**Устьянцев, Михаил Валерьевич. Повышение эффективности привода стенда испытаний гидромашин вращательного действия : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.02 / Устьянцев Михаил Валерьевич; [Место защиты: Дон. гос. техн. ун-т].- Ростов-на-Дону, 2012.- 183 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/2681**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет»**

**(ДГТУ)**

На правах рукописи

\*5 *Г, А* О / *у I с л;*

Устьянцев Михаил Валерьевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВОДА СТЕНДА ИСПЫТАНИЙ ГИДРОМАШИН ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ**

Специальность:

05.02.02 - «Машиноведение, системы приводов и детали машин».

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент Рыбак Александр Тимофеевич

Ростов-на-Дону - 2012

**СОДЕРЖАНИЕ**

**Введение 5**

**Глава 1. Развитие систем приводов стендов ресурсных испытаний**

**объёмных гидравлических машин 9**

1. Анализ развития систем приводов испытаний объёмных гидромашин 11
2. Диссипативные системы стендов испытаний объёмных гидромашин 12
3. Стенд для испытания гидронасоса с использованием в качестве нагрузки

дросселирования гидравлического потока напорной магистрали 13

1. Стенд для испытания высокомоментного гидромотора с использованием в

качестве нагрузки аналогичной гидромашины 16

1. Стенд для проведения форсированных испытаний гидромотора с

использованием дросселирования гидравлического потока сливной магистрали 18

1. Стенд для проведения форсированных испытаний поршневых

гидромоторов с использованием нагрузки напорной магистрали дополнительным источником расхода 20

1. Стенд для испытаний гидравлических моторов с использованием в

качестве нагрузки маховой массы 23

1. Стенд для испытаний гидравлических машин с использованием нагрузки

в виде механических или жидкостных тормозных устройств 25

1. Рекуперативные системы приводов стендов испытаний гидравлических

машин 27

1. Стенд для испытаний нерегулируемых гидромашин с одинаковыми

рабочими объёмами, электромеханическим приводом и нагрузкой напорной магистрали дополнительным источником расхода 28

1. Стенд для испытаний нерегулируемых гидромашин с одинаковыми

рабочими объёмами, гидромеханическим приводом и нагрузкой напорной магистрали дополнительным источником расхода 32

магистрали за счет разницы рабочих объёмов испытываемых гидромашин 34

1. Стенд для испытаний нерегулируемых гидромашин с различными

рабочими объёмами и нагрузкой напорной магистрали за счёт дросселирования её потока рабочей жидкости 36

1. Стенд для испытаний нерегулируемых гидромашин с различными

рабочими объёмами и нагрузкой напорной магистрали за счёт передаточного отношения механического редуктора 38

1. Стенд для испытания реверсивной обратимой гидромашины с нагрузкой

напорной магистрали за счёт частичного дросселирования потока рабочей жидкости 41

1. Стенд для испытаний регулируемых гидромашин с рекуперацией энергии

путем использования электрических машин 43

1. Рекуперация тепловой энергии дросселируемого потока рабочей

жидкости 45

1. Выводы по главе 47
2. Постановка проблемы, цель и задачи исследования 48

**Глава 2. Моделирование рекуперативной гидромеханической системы**

**привода стенда испытаний объемных гидравлических машин с различными объёмами вращательного действия 50**

1. Моделирование электромеханической системы стенда испытаний

гидромашин 52

1. Моделирование гидромеханической системы привода стенда испытаний

гидромашин 59

1. Модель упруго-диссипативного состояния элементов участков

гидропривода 60

1. Моделирование рекуперативной гидромеханической системы привода

стенда испытаний объёмных гидромашин вращательного действия....67

1. Моделирование системы пневмогидроаккумулятора, позволяющего

снижать скорость роста давления напорной магистрали стенда при выходе его на заданный уровень давления рабочей жидкости 80

