

УДК 62-82

Фреинт С.А. , ст. гр. УЭМ41, каф. «Гидравлика, ГПА и ТП», ФГБОУ ВП ДГТУ;

Рыбак А.Т., д.т.н., профессор, каф. «Гидравлика, ГПА и ТП», ФГБОУ ВП ДГТУ

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПЫТАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН БОЛЬШОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. Главная задача современности, как в экономическом, экологическом так и научном плане основана на сохранении энергии. В данной статье рассматривается вопрос в гидравлической области, связанный со стендом для испытания гидромашин с рекуперацией энергии. Перед пуском гидродвигателей в основную работу необходимо провести ресурсные испытания. Данные испытания показывают, главным образом, надёжность машины, возможность модернизации и улучшение её основных характеристик.

Abstract. The main task of modernity, both in economic, environmental and scientific terms, based on conservation of energy. In this article considered the issue in the hydraulic field connected with the stand for hydraulic machines test with energy recovery. Preliminary tests are an integral part before starting the hydraulic motors in the main work. These tests show mainly the reliability of the machine, the possibility of upgrading and improving its main characteristics.

Ключевые слова: энергия, испытание, гидромашинa, рекуперация, гидродвигатель, надёжность.

Key words: energy, testing, hydraulic machine, heat recovery, hydraulic motor, reliability.

Введение

Системы приводов машин и агрегатов на основе объёмных гидравлических машин широко используются в различных отраслях промышленности. Стендовые испытания являются немаловажным этапом

при создании объёмных гидроустройств, поскольку вовремя должны быть выявлены и устранены недостатки конструкций и технологические ошибки, определены характеристики, энергетические показатели, долговечность, надёжность, пусковые и манёвренные устройства, шумовая характеристика и другие показатели работы гидросистемы. Стендовые испытания в зависимости от цели испытания бывают трех видов – контрольные, исследовательские и на надёжность. Ресурсные испытания предназначены для проверки работоспособности сборочной единицы, узла, механизма в условиях окружающей среды и проверки соответствия выходных параметров заданным требованиям. При проведении стендовых испытаний в случае появления отказа конструктивного характера испытания необходимо остановить, произвести доработку, а затем продолжить испытания по намеченной программе. [1] При проведении стендовых испытаний полезная работа не выполняется, следовательно, мощность потребляемую приводом стенда следует по возможности снизить. Так что исследование данной темы является актуальной, перспективной и своевременной. Рядом учёных ранее уже были изучены рекуперативные системы и достигнуты высокие результаты, но это не повод останавливать изучение данной проблемы.

1. Постановка задачи

Задача данного исследования, заключается в разработке стенда для испытаний объёмных машин большой и средней мощности и в разработке технологии позволяющей сохранять энергию.

Проанализировать существующие типы приводов стендов проведения ресурсных испытаний объёмных гидромашин.

Получить математическую модель системы привода испытаний гидравлических машин, рабочие объёмы которых в процессе испытания могут быть различными.

2. Обзор

Рекуперация (от лат. *Recuperation* – обратное получение) – возвращение части материалов или энергии для повторного использования в том же технологическом процессе.

Историю систем, с помощью которых можно повторно использовать «лишнюю» кинетическую энергию мы можем пронаблюдать с того момента, как были изобретены первые электромобили. Произошло это даже раньше, чем был изобретен первый автомобиль на ДВС. Первый электромобиль в виде тележки с электромотором был создан в 1841 году. Первый двухместный электромобиль русского инженера-изобретателя Ипполита Романова образца 1899 года изменял скорость движения в девяти градациях — от 1,6 км в час до максимальной в 37,4 км в час. [2]

Существует три вида системы рекуперации кинетической энергии: электрическая, механическая и гидравлическая. Система рекуперации кинетической энергии, часто используется в автомобилях, но помимо этого так же используется в железнодорожном и электрическом транспорте. При торможении электровозов, трамваев, троллейбусов и другой техники, электрогенераторы преобразуют энергию для дальнейшего использования.[3]

При испытаниях объемных гидромашин большой мощности возникает ряд проблем, связанных с тем, что применение в качестве нагрузки общепринятых средств – фрикционных тормозных устройств, дросселирования рабочей жидкости и т.п. приводит к выделению большого количества тепла и значительному расходу энергии. И здесь совокупно работают гидравлическая система и механическая передача.

