

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ, РАБОТАЮЩИХ В ТЯЖЁЛЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Бабенков Ю.И., Озерский А.И., Романов В.В., Галка Г.А., Желонкина Е.С.
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

Ключевые слова: гидравлический привод, тяжёлые условия эксплуатации, методы повышения эффективности работы гидравлического привода.

Аннотация. В данной статье приводятся методы повышения эффективности гидравлических приводов, работающих в тяжёлых условиях эксплуатации. Рассматриваются проблемы эксплуатации приводов в указанных условиях. В частности – проблемы создания методов исследования динамических режимов работы ресурсо- и энергосберегающих систем приводов с тепловыми и электрическими источниками энергии в тяжёлых условиях эксплуатации с целью создания гидравлических приводов, обладающих повышенными долговечностью и экономичностью.

METHODS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC DRIVES OPERATING IN SEVERE OPERATING CONDITIONS

Babnikov Yu.I., Ozersky A.I., Romanov V.V., Galka G.A., Zhelonkina E.S.
Don State Technical University, Rostov-on-Don

Keywords: hydraulic drive, severe operating conditions, methods of increasing the efficiency of the hydraulic drive.

Abstract. This article provides methods for increasing the efficiency of hydraulic drives operating in severe operating conditions. The problems of operation of drives in the specified conditions are considered. In particular, the problems of creating methods for studying the dynamic modes of operation of resource- and energy-saving drive systems with thermal and electrical energy sources in severe operating conditions in order to create hydraulic drives with increased durability and efficiency

Силовой гидравлический привод (ГП) в настоящее время является высокоэффективным и перспективным силовым приводом, который применяется совместно с тепловыми и электрическими источниками энергии на современных горно- и нефтедобывающих, строительных, дорожных, сельскохозяйственных мобильных машинах, а также на военной технике практически повсеместно [1]. Большинство из них работает в тяжёлых эксплуатационных условиях [2].

В разработку и создание ГП внесли свой бесценный вклад отечественные учёные: В.Н. Прокофьев, А.И. Вошинин, Т.М. Башта, Б.Б. Некрасов, А.А. Ломакин, С.С. Руднев, Г.Ф. Проскура, Б.А. Гавриленко, В.Ф.

Казмиренко, Д.Я. Алексапольский, О.Н. Трифонов, С.А. Ермаков, И.С. Шумилов, А.П. Кудрявцев, Н.С. Гамынин и многие другие [1]. Несмотря на то, что гидравлический привод является высокоэффективным силовым приводом, в настоящее время существуют проблемы, связанные с обеспечения его долговечности и экономичности, особенно в тяжёлых условиях эксплуатации [3, 4].

Под тяжёлыми условиями эксплуатации здесь понимаются частые и значительные перегрузки, ударные нагрузки, длительная работа на предельных нагрузочных режимах, а также работа в условиях существенной запылённости, загазованности, влажности (коэффициент динамичности нагрузок – свыше 60МПа/с; коэффициент продолжительности работы под нагрузкой 35...100%; суммарная массовая концентрация загрязняющих веществ 0,14...0,18% и выше) и т.п. В таких условиях работают ГП горных, нефтедобывающих, строительно-дорожных и сельскохозяйственных мобильных машин, а также мобильных военных машин в период учений и боевых действий. Защита тепловых и электрических двигателей этих машин от перегрузок с помощью ГП основана на дросселировании рабочей жидкости и частичном опорожнении гидравлических систем (ГС) привода. Это приводит к потерям значительной части передаваемой приводом механической энергии, которая диссипируется, вызывая перегрев ГС привода, или уносится из ГС вместе с рабочей жидкостью. При этом ГС приводов в первую очередь и в наибольшей степени подвергается воздействию перегрузок, а также – влиянию вредных факторов окружающей среды. Это приводит к быстрому износу ГП и выходу их из строя. По данным зарубежной печати, из 100 аварийных ситуаций ГП машин, работающих в тяжёлых условиях эксплуатации, 90 происходит в результате вредного воздействия окружающей среды на ГС приводов.

