

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Гидропневмоавтоматика»

**Д. Л. Стасенко**

## **ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к контрольным работам по одноименному курсу  
для студентов специальности 1-36 01 07  
«Гидропневмосистемы мобильных и технологических  
машин» заочной формы обучения**

Гомель 2010

УДК 621-82.001.4(075.8)  
ББК 32.965.2я73  
С77

*Рекомендовано научно-методическим советом  
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 7 от 29.03.2010 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Технология машиностроения» канд. техн. наук  
ГГТУ им. П. О. Сухого *М. П. Кульгейко*

**Стасенко, Д. Л.**

С77 Исследования и испытания гидропневмосистем : метод. указания к контрол. работам по одноим. курсу для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» заоч. формы обучения / Д. Л. Стасенко. – Гомель : ГГТУ им. П.О.Сухого, 2010. – 37 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Даны общие сведения об испытаниях гидравлического и пневматического оборудования, задания для контрольной работы и методика их выполнения.

Для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» заочной формы обучения.

**УДК 621-82.001.4(075.8)  
ББК 32.965.2я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2010

## 1. Общие сведения и положения

### Классификация испытаний.

Испытания гидроприводов целесообразно классифицировать следующим образом: по целям и видам испытаний; по темпу проведения; по видам воспроизводимых повреждений; по способам испытаний; по выбранным критериям предельного состояния; по планам испытаний.

Предварительным, приемочным, периодическим и типовым испытаниям в производственном процессе должны подвергаться все базовые модели и модификации изделий гидропневмооборудования. При этом приемо-сдаточным испытаниям подвергается каждое изделие; периодическим и типовым несколько изделий (в зависимости от годового выпуска). Объем типовых испытаний устанавливают по согласованию между организацией-разработчиком и предприятием - изготовителем. Перед проведением предварительных, приемочных и типовых испытаний проверяется соответствие деталей и сборочных единиц гидропневмоустройств рабочим чертежам. Проводится также микрометраж основных деталей.

**Функциональные испытания.** В начале испытаний изделий гидропневмооборудования производят проверки функционирования, прочности и герметичности. Проверку *функционирования* производят по основным показателям в зависимости от типа устройства. Проверке *прочности* подвергаются все полости агрегатов, в которых во время функционирования возможно создание избыточного давления. Давление при этом устанавливают не менее  $1,5 P_{\text{ном}}$  с выдержкой не менее 3 мин. Потение наружных поверхностей и течи по резьбам и разъемам не допускаются. В таком же режиме проводится проверка *наружной герметичности*. Испытания должны проводиться после выполнения не менее пяти полных рабочих циклов.

При *приемо-сдаточных испытаниях* насосов и гидромоторов должны контролироваться, кроме вышеперечисленных, подача, рабочий объем, КПД, мощность, давление на входе, уровень звука и масса. *Ресурс* проверяется *при периодических испытаниях*. При испытаниях гидромоторов дополнительно контролируются максимальная и минимальная частота вращения, крутящий момент, время реверса.

Насосы, входящие в объемные гидропередачи и комплектуемые с гидромоторами, допускается испытывать совместно с гидромоторами. При этом показатели определяются для гидропередачи в целом.

При такого вида испытаниях гидроаппаратов управления направлением расхода (направляющие гидрораспределители, гидроклапаны), управления давлением (гидроклапаны) и управления величиной расхода (гиддроссели, регуляторы расхода, делители, сумматоры) проверяются показатели функционирования, наружная и внутренняя герметичность, плавность регулирования, диапазон настройки, зависимость изменения давления настройки от расхода  $P = f(Q)$ , изменение редуцированного давления при изменении давления на входе  $P = f(P_{ex})$  и расхода  $P = f(Q)$ , минимальный допустимый расход.

Приемо-сдаточные испытания гидроцилиндров предполагают проверку функционирования, прочности, наружной герметичности, давления страгивания и холостого хода, неравномерность перемещения и плавность торможения.

