сталь-сталь, но при этом потребовалось изготовление небольших карманов на рабочих поверхностях поршней для монтажа специальных составов из эпоксидной смолы с различными добавками.



а



б

Рис. 6. Образование пленки меди на стальных поверхностях гидромашин: а – через 20 мин работы; б – через 5 часов. Рабочая среда: веретенное гидравлическое масло АУ с добавкой 20 % глицерина

6. Обсуждение результатов экспериментов: анализ эффективности нетрадиционных методов повышения долговечности аксиально-поршневых гидромашин

Полученные экспериментальные данные по эффективности рассмотренных методов повышения долговечности аксиально-поршневых гидромашин обобщены в табл. 1. В ней же указаны главные недостатки,

которые могут являться очевидным препятствием для широкого применения предложенных методов.

Таблица 1

Нетрадиционные методы повышения долговечности аксиально-поршневых гидромашин

№	Метод	Повышение износостойкости, раз	Повышение нагрузочной способности детали, атм	Замена бронзы на сталь	Основной недостаток
1	Использование ПАВ к рабочей жидкости	3	300	Заводская пара	Обязательная присадка ПАВ (1,5–2%)
2	Создание условий для возникновения избирательного переноса	2–4	250	Заводская пара	Глицерин или смеси масел
3	Применение активных твердых смазок	3–5	300–400	Сталь по стали	Необходимо делать узкие карманы для вставок
4	Заводские условия, эксплуатация гидромашин 210.25 (приняты за единицу в п. 1–3)	1	160	Блок из бронзы Распределитель – сталь	Желательно поднять параметры с экономией бронзы

Из табл. 1 видно, что изменяя свойства рабочей жидкости масла ИС-20 или ИС-30 можно значительно увеличить эксплуатационные характеристики гидромашин (п. 1, 2). Добавление поверхностно-активных веществ в гидравлическое масло позволяет повысить износостойкость деталей гидромашин в три раза, а также увеличить нагрузочную способность почти в 2 раза. При этом, появляется возможность заменить изготовление деталей из бронзы на сталь и снизить стоимость материалов. Однако, возникает необходимость постоянно применять присадки в эксплуатационных условиях, что в настоящее время представляется затруднительным не из-за материальных затрат, а из-за человеческого фактора, обусловленного безразличием к технике.

Создание же условий для избирательно переноса также изменяет свойства рабочей жидкости, но обеспечивает меньшее увеличение рабочих параметров

по износостойкости и нагрузочной способности всего лишь в 1,5 раза. Такой метод также требует применения другой жидкой смазочной среды или смесей.

Наиболее эффективным методом является применение вставок по п. 3 (табл. 1), который мало зависит от эксплуатационников и применяемого масла. Для изготовления активных вставок из эпоксидной смолы с добавлением порошка перманганата калия и порошковой красной меди не требуется больших затрат и доступно при изготовлении или восстановлении аксиально-поршневых гидромашин на специализированных предприятиях. К тому же снова появляется возможность заменить изготовление блока гидроцилиндров из бронзы на сталь и снизить затраты на материал.

Повышение износостойкости по сравнению с заводскими условиями эксплуатации достигает 5 раз и позволяет существенно увеличить рабочее давление до 400 атм. Для таких гидромашин, оснащенных подвижными вставками, в качестве рабочей жидкости может быть использована даже вода, при этом конструкция должна предусматривать использование смазочного масла только для подшипников качения. Перечисленные выше преимущества могут компенсировать затраты по изготовлению специальных узких карманов для подвижных вставок из твердой смазки.

7. Выводы

1. Изучены условия работы пар трения деталей аксиально-поршневых гидромашин и показаны реальные пути применения ряда триботехнических методов.

2. Установлено, что наиболее простыми в применении методами, повышающими эффективность работы узлов трения аксиально-поршневых гидромашин, являются следующие:

- использование поверхностно-активных добавок к рабочей жидкости – гидравлическому маслу;
- создание условий проявления избирательного переноса с образованием на стальных деталях тонкой пленки меди;
- применение подвижных вставок из активных материалов.

3. В результате проведенного анализа эффективности практического использования приведена сводная таблица с основными достоинствами и недостатками рассмотренных нетрадиционных методов, улучшающих качество приработки деталей аксиально-поршневых гидромашин и их узлов трения.