1. Выводы по разделу 84

**Глава 3. Теоретические исследования систем испытательных стендов**

**гидромашин 86**

* 1. Диссипативные системы приводов стендов испытаний гидравлических

машин 86

* 1. Рекуперативные системы приводов стендов испытаний гидромашин с

постоянными рабочими объемами вращательного действия 98

* 1. Рекуперативные системы приводов стендов испытаний гидромашин с

переменными рабочими объемами вращательного действия 111

* 1. Методика проектного расчета рекуперативной системы стенда для испытаний объёмных гидравлических машин вращательного действия. 117.
  2. Рекомендации к методике проведения испытаний объемных

гидравлических машин с различными рабочими объемами 120

**Глава *4****.* **Экспериментальное исследование рекуперативной**

**гидромеханической системы привода стенда испытаний объёмных**

**гидравлических машин 123**

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ 127

**Список использованных источников 129**

**Приложения 139**

**Введение**

Актуальность темы. Системы приводов машин и агрегатов на основе объёмных гидравлических машин широко используются в различных отраслях промышленности [11,13,62]. Одним из важнейших способов подтверждения надежности гидромашины являются её ресурсные испытания, при которых испытываемый объект подвергается нагрузкам, энергетические показатели которых равны либо превышают, нагрузку гидромашины в номинальном режиме её работы. Существуют различные способы создания нагрузки гидромашин, основанные на использование диссипативных сил, дополнительных источников расхода рабочей жидкости, сил инерции и пр., что делает процесс проведения испытаний весьма ресурсоёмким. При проведении стендовых испытаний полезная работа не выполняется, следовательно, мощность потребляемую приводом стенда следует по возможности снизить. Рядом авторов предлагались рекуперативные системы приводов стендов, позволяющие как создавать нагрузку, так и возвращать часть энергии обратно в систему испытаний, которые к настоящему времени изучены недостаточно.

Таким образом, вопросы, связанные с исследованием, проектированием и расчётом рекуперативных систем приводов испытательных стендов объемных гидравлических машин являются актуальными и своевременными.

Научная проблема, решаемая в настоящей работе, заключается в снижении ресурсоемкости проведения испытаний гидравлических машин объёмного гидропривода, путем разработки теоретических основ проектировочного расчёта с учётом упруго-диссипативных свойств элементов системы испытаний.

Исходя из актуальности, практической значимости и теоретической неразработанности данной проблемы, в работе поставлена следующая цель: повышение эффективности рекуперативной системы привода стенда испытаний объемных гидравлических машин за счёт усовершенствования теории и методики её расчёта и проектирования.

Задачи исследований. Для достижения поставленной в работе цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать существующие типы приводов стендов проведения ресурсных испытаний объёмных гидромашин.
2. На основе анализа существующих типов систем приводов испытательных стендов, разработать рекуперативную систему привода испытаний объемных гидравлических машин, рабочие объемы которых в процессе испытания могут быть различными.
3. Создать конструкцию стенда испытаний объемных гидромашин, рабочие объемы которых в процессе испытания могут быть различными.
4. Получить математическую модель рекуперативной системы привода испытаний гидравлических машин, рабочие объемы которых в процессе испытания могут быть различными.
5. Экспериментально исследовать влияние свойств элементов рекуперативной системы привода на качества переходных процессов и энергетические показатели проведения испытаний.
6. Экспериментально исследовать влияние технологических и конструктивных параметров аксиально-поршневых гидромашин на эксплуатационные свойства предлагаемой системы.
7. Используя результаты теоретических и натурных исследований разработать методику расчётов при проектировании и дать рекомендации по использованию рекуперативной системы привода испытаний объемных гидравлических машин.

Общая методика исследования.

Выполненные в работе исследования основываются на использовании положений и методов теоретической и аналитической механики, электротехники, гидродинамики, теории упругости, численных методов решения дифференциальных уравнений, а также методов экспериментальной механики и имитационного моделирования.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель рекуперативной электро- гидромеханической системы стенда для испытаний объемных гидравлических машин с различными рабочими объёмами на основе учёта упруго­диссипативного состояния её элементов, что позволило осуществить теоретические исследования системы и выявить влияние основных конструктивных и функциональных параметров системы на процесс её функционирования (п.п. 1,2).
2. Определено влияние конструктивных и функциональных параметров элементов электро- гидромеханической системы привода на показатели энергетической эффективности её работы, что позволило произвести проектирование моделируемой системы с теоретически обоснованными параметрами (п. 2).
3. Разработана методика проектного расчёта рекуперативной системы стенда для испытаний объемных гидравлических машин вращательного действия (п. 2).

