

УДК 621.22
DOI: 10.12737/23210

С.А. Воронов, В.С. Гаврилова

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ ГИДРОМАШИН

Приведён анализ особенностей конструкций и условий работы пар трения скольжения аксиально-поршневых гидромашин, способов повышения их надёжности и материалов для изготовления поверхностей трения. Предложены методика выбора антифрикционных материалов пар трения аксиально-поршневых гидромашин и алгоритм её реализации.

Приведены результаты апробации методики и алгоритма её реализации для аксиально-поршневого насоса с наклонным диском рабочим объёмом 15 см³.

Ключевые слова: надёжность, аксиально-поршневая гидромашинка, пары трения, износ, потери мощности, скольжение, материалы.

S.A. Voronov, V.S. Gavrilova

RELIABILITY INCREASE IN HIGH-DYNAMIC AXIAL-PISTON HYDROMACHINES

At present time there is a trend of specific power increase in axial-piston hydromachines (APHM) that results in increase, volumetric and mechanical losses loads and servicing characteristics decrease. It requires a corresponding reliability increase in hydromachines of this type.

Basic reasons of capacity loss and APHM servicing characteristics decrease are sliding couples: a cylinder block – edge distributor, pistons-cylinders walls.

Nonmetallic antifriction materials used for manufacturing coatings of interacting surfaces in parts are considered most promising for manufacturing coatings for operation surfaces in parts of friction units of APHM.

In connection with the evident topicality of the scientific-practical problem of reliability increase in modern high-dynamic APHMs there was offered a procedure of choice of anti-friction materials, their

sliding couples and an algorithm of its realization. The procedure is based on the comparison of performance of antifriction materials used with parameters of an operation mode of friction couples and also power loss for friction and material wear intensity.

As basic performances there were assumed maximum contact pressures, temperature and rates of a relative motion of mating surfaces, and as a parameter characterizing material durability, - comparative linear wear intensity.

The realization of a procedure for an axial-piston pump with a sloped disk with the capacity of 15 cm³ allowed justifying a purposefulness of the application for “pistons-cylinder walls” couples of fluoroplastic materials, for the rest of couples – hydro-nitration.

Key words: reliability, axial-piston hydromachine, friction couples, wear, capacity loss, sliding, materials.

Введение

Надёжность работы современных гидрофицированных технологических машин в значительной мере определяется техническими характеристиками используемых в них объёмных гидравлических приводов. Постоянно растущие требования к рабочим нагрузкам, точности позиционирования, скоростям и ускорениям движения рабочих органов этих машин вызывают необходимость дальнейшего инновационного развития гидроприводов, связанного с повышением удельной мощности их основных элементов – аксиально-поршневых гидромашин (АППМ) (рис. 1).

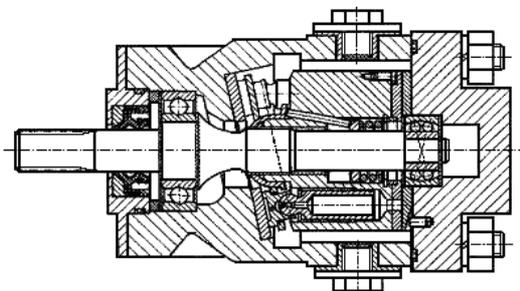


Рис. 1. Аксиально-поршневая гидромашинка с наклонным диском [1]

Реализация этих тенденций путём использования, в частности, высокого рабо-

чего давления жидкости в настоящее время приводит к необходимости применения высокодинамичных АПГМ, т.е. гидромашин повышенной удельной мощности.

Форсирование АПГМ по давлению вызывает ухудшение их показателей качества: снижение КПД, быстродействия и др. Следует ожидать, что изменение данных показателей АПГМ приведёт к повышенным износу и потерям мощности в их парах трения скольжения, особенно в парах «блок цилиндров - торцевой распределитель» и «поршни - стенки цилиндров», составляющих основу ходовой части данных гидромашин и в значительной мере определяющих их надёжную работу [1].