Для создания долговечных и экономичных ГП необходим анализ их технического состояния, в том числе в тяжёлых условиях эксплуатации. Существующие в настоящее время методы оценки их технического состояния, основанные на расчётах с помощью ЭВМ, не учитывают сложность процессов совместной работы тепловых и электрических двигателей с гидравлическими машинами приводов, а также – их взаимодействие между собой, так как не рассматривают их как единые тепло- или электрогидравлические системы (ТЭГМС). Это сужает области исследований динамических режимов работы ГП, снижает точность и достоверность расчётов, а также – качество и адекватность построенных компьютерных моделей ГП реальным процессам и объектам. Эффективность исследований ГП в настоящее время определяется уровнем использования современных компьютерных технологий, позволяющих с высоким качеством выполнять моделирование исследуемых процессов, а также компьютерные эксперименты и виртуальные испытания. Для этого необходимы более совершенные обобщённые модели ГП, а именно, их технические, физические, математические и компьютерные модели, объединённые с одноимёнными моделями тепловых и электрических источников энергии, а также – с

моделями потребителей энергии [5, 6]. Обобщённые модели ГП должны быть моделями единых ТЭГМС, удобных для использования в системах автоматизированного проектирования (САПР) приводов, а также для исследований, направленных на совершенствование их конструкций. Для этих исследований должны быть созданы современные компьютеризированные экспериментально-диагностические комплексы как технические модели ГП.

В связи с этим весьма актуальным является решение проблемы создания методов исследования динамических режимов работы ресурсо- и энергосберегающих систем приводов с тепловыми и электрическими источниками энергии в тяжёлых условиях эксплуатации с целью создания ГП, обладающих повышенными долговечностью и экономичностью [7-9].

Анализ перспективных направлений совершенствования ГП, работающих в тяжёлых условиях, показал, что для повышения долговечности их гидравлических систем целесообразно применять к ним принцип ампулизации. Такой принцип успешно применяют для авиационной техники, топливных систем ракет с ЖРД, для холодильной, вакуумной техники и др. Принцип обеспечивает максимальную изоляцию рабочих жидкостей и газов ГП от окружающей среды. При этом воздух в воздушных полостях баков объёмного гидравлического привода (ОГП) и рабочих полостях гидродинамического привода (ГДП) заменяется на какой-либо инертный газ, например, на азот или гелий. Ампулизация обеспечивается: предварительным насыщением указанным газом рабочей жидкости привода, осушкой рабочих жидкостей и газов этих систем, их гидравлических и электрических машин и агрегатов, а также применением для них запаянных (сварных) гидравлических магистралей, ёмкостей и контейнеров. Это существенно увеличит сроки эксплуатации систем, их рабочих жидкостей и прокладочных материалов. Однако для оценки целесообразности применения ампулизированных гидравлических систем (АГС) приводов необходимы исследования их технического состояния и анализ их работоспособности в тяжёлых условиях эксплуатации.

Исследование перспективных направлений повышения экономичности ГП, работающих в тяжёлых условиях, показало, что применение для них принципа дросселирования и принципов, основанных на опорожнении ГС приводов при регулировании и при перегрузках, приводит к значительным потерям энергии жидкости и неэкономичной работе привода в целом. Так, дроссельное регулирование ОГП и применение дроссельного кольца (порога) для ГДП (гидромуфт) приводит к диссипации значительной части механической энергии рабочей жидкости, которая переходит в тепло, вызывая перегрев ГС привода. Применение же при регулировании и перегрузках ГП принципов опорожнения рабочих объёмов и каналов систем (опорожнение гидромуфт, опорожнение каналов гидравлических магистралей ОГП и т.п.) по существу является регулированием потерь передаваемой приводом энергии и приводит к значительным безвозвратным потерям части передаваемой энергии, которая уносится вместе с рабочей жидкостью.

Исследования показывают, что в некоторых важных для практики случаях проблемы энергосбережения ГП можно решить путём замены дроссельных элементов ГС обратимыми гидравлическими машинами (ОБРГМ). Последние могут выполнять те же функции, что и дроссельные элементы, обеспечивая при этом решение задач сбережения энергии привода при регулировании и перегрузках. С помощью этих машин описанные выше и широко используемые в настоящее время принципы защиты и регулирования ГП, связанные с безвозвратными потерями энергии, можно заменить энергосберегающим принципом использования дополнительных ОБРГМ [10, 11]. Однако для оценки эффективности применения этого принципа для ГП, работающих в тяжёлых условиях, необходимы исследования процессов, сопровождающих их работу и определяющих их техническое состояние и экономичность как единых ТЭГМС.