Испытания пневмоприводов включают проверки тех же параметров, что и для гидроприводов. Предварительные испытания предполагают дополнительные проверки шумовых характеристик и содержание воды в рабочем теле (воздухе).

Во всех случаях испытаний гидропневмоприводов следует соблюдать требования безопасности, установленные стандартами и нормативными документами.

В процессе серийного производства гидро- и пневмоприводов проводят их *периодические и типовые* испытания. Для периодических испытаний выбираются изделия из прошедших приемо-сдаточные испытания. Периодичность проведения таких испытаний устанавливается стандартами и техническими условиями на конкретные изделия в зависимости от количественного выпуска.

Типовые испытания проводятся обычно на предприятии-изготовителе с участием организации-разработчика, если вносятся изменения в конструкцию или технологию изготовления.

**Исследовательские испытания.** Испытания гидропневмоустройств на долговечность обычно называют ресурсными. При этом, как правило, воспроизводятся эксплуатационные условия, режимы испытаний и нагруженность. В результате оценивается долговечность, безотказность и ремонтпригодность.

Все виды ресурсных испытаний можно представить в виде трех групп:

- 1) ресурсные испытания на стадии создания, доводки и модернизации гидропневмоустройств (предварительные, доводочные, приемочные);

- 2) контрольные - для подтверждения технических характеристик в процессе серийного производства;
- 3) исследовательские.

Все свойства гидро- и пневмоустройств окончательно проверяются, подтверждаются и проявляются, конечно, в эксплуатации.

Для ускорения получения необходимой информации применяют ускоренные ресурсные испытания. Ускорение может достигаться за счет более высоких значений режимных, климатических, цикловых и др. параметров. Применение ускоренных ресурсных испытаний экономически выгодно и, самое главное, сокращает сроки освоения новой техники. Конечно, им должны предшествовать этапы исследований, которые позволяют обосновать идентификацию результатов.

#### **Цели и задачи исследовательских испытаний.**

Исследовательские испытания присущи всем стадиям создания и эксплуатации гидро- и пневмоприводов. Они предназначены для изучения свойств объектов, факторов и условий, влияющих на их работоспособность и надежность. Основными целями исследовательских испытаний являются:

- 1) оценка значений показателей качества функционирования испытываемого устройства в определенных условиях его применения;
- 2) определение наилучших режимов применения устройства (системы) или наилучших его характеристик;
- 3) сравнение вариантов и аналогов устройств при их проектировании и аттестации;
- 4) построение математической модели устройства;
- 5) определение и ранжирование факторов, оказывающих влияние на функционирование устройства.

Основными типами исследовательских испытаний (экспериментов) являются следующие:

- 1) определительные, проводимые в заданных условиях (режимах) с целью оценки показателей качества функционирования устройства в этих условиях;
- 2) сравнительные, проводимые с целью сравнения показателей качества двух или более устройств;
- 3) идентифицирующие, проводимые с целью построения математической модели устройства;
- 4) экстремальные, проводимые с целью выбора наилучших режимов применения устройства или наилучших его характеристик;

5) отсеивающие, проводимые с целью отбора факторов, в наибольшей степени влияющих на качество функционирования устройства.

Исследовательские испытания могут носить и многоцелевой характер, а их объектами могут быть опытные образцы новых устройств, серийные изделия, модернизированные и отремонтированные устройства.

Доводочные и исследовательские испытания предназначены для решения следующих задач:

- 1) устранение конструктивных и технологических недостатков, выявленных на опытных образцах новых гидро- и пневмоприводов до начала их серийного производства, а также недостатков, выявленных в процессе испытаний и эксплуатации серийно выпускаемых устройств;
- 2) совершенствование (модернизация) серийных устройств с целью повышения их качества, расширения функциональных возможностей, снижения массы и стоимости; создание новых конструкций устройств на базе серийно выпускаемых.

Требуемый результат от решения поставленных задач достигается в процессе доводки путем последовательных введений усовершенствований и экспериментальных проверок.