Для обеспечения эффективной работы данных гидромашин на высоких давлениях потребуется повысить работоспособность их основных пар трения скольжения, в частности путём снижения величины износа и улучшения трибологических характеристик сопряжённых поверхностей.

Для обеспечения эффективной работы данных гидромашин на высоких давлениях потребуется повысить работоспособность их основных пар трения скольжения, в частности путём снижения величины износа и улучшения трибологических характеристик сопряжённых поверхностей.

Особенности конструкций и условий работы пар трения АПГМ

Основными характеристиками АПГМ, определяющими качество работы объёмных гидроприводов, считаются диапазоны функционирования по давлению и частоте вращения, динамичность, массогабаритные характеристики при удовлетворительном уровне экономичности. В свою очередь, перечисленные показатели работы данных гидромашин в значительной степени зависят от работоспособности их основных пар трения скольжения (блок цилиндров - торцевой распределитель, поршни - стенки цилиндров).

Пара трения «блок цилиндров - торцевой распределитель» является базовой образующей торцевого распределительного узла - одного из основных типовых узлов, определяющих работоспособность и долговечность всех конструктивных разновидностей АПГМ.

Типовая конструкция торцевого распределительного узла АПГМ (рис. 2) состоит из распределительного диска 2, сопряженного с его рабочей поверхностью торца вращающегося блока цилиндров 1 и жидкостной пленки, расположенной между ними. Нерабочая торцевая поверхность распределительного диска сопряжена с крышкой корпуса, если распределительный диск не выполнен за одно целое с крышкой.

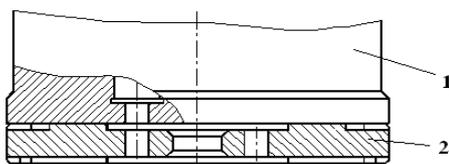


Рис. 2. Распределительный узел [1]

В основу идеального принципа работы торцевого распределительного узла заложено одновременное выполнение трёх функций - распределительной, опорной и уплотнительной - при самокомпенсации износа контактирующих поверхностей блока цилиндров и распределителя.

При работе этого узла имеет место неравномерный износ сопряжённых поверхностей блока и распределителя вследствие их непосредственного контакта в основном при переходных режимах работы и абразивный износ торцевой поверхности блока цилиндров твёрдыми частицами, поступающими в стыковой зазор вместе с рабочей жидкостью. Это приводит к изменению геометрических размеров и износу поверхностей трения, что является причиной нарушения работоспособности этого узла и гидромашин в целом [1].

В настоящее время разработано большое количество конструктивных решений торцевого распределительного узла, направленных на повышение его работоспособности путём усовершенствования формы, размеров и мест расположения рабочих окон и уплотнительных поясков распределительных поверхностей, а также в результате введения в конструкцию данного узла дополнительных деталей.

Считается, что работоспособность пар трения «поршни - стенки цилиндров» АПГМ (рис. 3) во многом определяет объёмный и механический КПД и общий ресурс гидромашин.

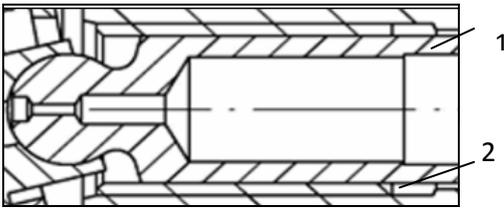


Рис. 3. Эскиз типовой пары трения «поршень - стенка цилиндра»

Рабочими камерами АПГМ являются цилиндры, аксиально расположенные относительно оси ротора в блоке, а вытеснителями – поршни 1, вращающиеся вместе с блоком и совершающие возвратно-поступательное движение в цилиндрах (относительно стенок 2).

Поршни гидромашин (рис. 4) конструктивно различаются длиной L , размером полостей, определяющих величину мёртвого пространства полости нагнетания, а также диаметрами цилиндрической части d и головки сферы. При этом форма и размеры поршней и цилиндров должны удовлетворять следующим требованиям [2]:

- должно в целом обеспечиваться герметичное отделение поршневых камер от внутренней полости гидромашин;

- зазоры между поршнями и стенками цилиндров должны обеспечивать свободное движение поршней на всех режимах работы машины, то есть в данной паре должно обеспечиваться условие минимума объемных и механических потерь.