Башта Т.М. предоставил и описал испытательную установку с регенерацией энергии [4]. В которой соединенным между собой гидромотор и гидронасос, построенные на принципе взаимного нагружения гидромашин (насоса и гидромотора) по замкнутому контуру. Очевидно, применение этого

способа взаимного нагружения возможно для испытаний лишь обратимых гидромашин. При нагружении по замкнутому контуру отпадает необходимость в тормозных устройствах, а также значительно сокращается потребление электроэнергии, которая в этом случае расходуется лишь на компенсацию потерь ее в испытательной установке.

Принципиальная схема испытательной установки с регенерацией мощности показана на рис. 1. Установка применяется в тех случаях, когда не требуется регулировать частоту вращения испытуемой машины. Валы обеих гидромашин Н и М соединены с валом приводного электродвигателя 4.

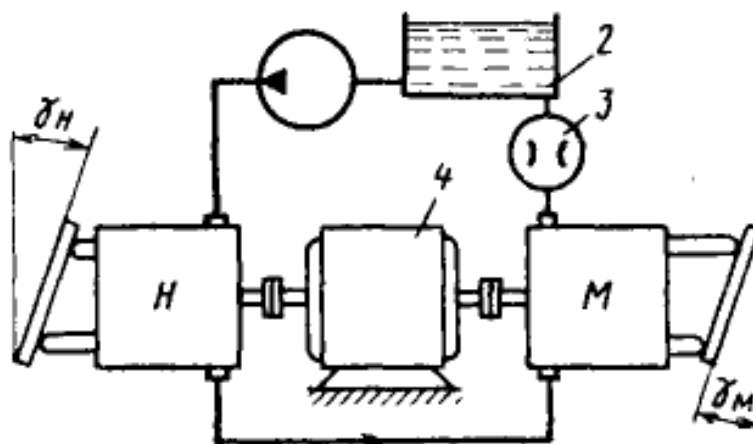


Рис.1. Стенд для испытания объёмных гидромашин с регенерацией энергии. 2 - бак; 3 – расходомер; 4 – электродвигатель; Н – гидронасос; М – гидромотор.

Соединение гидромашин произведено так, что одна из них работает в насосном (Н), а вторая — в гидромоторном (М) режиме; мощность, развиваемая последней машиной (М), суммируется на валу первой машины (Н) с мощностью приводного электродвигателя 4. Для этого жидкость от машины (насоса) Н направляется в машину (гидромотор) М, которая будучи механически связана через вал электродвигателя с машиной Н, приводит ее во вращение, возвращая тем самым энергию рабочей жидкости (за вычетом

потерь) на вал машины Н. В соответствии с этим приводной электродвигатель 4 в этом случае развивает мощность, затрачиваемую лишь на компенсацию потерь в системе испытательной установки; основная же мощность, развиваемая гидромашинами, циркулирует от насоса в виде энергии потока рабочей жидкости к гидромотору и от него возвращается в виде механической мощности вновь к насосу.

Для обеспечения работы подобной системы рабочий объем машины (насоса) Н должен быть несколько больше (на 5—8%) объема машины (гидромотора) М на величину, необходимую для компенсации (с некоторым запасом) утечек жидкости в системе. Для измерения расхода жидкости применен расходомер 3. В случае необходимости в баке 2 устанавливается охладитель жидкости. Расчеты установки сводятся в основном к определению объемных и механических характеристик испытываемых машин.

На кафедре «Гидравлика, гидропневмоавтоматика и тепловые процессы» ДГТУ на протяжении ряда лет ведутся исследования основной задачей, которых является повышение эффективности привода стенда испытаний гидромашин вращательного действия. Работа [5] направлена на разработку математической модели рекуперативной электрогидромеханической системы стенда для испытаний объемных гидравлических машин с различными рабочими объемами на основе учёта упруго-диссипативного состояния её элементов, что позволило осуществить теоретические исследования системы и выявить влияние основных конструктивных и функциональных параметров системы на процесс её функционирования. Предложенная система привода стенда испытаний объемных гидравлических машин вращательного действия с различными рабочими объемами позволила уменьшить производственные и эксплуатационные затраты проведения испытаний.

В качестве объекта исследования рассматривается привод станда испытаний гидромашин вращательного действия. На рисунке 2 приведена принципиальная схема исследуемой системы, работа которой заключается в следующем.