Практическая ценность и реализация результатов работы.

1. Предложенная система привода стенда испытаний объемных гидравлических машин вращательного действия с различными рабочими объёмами позволяет уменьшить производственные и эксплуатационные затраты проведения испытаний.
2. Разработана методика моделирования параметров рекуперативной системы стенда испытаний гидравлических машин вращательного действия с различными рабочими объёмами, позволяющая повысить его эффективность.
3. Разработаны рекомендации к методике проведения испытаний объемных гидравлических машин с различными рабочими объёмами, позволяющие выявлять влияние различных функциональных параметров испытываемого объекта на динамику работы предлагаемой системы.
4. Результаты работы приняты к применению на заводе ООО «СП«Донпрессмаш», г. Азов, а также реализованы в виде испытательного стенда, который используются на предприятие ООО «НПП Степь», г. Ростов- на-Дону. Суммарный ожидаемый экономический эффект составляет 540 тысяч рублей в год.

Апробация работы.

Основные положения исследований докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях: «Инновационные технологии в

машиностроении», Ростов-на-Дону, 2009; «Перспектива 2010», Нальчик; «Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии на предприятиях машиностроения, авиастроения, транспорта и сельского хозяйства» Ростов-на- Дону, 2010; «Инновационные технологии в машиностроении и металлургии», Ростов-на-Дону, 2011; «Транспорт-2011», Ростов-на-Дону; ежегодных конференциях ДГТУ в 2009...2012 годах.

Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе три в издании, рекомендованном ВАК РФ.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырёх разделов, общих выводов и рекомендаций, списка использованной литературы из 108 наименований, имеет 53 рисунков, 3 таблиц, основной текст диссертации изложен на 128 страницах машинописного текста, приложений на 42 страницах.

**Глава 1. Развитие систем приводов стендов ресурсных испытаний объёмных гидравлических машин.**

Объемный гидравлический привод нашел широкое применение в различных отраслях народного хозяйства благодаря своим преимуществам с позиций соотношения материалоемкости и передаваемой мощности, возможности универсального преобразования различных видов движений и бесступенчатым регулированием скорости движения выходного звена в соответствии с требуемыми нагрузками, простоте управления, автоматизации и компоновки в различных видах техники. Однако он обладает и рядом недостатков, связанных с высокими требованиями точности изготовления его исполнительных элементов, а также со стабильностью физических параметров рабочих жидкостей, используемых в его системах. Развитие гидропривода на сегодняшний день идет по пути интенсификации его работы по передаваемой мощности, быстродействию, точности и автоматизации его управления, за счет развития научных и производственных направлений в области исследования конструкционных материалов, рабочих жидкостей, конструкторско- технологического обеспечения производства его элементов, а также информационных технологий. На сегодняшний день гидропривод является сложной системой, в которой тесно взаимосвязаны электрические, механические и гидравлические его составляющие. Основным критериями выбора гидропривода являются совокупность его энергетических, весовых, точностных, динамических и стоимостных характеристик, показатели надёжности системы и возможности автоматизации его управления.

В процессе серийного и массового производства на показатели надёжности элементов гидравлического привода существенное влияние оказывает стабильность технологических процессов, оснащённость производства современным оборудованием, специальными приспособлениями и стендами [9,10,34,45,66]. Важнейшее значение имеет качество применяемых материалов и комплектующих, тщательный контроль изготавливаемых деталей

на предмет соответствия требованиям рабочих чертежей и технических условий, наличие испытательных стендов для проверки отдельных узлов и изделия в целом, оснащённых необходимыми приборами контроля выходных параметров. Основными элементами объемной гидропередачи вращательного движения являются две гидравлические машины: гидронасос - машина, преобразующая механическую энергию вращения его входного вала в энергию потока рабочей жидкости и гидромотор, преобразующий энергию потока рабочей жидкости в механическую энергию вращения выходного вала.