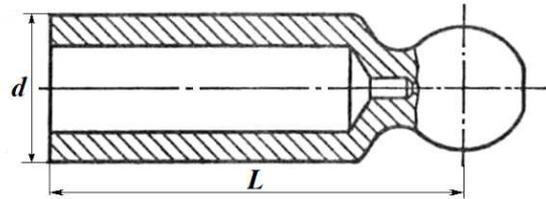


Рис. 4. Типовая конструкция поршня АПГМ с наклонным диском

При своём возвратно-поступательном движении в цилиндрах поршни в результате воздействия внешних силовых факторов могут контактировать со стенками цилиндров, что является основной причиной повышенных механических потерь и износа сопряжённых поверхностей поршней и стенок цилиндров.

Способы повышения надёжности работы пар трения АПГМ

Повышение надёжности АПГМ - это комплексная задача, решать которую необходимо на всех этапах и стадиях создания и эксплуатации гидромашин.

В общем случае конструктивная разработка узлов трения скольжения АПГМ предполагает решение следующих задач:

- выбор принципиальной схемы работы узлов трения с точки зрения их влияния на надёжность гидромашин;
- выбор материалов и сочетания их в парах трения;
- назначение размеров и формы деталей с учетом местной и общей прочности;
- разработку мер по уменьшению общих и местных перегрузок;
- обеспечение нормального функционирования пар трения в заданных условиях (смазки, абразивного действия среды и перегрева);

- обеспечение эксплуатационной технологичности конструкций;

- защиту трущихся поверхностей деталей от возможных аварийных повреждений при эксплуатации;

- разработку способов и средств диагностики пар трения.

При конструировании и проектировании гидромашин следует также ориентироваться на минимизацию количества узлов и деталей, поскольку сокращение количества элементов является существенной мерой повышения надёжности. При этом необходимо стремиться и к обеспечению высокой надёжности каждого из узлов и их деталей.

Высокую надёжность при конструировании гидромашин также можно обеспечивать выполнением требуемых условий по основным критериям работоспособности, в частности, их поверхностей трения:

прочности, износостойкости, жесткости и теплостойкости.

К основным технологическим способам обеспечения и повышения надежности АПГМ следует отнести повышение ремонтпригодности машин и износостойкости деталей путем выбора базовых материалов для их изготовления и способов формирования свойств их рабочих поверхностей.

Материалы деталей узлов трения скольжения АПГМ

Выбор материалов деталей узлов трения скольжения АПГМ представляет собой трудную задачу, так как зависит от конструкции и назначения узлов, технологии изготовления деталей, режимов эксплуатации, требований к сроку их службы и надежности с учетом стоимости применяемых материалов, производственных и эксплуатационных расходов.

В настоящее время выбор материалов деталей пар трения АПГМ, как правило, осуществляется по результатам натурных испытаний материалов исходя только из условий обеспечения потребного ресурса работы гидромашин и хороших антифрикционных свойств.

Такой односторонний подход к выбору материалов без учёта конструктивных и рабочих особенностей пар трения не позволяет на стадии проектирования гидромашин оценить возможность их использования.

Для изготовления скользящих пар трения АПГМ в большинстве случаев применяют пары «сталь - бронза» либо «сталь - латунь». В частности, в настоящее время распределительные диски изготавливают в основном из стали Х12Ф1 в паре с цилиндрическим блоком из стали 12ХН3А с трущимися поверхностями (втулками цилиндров и торцевой опорой) из оловянисто-свинцовой бронзы или латуни марки ЛМцСКА. Применяются также распределительные диски из нитрированной стали с твердостью рабочих поверхностей HRC 60...62 в паре с цилиндрическим блоком из сурьмянистой бронзы. В этом случае поршни изготавливают из цементируемой стали 12ХН3А с твердостью рабочих поверхностей HRC 58 [3].