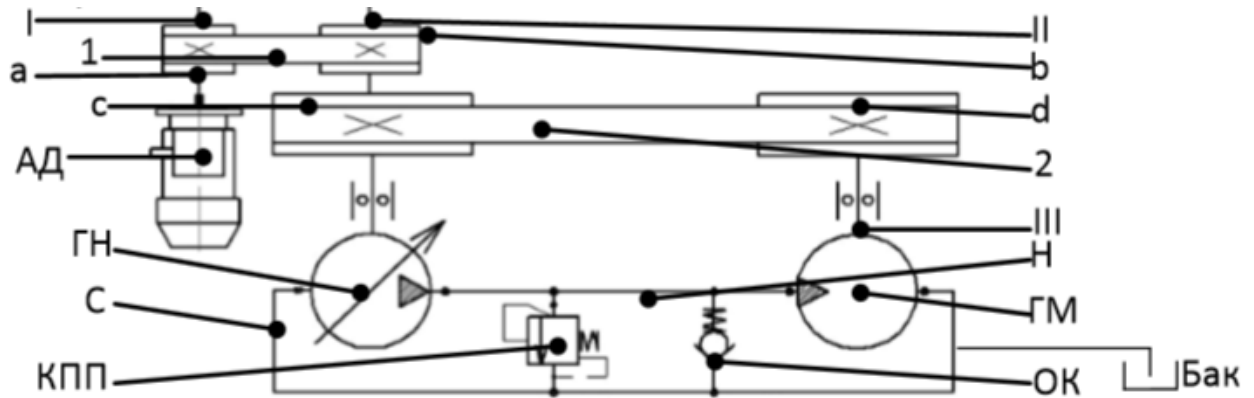


Рис.2 Схема рекуперативного привода станда испытаний гидромашин вращательного действия. I, II, III - вал; 1,2 - механическая передача; АД - асинхронный двигатель; ГН – гидравлический насос; Н – напорная магистраль; С – сливная магистраль; КПП – предохранительный клапан непрямого действия; ОК – обратный клапан.

Энергия, взятая из трехфазной электрической сети, преобразуется асинхронным двигателем (АД) в энергию вращения вала I, которая, через механическую передачу 1 передается на II вал, механически связанного с валом испытуемого гидронасоса, где суммируется с энергией вращения вала III испытуемого гидромотора, приведенной к валу II через механическую передачу 2. Гидравлический насос (ГН) преобразует энергию вращения вала II в энергию гидравлического потока рабочей жидкости, которая через напорную магистраль (Н), передается в напорный канал гидравлического мотора, посредством которого энергия гидравлического потока преобразуется в энергию вращения вала III. Рост давления в напорной магистрали станда обеспечивается за счет того, что расход, создаваемый гидравлическим насосом на некоторую величину превосходит расход,

который потребляет гидравлический мотор. Это возможно выполнить варьированием таких параметров, как рабочие объемы гидравлических машин и передаточное отношение механической передачи 2. Рост давления в напорной магистрали контролируется предохранительным клапаном непрямого действия (КПП). Обратный клапан (ОК) предназначен для создания условия разгрузки гидросистемы в моменты её выхода на заданные режимы испытаний.

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.

3. Рекуперация энергии при испытании плунжерных гидроцилиндров

Аналогичный способ рекуперации энергии можно применить и при испытании гидравлических цилиндров [6]. В этом случае нагрузкой для одного испытуемого гидроцилиндра служит другой гидроцилиндр, и наоборот. Этот способ значительно уменьшает габариты и упрощает схему испытательного стенда, так как отсутствуют специальные системы нагружения. Данный метод повышает КПД системы испытаний и, как следствие, снижает энергозатраты. В данной работе предлагается схема стенда для испытания гидромашин, согласование работы которых осуществляется путём введения механической передачи, а гидравлическая магистраль является напорной с регулируемой нагрузкой. В настоящей работе предлагается использовать напорную магистраль схемы для ресурсных испытаний плунжерных гидроцилиндров рис.3.

Работа стенда заключается в следующем. Электродвигатель ЭД приводит во вращение вал регулируемого гидронасоса ГН. Механическая энергия,

поступившая с вала электродвигателя, преобразуется ГН в гидравлическую энергию потока рабочей жидкости.