Современный уровень знаний об особенностях динамических режимов работы исследуемых здесь ТЭГМС, показывает, что процессы, сопровождающие их работу в тяжёлых эксплуатационных условиях на мобильных средствах, существенно сложнее процессов, характерных для стационарных условий их эксплуатации. Так, сложность процессов, сопровождающих динамические режимы совместной работы ГП с тепловыми и электрическими двигателями, определяется особенностями эксплуатационных свойств последних как источников внешней энергии силового привода. Это, в основном, большие пусковые электрические токи и ударные пусковые вращающие моменты электрических двигателей (ЭД) [9, 5], а также значительные крутильные колебания валов поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Наряду с этим динамические режимы работы ГС приводов при перегрузках и регулировании сопровождаются сложными высокоскоростными гидродинамическими процессами заполнения и опорожнения рабочих полостей лопастных насосов и турбин, полостей гидромуфт, гидроцилиндров объёмных гидромашин, а также каналов гидравлических магистралей. Такие процессы характерны для работы гидросистем при перегрузках, при их заправке и запуске, при открытии клапанов, при функционировании рабочих органов систем управления и регулировании привода и т.п. [12]. Для этих процессов характерны разрывы сплошности потока, они сопровождаются явлениями неполного гидроудара, отрывом потока от стенок основных и ответвлённых каналов и их неполным заполнением. Эти явления существенно влияют на техническое состояние ГС, однако они мало изучены. Это объясняется их физической сложностью, трудностями их расчёта и моделирования, а также ограниченными возможностями наблюдения особенностей этих явлений и измерения их физических параметров.

В общем случае исследования процессов движения жидких сред с подвижными границами раздела сред типа: “жидкость – газ” или “жидкость – твёрдое тело” (“жидкость – поршень”) относятся к задачам гидромеханики с контактными разрывами сред. Однако область постановки и решения

указанных задач гидромеханики для гидросистем приводов ограничивается традиционно используемым в гидравлике принципом Эйлера. Исследования показывают, что здесь наряду с принципом Эйлера необходимо применять также и принцип Лагранжа, который в физическом и математическом моделировании является более общим, так как позволяет ставить и решать задачи гидромеханики с подвижными границами сред. Его использование даст возможность развить фундаментальные положения механики сплошных сред применительно к динамическим задачам ГС приводов с подвижными границами жидких рабочих тел. Это существенно расширит области исследования и решения задач гидромеханики ГП, повысит точность и достоверность расчётов, а также – адекватность моделирования реальным процессам, сопровождающим работу ГП.

Список литературы

1. Прокофьев В.Н. Машиностроительный гидропривод. М.: Машиностроение, 1979. 672 с.
2. Озерский А.И. Исследование в среде MathCAD энергосберегающих систем гидравлических приводов, работающих в тяжёлых условиях эксплуатации // Тр. Междунар. науч.-техн. конференции SOMOD-2015. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2015. С. 70-73.
3. Озерский А.И. Проблемы и методы совершенствования систем гидравлических приводов, работающих в тяжёлых условиях эксплуатации // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2015. № 2. С. 69-76.
4. Озерский А.И., Галка Г.А. Проблемы и принципы энерго- и ресурсосбережения гидравлических приводов, работающих в тяжёлых условиях эксплуатации // Сб. научных трудов 9-й Междунар. науч.-техн. конференции «Гидравлические машины, гидропневмоприводы и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития – 2016». СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2016. С. 322-324
5. Озерский А.И. Моделирование динамических режимов работы гидроприводных систем с тепловыми и электрическими источниками энергии // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2013. № 5. С. 37-43.
6. Озерский А.И. Компьютерное моделирование гидроприводных систем с тепловыми и электрическими источниками энергии // Тр. Междунар. науч.-техн. конференции SOMOD-2013. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. С. 70-74.
7. Арзуманов Ю.Л., Халатов Е.М., Чекмазов В.И. Основы проектирования систем пневмо- и гидроавтоматики: монография. М.: Издательский дом «Спектр», 2017. 458 с.
8. Галямов Ш.Р., Широкова К.А., Целищев В.А. и др. Исследование гидравлического рулевого привода летательного аппарата // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2008. Т. 11. №2. С. 66-73.
9. Казовский Е.Я. Переходные процессы в электрических машинах переменного тока // Изв. АН СССР. 1962. 626 с.
10. Сидоренко В.С. Грищенко В.И., Ракуленко С.В., Полешкин М.С. Адаптивный гидропривод с объёмным регулированием подачи инструмента технологической машины // Вестник ДГТУ. 2017. Т. 17, №2. С. 88-98.
11. Халатов Е.М., Мусатов Р. Л. Особенности построения системы приводов спускоподъемного устройства водолазного колокола // Инженерный журнал. 2015. №4(217). С. 50-56.
12. Озерский А.И., Бабенков Ю.И., Галка Г.А. Метод исследования объёмных электрогидроприводных систем в среде MathCAD // Тр. Национальной науч.-техн. конференции SOMOD-2017. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2017. С. 70-74.