При этом следует отметить, что в настоящее время достаточно большое внимание уделяется решению вопросов обеспечения и повышения противоизносных свойств и трибологических характеристик поверхностей деталей пар трения скольжения АПГМ и объёмных гидромашин в целом.

Эти материалы показали достаточно хорошие результаты по износостойкости и трибологическим характеристикам в гидромашинках, работающих при максимальных давлениях до 30 МПа, обеспечивая, в частности, общий КПД 92...95% и минимальную устойчивую частоту вращения вала до ~10 оборотов в минуту.

Однако практика показывает, что сочетание таких материалов не способны в достаточной степени обеспечить необходимую надежность АПГМ при существующих повышенных требованиях к эксплуатационным характеристикам.

Использование антифрикционных и износостойких материалов при изготовлении сопряжённых поверхностей трения позволит повысить надёжность и ресурс работы пар трения скольжения АПГМ при работе на форсированных режимах нагружения.

Антифрикционные материалы подразделяют на металлические и неметаллические.

В машиностроении наиболее широко применяемыми являются металлические антифрикционные материалы:

- удерживающие на поверхности смазку: сплавы олово-никель и олово-свинец;
- повышающие твердость и износостойкость: никель, хром, родий, палладий, сплавы никель-вольфрам, никель-олово, медь-олово;
- работающие в тяжелонагруженных узлах трения с наилучшими смазочными свойствами: хром, сплавы олова, а также сплавы никеля с фосфором или бором.

Недостатки этих антифрикционных материалов (покрытий): пористость,

склонность к окислению, а также сложный технологический процесс нанесения.

Одним из перспективных методов упрочнения металлических поверхностей трущихся деталей является оксиазотирование (нитрооксидирование) - процесс диффузионного насыщения поверхности изделий азотом, совмещенный с оксидированием в газовой среде. Оксиазотированию часто подвергаются изделия, изготовленные в основном из конструкционных сталей с различными составами легирующих элементов, содержанием углерода в пределах 0,5%, работающие при скоростях более 8 м/с. Толщина слоя покрытия составляет ~50...200 мкм, твердость поверхности достигает 65 HRC, а температура окружающей среды не превышает 450⁰С; коэффициент трения скольжения без смазки составляет 0,1...0,15. В результате азотирования через оксидный барьер коэффициент трения поверхности снижается по сравнению с классическим азотированием, а износостойкость повышается: в условиях трения скольжения без смазки - в 4...4,5 раза, в условиях абразивного и гидроабразивного изнашивания - в 2...2,5 раза [4].

Данное покрытие обладает высокими износостойкостью и коррозионной стойкостью, а также высокой степенью прирабатываемости.

Неметаллические антифрикционные материалы наносят на сопряженные поверхности пар трения обычно в виде покрытий в процессе следующих видов их обработки [5]:

- изменения состава и состояния поверхностных слоев термической (закалка) и химико-термической (цементация, азотирование, сульфидирование, оксидирование и т.д.) обработкой;

- введением в металлические материалы твердых неорганических смазок и полимерных материалов, выполняющих аналогичные функции (графит, дисульфид молибдена и сульфиды других металлов, селениды и теллуриды, нитрид бора, окислы некоторых металлов, фторопласт, полиформальдегид и т.п.);

- нанесением на поверхности трения различными способами (газофазным,

ионным, детонационным, плазменным, электроискровым, наплавкой и др.) износостойких слоев твердых соединений (металлоподобных окислов, металлов и сплавов);

- введением в поры металлической основы жидких и пластичных смазочных материалов нефтяного происхождения и синтетических;

- применением в качестве одного из компонентов сопряжения неметаллических материалов, обладающих низкой адгезионной способностью по отношению к металлам (полимерные материалы, дерево, антифрикционные графитовые материалы, алмаз, рубин и т.д.).