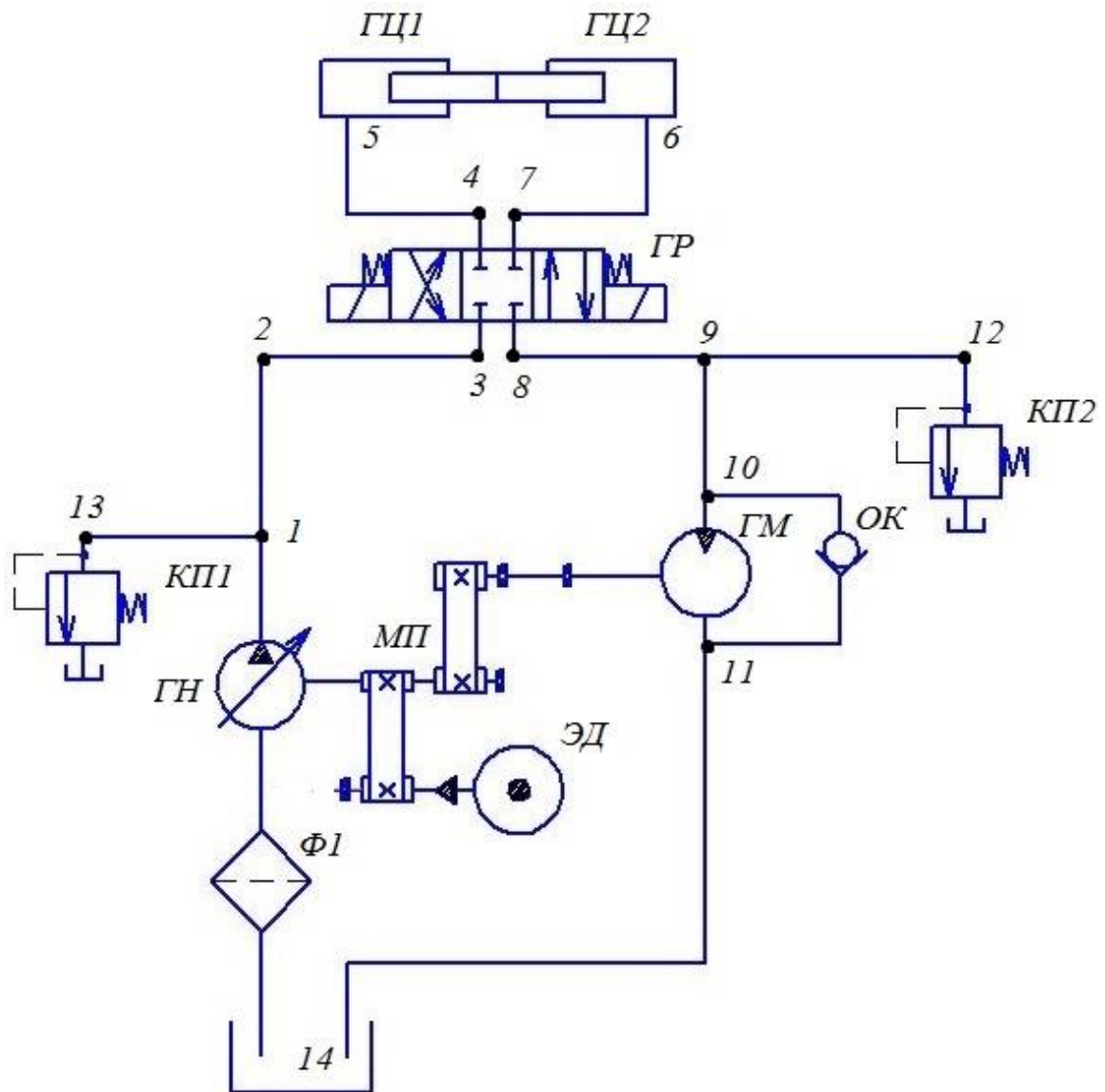


Рис. 3. Принципиальная гидравлическая схема стенда для ресурсных испытаний плунжерных гидроцилиндров с рекуперацией энергии. 1,2...14 – точки системы для измерения величины давления; Ф1 – фильтр; ЭД – электродвигатель; МП – механическая передача; ГН – гидронасос; КП1, КП2 – клапан предохранительный; ГР – гидро-распределитель; ГЦ1, ГЦ2 – гидроцилиндр; ГМ – гидромотор; ОК – обратный клапан.

Рассмотрим движение штоков гидроцилиндров из крайнего левого в крайнее правое положение. Рабочая жидкость посредством магистрали 1-2-3

попадает в гидрораспределитель ГР, после ГР жидкость распределяется в 4-5 и попадает в рабочую полость плунжерного гидроцилиндра ГЦ1. Гидравлическая энергия рабочей жидкости благодаря работе гидроцилиндра ГЦ1 преобразуется в механическую энергию перемещения штока, который механически связан со штоком второго испытуемого гидроцилиндра ГЦ2.