Для определения различных параметров, характеризующих параметры работы гидромашины, разрабатываются стенды, которые оборудуются контрольно-измерительными приборами для визуального наблюдения контролируемой величины, а также автоматизированного их контроля и обработки [73].

Стендовые исследования объемных гидромашин включают определение надежности работы как отдельных узлов гидромашин, так и гидропередачи в целом, снятие внешних характеристик отдельных гидромашин и гидропередачи, исследование пусковых свойств, испытание на долговечность, определение глубины регулирования, минимальной и максимальной устойчивой скорости при различных нагрузках, маневренности, испытание надёжности, осуществляемое на различных режимах [9]. Некоторые гидропередачи изготавливаются в нераздельном исполнении (гидронасос и гидромотор размещены в одном корпусе), в этом случае испытание отдельных агрегатов, входящих в состав гидропередачи, невозможно, а потому испытаниям подвергается гидропередача в целом. Выбор контрольно­измерительных приборов и датчиков, места их установки, типа и точности зависит от задачи испытаний и определяется программой и методикой испытаний. Располагая статистическими данными, полученными в процессе стендовых и эксплуатационных испытаний с учётом условий работы гидропривода можно построить оптимальный процесс корректировки

ю

конструкции, технического обслуживания и ремонта при его эксплуатации [Ю].

Основные выводы по работе сформулируем в следующем виде:

* С позиции совершенствования теории и методов проектирования систем испытаний объемных гидромашин большой интерес представляют рекуперативные гидромеханические системы, позволяющие значительно упростить конструкцию стендов испытаний объемных гидромашин и повысить эффективность их работы.
* Предложенная рекуперативная система привода стенда позволяет обеспечить создание заданных нагрузок на испытываемых гидромашинах в режиме работы, максимально приближенному к реальности, а также уменьшить затраты на проведение испытаний.
* Разработанная математическая модель асинхронного электродвигателя позволила получить его динамические характеристики и оценить их влияние на работу предлагаемой рекуперативной системы, а также оценить эффективность работы рекуперативной системы в целом.
* Использование, при моделировании привода испытательного стенда, теоретических положений об объёмной жёсткости гидравлических приводов и их элементов с учётом нелинейности упруго-диссипативных свойств энергоносителя (рабочей жидкости) позволило оценить количественное и качественное влияние различных конструктивных и функциональных параметров элементов гидромеханической системы на основные функциональные и динамические показатели (в том числе и эффективность) её работы.
* Разработанная математическая модель рекуперативной системы привода испытаний гидростатической трансмиссии позволила выявить основные конструктивные и функциональные параметры, оказывающие первостепенное влияние на её эффективность и эксплуатационные показатели, что создаёт возможность совершенствовать конструктивные элементы системы путем анализа их функционирования.
* Установлено, что на основные функциональные и конструктивные параметры рекуперативной системы привода первостепенное влияние оказывают упруго-диссипативные свойства элементов источников и потребителей расхода гидравлической системы. С уменьшением приведенной жесткости напорной магистрали уменьшается скорость роста давления при выходе системы на заданный уровень давления в режиме рекуперации. Рост гидравлического сопротивления каналов гидромеханической рекуперативной системы, повышает потери энергии, что снижает эффективность работы системы. Стабильность рекуперативного режима и его эффективность в совокупности ограничивается устойчивостью работы предохранительной системы при минимальных значениях расходов рабочей жидкости через нее, величинами утечек рабочей жидкости из напорной магистрали в дренажную либо сливную систему, а также величиной передаточного отношения механической передачи связывающей валы испытываемых объёмных гидравлических машин.
* Предложенная конструкция рекуперативной системы стенда ресурсных испытаний объёмных гидромашин, не только позволяет повысить эффективность проведения ресурсных испытаний насосов и моторов, но и дает возможность использовать преимущества рекуперативной системы для создания иных стендов испытаний элементов объемного гидропривода.