К неметаллическим антифрикционным материалам и покрытиям также можно отнести самосмазывающиеся пластмассы на основе фенолформальдегидной смолы: карболит, бакелит, полиэтилен, фторопласт и др. [6].

Из вышеперечисленных материалов для антифрикционного покрытия поверхностей трения скольжения АПГМ наиболее перспективными представляются фторопласты.

В настоящее время фторопласт имеет множество модификаций, отличающихся главным образом своими наполнителями. Введение наполнителей, как правило, снижает разрушающее напряжение при растяжении, относительное удлинение при разрыве, ударопрочность, увеличивает модуль упругости (особенно стекловолокно с дисульфидом молибдена и бронза), прочность на сжатие. Износостойкость наполненных композиций значительно зависит от типа наполнителя: бронза увеличивает износостойкость в 450 раз, никель - в 260, медь - только в 22 раза [7].

Фторопласт в «чистом» виде представляет собой кристаллический полимер с температурой плавления кристаллитов +327⁰С и температурой стеклования аморфных участков от -100 до -120⁰С. Даже при температуре выше температуры разложения (+415⁰С) фторопласт не переходит в вязкотекучее состояние, поэтому

переработка его возможна только методом спекания отпрессованных таблеток. В зависимости от скорости охлаждения (до температуры ниже +250°C) после спекания можно получить закаленные изделия со степенью кристалличности ~50% и плотностью ~2,15 г/см³ или незакаленные со степенью кристалличности более 65%, плотностью выше 2,20 г/см³ [8].

Методика выбора материалов пар трения АПГМ

В связи с очевидной актуальностью научно-практической задачи повышения надежности современных высокодинамичных АПГМ с целью минимизации потерь мощности на трение и износа пар трения была предложена методика выбора антифрикционных материалов пар трения скольжения. Она базируется на сравнении:

- эксплуатационных параметров применяемых антифрикционных материалов с параметрами режима работы пар трения;
- потерь мощности на трение;
- параметров, характеризующих износостойкость материалов.

В качестве основных эксплуатационных параметров были приняты максимальные контактные давления, температура и скорости относительного движения сопряженных поверхностей. При выборе материалов считалось недопустимым превышение режимных параметров пары трения над эксплуатационными параметрами материалов.

В качестве параметра, характеризующего износостойкость материалов сопряженных поверхностей трения АПГМ при абразивном износе, с достаточной степенью достоверности была принята величина сравнительной линейной интенсивности износа I_{hc} , представляющей собой высоту изношенного слоя, которая приходится на единицу пути трения.

$$I_{hc} = \frac{1}{\left(\frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_B} + 1\right) \cdot HB},$$

где $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести; σ_B – предел прочности; HB – твердость поверхности по Бринеллю.

Наиболее распространенным примером наполненного фторопласта является фторопласт-4 – фтороуглеродный полимер, продукт полимеризации тетрафторэтилена. Высокая прочность связи атомов фтора и углерода и специфичная структура молекул обуславливают хорошее сочетание химических, физических, электрических, антифрикционных и других свойств.

Алгоритм реализации методики выбора антифрикционных материалов представлен на рис. 5.

Реализация данного алгоритма осуществляется путем расчета и сравнения в конечном итоге двух основных критериев для выбора пар трения: потерь мощности на трение и интенсивности износа материалов. Выбранный материал должен обладать минимальными значениями этих сравниваемых параметров.

С целью апробации предложенной методики был проведен выбор антифрикционных материалов для пар трения скольжения АПГМ с наклонным диском рабочим объемом 15 см³, работающей в режиме насоса с максимальным давлением нагнетания 32 МПа, частотой вращения вала 3000 мин⁻¹.

Был проведен расчёт энергетических параметров основных пар трения насоса: блок цилиндров - распределитель, поршни - стенки цилиндров.

В результате было установлено:

- наиболее разгруженной парой трения является пара «блок цилиндров - распределитель», а наиболее нагруженными - пары «поршни - стенки цилиндров»;
- наибольшие потери на трение имеют место в парах «поршни - стенки цилиндров», второе место занимает пара «распределитель - блок цилиндров».