References

1. Prokofiev V.N. Mechanical engineering hydraulic drive. M.: Mechanical engineering, 1979. 672 p.
2. Ozerskiy A.I. Investigation in the MathCAD environment of energy-saving systems of hydraulic drives operating in severe operating conditions // Pr. Int. scientific and technical conference COMOD-2015. SPb.: Publishing house of the Polytechnic University, 2015. P. 70-73.
3. Ozerskiy A.I. Problems and methods of improving hydraulic drive systems operating in severe operating conditions // News of universities. North Caucasus region. Tech. Science. 2015. №2. P. 69-76.
4. Ozerskiy A.I., Galka G.A. Problems and principles of energy and resource saving of hydraulic drives operating in severe operating conditions // Coll. scientific works of the 9th International. scientific and technical conference "Hydraulic machines, hydropneumatic drives and hydropneumautomatics. Current state and development prospects - 2016 ". SPb.: Publishing house of the Polytechnic University. 2016. P. 322-324.
5. Ozerskiy A.I. Modeling of dynamic modes of operation of hydraulic drive systems with thermal and electrical energy sources // News of universities. North Caucasus. region. Tech. Science. 2013. №5. P. 37-43.
6. Ozerskiy A.I. Computer modeling of hydraulic drive systems with thermal and electrical energy sources // Pr. Int. scientific and technical conference COMOD-2013. SPb.: Publishing house of the Polytechnic University. 2013. P. 70-74.
7. Arzumanov Yu.L., Khalatov E.M., Chekmazov V.I. Fundamentals of design of pneumatic and hydroautomatics systems: monograph. M.: Publishing house "Spectrum", 2017. 458 p.
8. Galyamov Sh.R., Shirokova K.A., Tselishchev V.A. and others Research of the hydraulic steering drive of the aircraft // Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University, 2008. Vol.11. №2. P. 66-73.
9. Kazovskiy E.Ya. Transient processes in AC electric machines // News of AS USSR, 1962. 626p.
10. Sidorenko V.S. Grishchenko V.I., Rakulenko S.V., Poleshkin M.S. Adaptive hydraulic drive with volumetric control of the tool feed of the technological machine // Bulletin of DSTU. 2017. Vol. 17, №2. P. 88-98.
11. Khalatov EM, Musatov RL Features of the construction of a system of drives for the triggering device of a diving bell // Engineering journal. 2015. №4(217). P. 50-56.
12. Ozerskiy A.I., Babenkov Yu.I., Galka G.A. Method of research of volumetric electrohydraulic drive systems in the MathCAD environment // Pr. National scientific and technical conference COMOD-2017. SPb. : Publishing house of the Polytechnic University, 2017. P. 70-74.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Бабенков Юрий Иванович – кандидат технических наук, доцент, babenkov.yoru@mail.ru	Babenkov Yuri Ivanovich – candidate of technical sciences, associate professor, babenkov.yoru@mail.ru
Озерский Анатолий Иванович – кандидат технических наук, доцент, ozersckij.ai@yandex.ru	Ozerskiy Anatoly Ivanovich – candidate of technical sciences, associate professor, ozersckij.ai@yandex.ru
Романов Виктор Викторович – кандидат технических наук, доцент, romanov.victor33@mail.ru	Romanov Victor Viktorovich – candidate of technical sciences, associate professor, romanov.victor33@mail.ru
Галка Галина Александровна – старший преподаватель, jukova-84@mail.ru	Galka Galina Alexandrovna – senior lecturer, jukova-84@mail.ru
Желонкина Елена Сергеевна – ассистент, elena-simonenko@inbox.ru	Zhelonkina Elena Sergeevna – assistant, elena-simonenko@inbox.ru
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия	Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Получена 30.09.2021