Механическая энергия перемещения штока ГЦ2 преобразуется в гидравлическую энергию потока рабочей жидкости, находящейся в его рабочей полости. Через магистраль 6-7-ГР-8-9-10 жидкость поступает на гидромотор ГМ. В гидромоторе осуществляется преобразование гидравлической энергии рабочей жидкости в механическую энергию вращения вала, которая с вала гидромотора посредством механической передачи МП передается на вал гидронасоса ГН, где суммируется с энергией вращения вала электродвигателя и вновь преобразуется гидронасосом в энергию рабочей жидкости. Работа стенда при движении гидроцилиндров из крайнего правого в крайнее левое положение аналогична.

Механическая передача создает условие, при котором подача гидронасоса будет несколько превосходить потребный расход гидромотора, что приведет к росту давления в магистрали, связывающей насос с гидромотором. Излишки рабочей жидкости будут сбрасываться из этой магистрали в гидробак через предохранительный клапан КП2. Регулируя настройку предохранительных клапанов, можно изменять давление в магистрали тем самым регулировать величину нагружения испытуемых гидроцилиндров. Обратный клапан ОК предназначен для шунтирования (для работы гидромотора в режиме холостого хода, при положении штока ГЦ в крайнем положении) гидромотора в процессе разгона и торможения гидроцилиндров.

Заключение

Предложенная рекуперативная система привода стенда позволяет обеспечить создание заданных нагрузок на испытываемых гидромашинах в режиме работы, максимально приближенному к реальности, а также позволяет производить испытания плунжерных гидроцилиндров с рекуперацией энергии, что значительно (до 80-90 процентов) снижает потери энергии при испытаниях.

Однако, остаётся под вопросом качество динамических характеристик функционирования описанного стенда. С целью выявления качества работы испытательного стенда необходимо на следующем этапе исследования построить математическую модель функционирования предлагаемого стенда и осуществить теоретические исследования его характеристик. При построении математической модели, на наш взгляд, наиболее целесообразно воспользоваться методикой, построенной на применении теории объёмной жёсткости гидравлических систем и их элементов, предложенной в работе [7] и получившей своё дальнейшее развитие в работах [8...10].

Использование теории объёмной жёсткости при моделировании гидравлических систем позволяет осуществить их исследования с использованием численных методов интегрирования, что позволяет получить временные характеристики системы без приближений и допущений, что повышает качество анализа [11].

Список литературы

1. В.В. Клюев Машиностроение // Энциклопедия. Ред. совет: К, В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. М38 Надежность мшшн. Т. TV-3/В.В. Клюев, В.В. Болотин, Ф.Р. Соснин и др.; Под общ. ред. В.В. Клюева. 1998. - 592 с., ил.
2. <http://davaiknam.ru/text/istoriya-rekuperacii-kineticheskoy-energii#meme>

3. <http://pop-hi-tech.ru/texnologii/kers-sistema-rekuperacii-kineticheskoy-energii.html>
4. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем / Т.М. Башта. - М: Машиностроение, 1974.
5. Устьянцев, М. В. Повышение эффективности привода стенда испытаний гидромашин вращательного действия: автореф. дис. канд. техн. наук / М. В. Устьянцев — Ростов-на-Дону, 2012. — 18 с.
6. Чукарин, А. Н. Рекуперация энергии при испытании гидроцилиндров / А. Н. Чукарин, А. Т. Рыбак., М. В. Устьянцев, А. В. Сердюков // Вестник Рост. гос. ун-та путей сообщ. – 2009. – № 4 (36). С. 12-16.
7. Рыбак, А. Т. Объёмная жёсткость и её влияние на динамику гидромеханической системы / А. Т. Рыбак // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2006. — Т. 6, № 3 (30). — С. 200-207.
8. Рыбак А.Т. Гидромеханические системы. Моделирование и расчёт: монография. / А.Т. Рыбак – Ростов н/Д: Издательский центр Дон. гос. техн. ун-та, 2008. – 145 с.
9. Рыбак, А. Т. Теория и методология расчёта и проектирования систем приводов технологических машин и агрегатов АПК: автореф. дис. доктора техн. наук / А. Т. Рыбак. — Ростов-на-Дону, 2011. — 39 с.
10. Рыбак, А. Т. Повышение качества проектирования систем гидравлических приводов технологических машин за счёт их расчёта с учётом объёмной жёсткости / А. Т. Рыбак // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. ФГБОУ ВО Воронеж. гос. лесотехн. ун-т им. Г. Ф. Морозова. — 2015. — № 9-3 (20-2). — С. 385-389.
11. Темирканов, А. Р. Теоретические исследования гидромеханического привода рабочего органа мобильной технологической машины / А. Р. Темирканов, А. Т. Рыбак, В. М. Пешков, Е. С. Шамайлов // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2015. — № 2 (81). — С. 56-64.