Сравнивая полученные значения энергетических параметров узлов трения скольжения АПГМ с эксплуатационными характеристиками вышеприведенных антифрикционных материалов, можно выделить материал (покрытие), способный ра-

ботать при данных нагрузках и скоростях | скольжения.

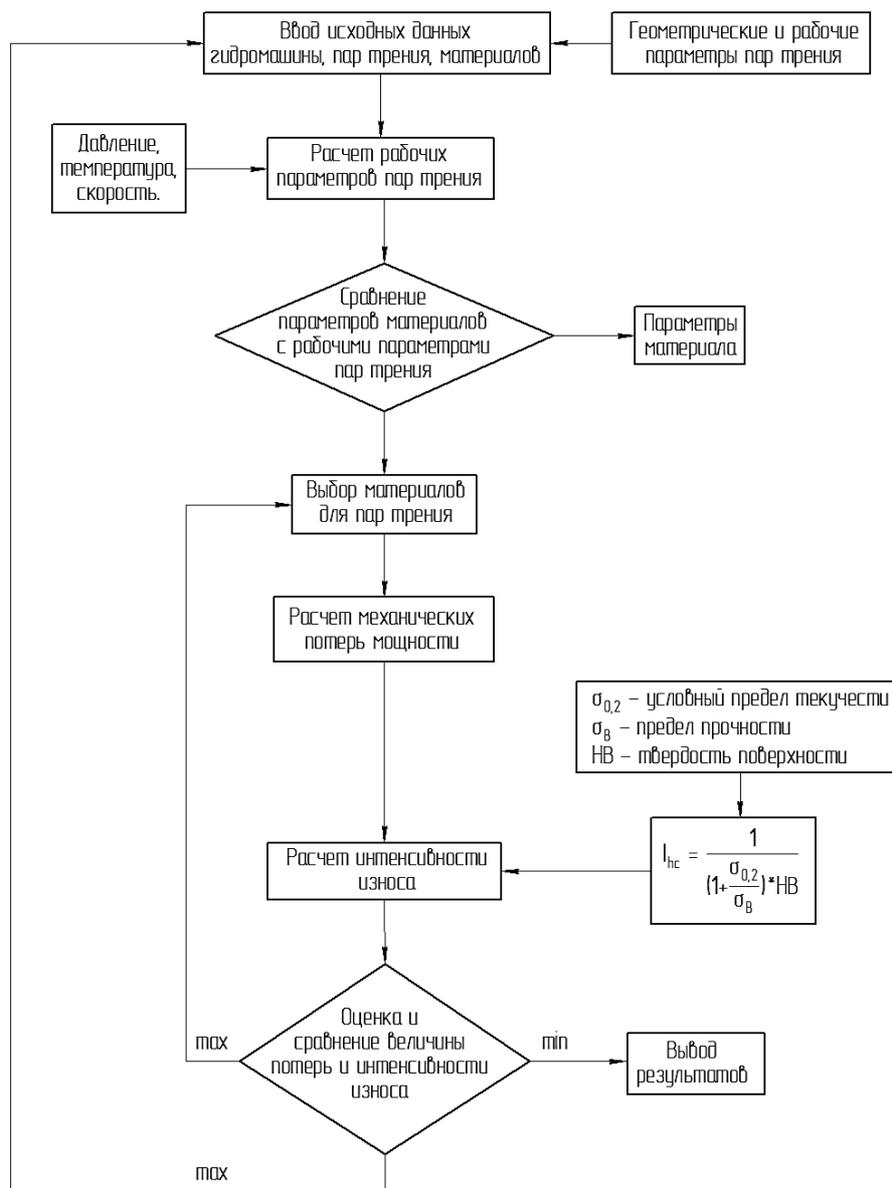


Рис. 5. Алгоритм реализации методики выбора антифрикционных материалов

Наиболее перспективными с точки зрения значений эксплуатационных параметров для применения в узлах трения исследуемой АПГМ можно считать фторопластовые материалы с наполнителем и оксиазотирование.