Литература

1. Гринчар, Н. Г. Методы и средства повышения эксплуатационной надежности гидроприводов дорожных и строительных машин [Текст] : дис. док. техн. наук / Н. Г. Гринчар. – М., 2007. – 369 с.
2. Мосалов, Р. В. Влияние механических примесей на величину износа пар трения аксиально-поршневых насосов [Текст] / Р. В. Мосалов // Известия ОрелГТУ, Транспорт и строительство. – 2003. – С. 251–252.
3. Лозовский, В. Н. Надежность гидравлических агрегатов [Текст] / В. Н. Лозовский. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
4. Косолапов, С. В. Анализ методов и параметров диагностирования рабочей жидкости гидропривода путевых машин [Текст] / С. В. Косолапов // Методы расчетов конструкций и сооружений. – 2011. – № 125. – С. 98–102.
5. Евдокимов, В. Д. Трибология знакопеременного трения [Текст] / В. Д. Евдокимов. – Одесса: Интерпринт, 2011. – 432 с.

6. Павлов, А. И. Повышение надежности гидроприводов лесных машин [Текст] : дис. док. ... тех. наук / А. И. Павлов. – Йошкар-Ола, 2004. – 408 с.
7. Гаркунов, Д. Н. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов [Текст] / Д. Н. Гаркунов, А. А. Поляков. – М.: Машиностроение, 1973. – 199 с.
8. Свешников, В. К. Международный справочник насосов и гидродвигателей 2000-2009 гг. [Текст] / В. К. Свешников // Гидравлика. Пневматика. Приводы. – 2010. – № 1(3). – С. 14–17.
9. Kassem, S. A. Effect of port plate silencing grooves on performance of swash plate axial piston pumps [Text] / S. A. Kassem, M. K. Bahr // Current Advances in Mechanical Design and Production, Proc. of 7th MDP Conf., Cairo Pergamon press, 2000. – P. 139–148. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-008043711-8/50015-5>
10. Bergada, J. M. Pressure, flow, force and torque between the barrel and port plate in axial piston pump [Text] / J. M. Bergada, J. Watton, S. Kumar // ASME Journal of Dynamic System, Measurement and control. – 2008. – Vol. 130, Issue 1. – P. 011011-1/16. doi: <http://dx.doi.org/10.1115/1.2807183>
11. Hong, Y. S. Improvement of the low-speed friction characteristics of a hydraulic piston pump by PVD-coating of TiN [Text] / Y. S. Hong, S. Y. Lee, S. H. Kim, H. S. Lim // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2006. – Vol. 20, Issue 3. – P. 358–365. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/bf02917518>
12. Ivantysynova, M. An Investigation into Micro – and Macrogeometric Design of Piston [Text] / M. Ivantysynova, R. Lasaar // Cylinder Assembly of Swash plate machines. International Journal of Fluid Power 5. – 2004. – Vol. 5, Issue 1. – P. 23–36. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/14399776.2004.10781181>
13. Башта, Т. М. Гидравлические машины и гидравлические приводы [Текст] / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1970. – 560 с.
14. Евдокимов, В. Д. Повышение долговечности аксиально-поршневых гидромашин [Текст] / В. Д. Евдокимов, М. Н. Довбенко; Одес. нац. мор. ун-т. – Одесса : Интерпринт, 2013. – 144 с.
15. Евдокимов, В. Д. О проявлении адсорбционного понижения прочности при реверсивном трении скольжения [Текст] / В. Д. Евдокимов, П. А. Ребиндер // ДАН СССР. – 1969. – Т. 185, № 6. – С. 48–52.
16. Гаркунов, Д. Н. Повышение износостойкости на основе избирательного переноса [Текст] / Д. Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1977. – 215 с.
17. Гаркунов, Д. Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация) [Текст] : учеб. / Д. Н. Гаркунов; 5е изд. перераб. и доб. – М.: Издательство МСХА, 2002. – 632 с.
18. Евдокимов, В. Д. Улучшение рабочих характеристик прецизионной пары поршень-втулка путем использования подвижных вставок [Текст] : зб. наук. пр. / В. Д. Евдокимов // Вісник ОНМУ. – 1998. – Вип. 2. – С. 3–6.