В качестве проверки были проведены расчётные исследования механических потерь мощности и сравнительной интенсивности износа материалов сопряжённых поверхностей основных узлов трения выбранной АПГМ при использовании в них различных антифрикционных материалов (таблица).

Анализ полученных результатов расчёта потерь мощности показал, что применение фторопластового материала и оксиазотирования для изготовления узлов трения скольжения исследуемой АПГМ является наименее затратным.

Пары «поршни - стенки цилиндров» работают при скоростях относительного движения поверхностей трения меньше 5 м/с, контактных напряжениях меньше 35 МПа и температурах, не превышающих +280 °С [9].

Результаты расчёта потерь мощности и
сравнительной интенсивности износа материалов

Источники механических потерь (пары трения)	Относительные механические потери мощности		
	Оксиазотирование по стали	Латунь по стали	Фторопласт по стали
Поршни - стенки цилиндров	0,0137	0,0258	0,0014
Блок цилиндров - распределитель	0,0107	0,0202	0,0154
Сравнительная интенсивность износа	$1,07 \cdot 10^{-3}$	$7,30 \cdot 10^{-3}$	$7,41 \cdot 10^{-3}$

Примечание. Относительные механические потери мощности - отношение величин механических потерь мощности в парах трения к величине мощности на валу гидромашин.

Это соответствует условиям эффективной работы фторопластовых материалов. Поэтому для данных пар исследуемой АПГМ можно рекомендовать использовать в качестве антифрикционного материала

фторопластовые покрытия. Для остальных пар трения, работающих при более тяжелых условиях нагружения и, главное, высоких скоростях скольжения, рекомендуется оксиазотирование.

Выводы

1. Существующая в настоящее время тенденция повышения удельной мощности АПГМ приводит к увеличению объёмных и механических потерь, нагрузок, снижению эксплуатационных характеристик, что требует соответствующего повышения надёжности гидромашин.

2. Основными источниками потерь в высокодинамичных АПГМ являются подвижные пары трения скольжения: блок цилиндров – распределитель, поршни – стенки цилиндров.

3. Одним из наиболее эффективных способов, повышающих антифрикционные и противоизносные характеристики узлов трения АПГМ и, тем самым, их надёжность, является применение неметаллических антифрикционных материалов для

изготовления трущихся поверхностей деталей данных узлов, в частности фторопластов с наполнителями, и оксиазотирования.

4. Предложенные методика выбора антифрикционных материалов для пар трения скольжения АПГМ и алгоритм её реализации позволят проводить обоснованный выбор материалов для их поверхностей трения.

5. Материалы, изложенные в статье, не являются окончательными в решении задачи выбора антифрикционных материалов для пар трения скольжения АПГМ и требуют проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов, С.А. Торцевые распределители аксиально-поршневых гидромашин: монография/ С.А.Воронов. - Ковров: КГТА, 2011. - 176с.
2. Орлов, Ю.М. Объёмные гидравлические машины. Конструкция, проектирование, расчёт/ Ю.М.Орлов. - М.: Машиностроение, 2006. - 223 с.
3. Башта, Т.М. Объёмные насосы и гидравлические двигатели гидросистем/ Т.М.Башта. - М.: Машиностроение, 1974. - 606 с.
4. Карабасов, Ю.С. Новые материалы/ Ю.С.Карабасов. - М.: МИСИС, 2002. - 736с.
5. Белый, В.А. Трение и износ материалов на основе полимеров/ В.А.Белый, А.И.Свириденюк, М.И.Петроковец, В.Г.Савкин. - Минск: Наука и техника, 1976. - 432 с.
6. Машков, Ю.К. Полимерные композиционные материалы в триботехнике/ Ю.К.Машков, З.Н.Овчар, М.Ю.Байбарицкая, О.А.Мамаев. - М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. - 262 с.
7. Семенов, А.П. Металлофторопластовые подшипники/ А.П.Семенов, Ю.Э.Савинский. - М.: Машиностроение, 1976. - 192 с.
8. Изволенский, Е.В. Фторопластовые покрытия в уплотнительных устройствах/ Е.В.Изволенский, Е.Г.Качанов, Л.В.Дербенёв, Ю.П.Гордеев// Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2006. - №12. - С.23-25.
9. Гаврилова, В. С. О выборе антифрикционных покрытий поверхностей трения аксиально-поршневых гидромашин / В.С.Гаврилова, С.А.Воронов// Гидропневмоавтоматика и гидропривод - 2015: сб. науч. тр. - Ковров: КГТА, 2015. - С.196-201.
1. Voronov, S.A. *End Distributors of Axial-Piston Hydromachines*: monograph/ S.A.Voronov. - Kovrov: KSTA, 2011. – pp. 176.
2. Orlov, Yu.M. *Volumetric Hydraulic Machines. Structure, Design, Computation*/ Yu.M.Orlov. - M.: Mechanical Engineering, 2006. – pp. 223.
3. Bashta, T.M. *Volumetric Pumps and Hydraulic Motors of Hydrosystems*/ T.M. Bashta. - M.: Mechanical Engineering, 1974. – pp. 606.
4. Karbasov, Yu.S. *New Materials*/ Yu.S.Karbasov. - M.: MISAA, 2002. – pp. 736.
5. Bely, V.A. Friction and wear of polymeric-based materials/ V.A.Bely, A.I.Sviridenyuk, M.I.Petrokovets, V.G. Savkin. - Minsk: Science & Engineering, 1976. – pp. 432.
6. Mashkov, Yu.K. *Polymeric Composite Materials in Tribotechnology* / Yu.K. Mashkov, Z.N. Ovchar, M.Yu.Baibaritskaya, O.A.Mamayev. - M.: Interior-Business-Center, 2004. – pp. 262.
7. Semenov, A.P. *Metal-fluoroplastic Bearings*/ A.P.Semenov, Yu.E.Savinsky. - M.: Mechanical Engineering, 1976. – pp. 192.
8. Izvolensky, E.V. Fluoroplastic coatings in Sealing Units/ E.V. Izvolensky, E.G.Kachanov, L.V. Derbenyov, Yu.P.Gordeev// *Chemical and Oil-and-Gas Engineering*. - 2006. - №12. - pp. 23-25.
9. GavriloVA, V.S. On choice of antiwear coatings for friction surfaces of axial-piston hydromachines / V.S. GavriloVA, S.A. Voronov// *Hydro-Pneumatic Automation and Hydraulic Actuator* - 2015: Proceedings. - Kovrov: KSTA, 2015. - pp.196-201.

Статья поступила в редколлегию 12.02.2016.

Рецензент: к.т.н., нач. лаборатории АО «ВНИИ «Сигнал»
Балашова С.А.

Сведения об авторах:

Гаврилова Вероника Сергеевна, аспирант кафедры «Гидропневмоавтоматика и гидропривод» Ковровской государственной технологической академии им. В.А.Дегтярева, e-mail: nika18081991@mail.ru.

GavriloVA Veronika Sergeevna, Post graduate student of the Dep. “Hydro-Pneumatic Automation and Hydraulic Actuator” FSBEI HVE “Degtyaryov State Technological Academy of Kovrov” (FSBEI HVE “Degtyaryov STAK”).
Phone: +7 (980) 751- 09-13, E-mail: nika18081991@mail.ru.

Воронов Сергей Андреевич, д.т.н., профессор кафедры «Гидропневмоавтоматика и гидропривод» Ковровской государственной технологической академии им. В.А.Дегтярева, e-mail: gpagp-ksta@mail.ru.

Voronov Sergey Andreevich, D.Eng., Prof. of the Dep. “Hydro-Pneumatic Automation and Hydraulic Actuator” FSBEI HVE “Degtyaryov State Technological Academy of Kovrov” (FSBEI HVE “Degtyaryov STAK”).
Phone: +7 (49232) 5-36-29, E-mail: gpagp-ksta@mail.ru.