Доводочные и исследовательские испытания продолжаются и после начала серийного производства приводов и устройств. Они теперь направлены на устранение недостатков, которые не были выявлены при испытаниях опытных образцов и которые могли появиться как результат отличия технологий опытного и серийного производств.

Широкое развитие поэлементных стендовых испытаний в общем комплексе всех видов испытаний позволяет значительно сократить длительность доводки новых приводов.

Таким образом совершенствование гидро- и пневмоприводов производится постепенно, на всех стадиях их создания и эксплуатации. Поэтому исследовательские испытания нашли широкое применение.

#### **Назначение исследовательских испытаний.**

Процессы доводки комплектных гидро- и пневмоприводов протекают на протяжении сравнительно небольших промежутков времени, ограниченных периодами подготовки привода или гидрофицированной машины к производству и их серийного выпуска. Наряду с этим происходит длительный процесс совершенствования большой группы типовых элементов (насосов, аппаратуры, гидро- и пневмомоторов и т.п.). Улучшенные технические параметры элементов позволяют рас-

ширять функциональные возможности комплектных приводов и комплектуемых ими машин. Например, усовершенствованная элементная база позволила разработать новые гидроприводы для энергонасыщенных тракторов МТЗ, что позволило осуществить централизацию многих рабочих функций, автоматическое регулирование чувствительности к нагрузкам, отбор значительной части мощности для внешних потребителей и ряд других отсутствующих на предыдущих моделях возможностей.

Особое внимание необходимо уделять значению доводочных и исследовательских испытаний в вопросах повышения эффективности новых машин и их положительной оценки потребителями. Известны случаи, когда заводы приступали к серийному выпуску гидро- и пневмоприводов, основываясь на поверхностной экспериментальной проверке их свойств. В этих случаях доводка продолжалась в эксплуатации путем так называемого экспериментирования на потребителе. Убытки от простоев, ремонтов и устранения дефектов в условиях эксплуатации во много раз превышали затраты на правильно организованную доводку до начала серийного производства машин. Внесение изменений в конструкцию или технологию изготовления приводов в ходе их серийного выпуска вызывает серьезные трудности в работе заводов-изготовителей. Кроме того, это не способствует хорошей репутации новой модели машины (как правило, прогрессивной и эффективной в принципе).

Таким образом, можно смело утверждать, что доводочные и исследовательские испытания являются одним из основополагающих этапов, определяющих технический прогресс в конкретной отрасли машиностроения.

При ресурсных испытаниях определяется также приспособленность гидропневмоприводов к техническому обслуживанию и ремонту. Эффективность и стоимость ремонтных работ во многом определяются надежностью гидропневмоприводов. Для получения информации о надежности, как для новых изделий, так и для отремонтированных, проводят испытания приводов на долговечность и эксплуатационные наблюдения. При ресурсных испытаниях отремонтированных устройств могут решаться задачи определения оптимальной последовательности ремонтов, обоснования предельных износов деталей и сопряжений, а также устанавливаться границы их рационального использования.

## 2. ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

### Задание 1. Методы и средства измерения в гидравлических и пневматических системах

Выполнить выбор средств и методов измерений в соответствии с индивидуальным заданием (таблица 5.1, 5.2).

При выборе методов средств измерения в гидравлических и пневматических системах необходимо руководствоваться следующими основными положениями.

Методы измерений при испытаниях гидропневмоприводов и устройств предполагают использование измерительных приборов, прошедших метрологическую проверку в соответствии с действующими правилами и инструкциями Госстандарта. Класс точности измерительных приборов определяется допустимой погрешностью измерения при испытаниях в соответствии с Государственными стандартами (ГОСТ). Если величина измеряемого параметра имеет разброс, выходящий за пределы допускаемых погрешностей прибора, то проводятся повторные измерения, и число их определяется по правилам математической статистики.

Обычно в качестве результата измерения принимается среднее арифметическое не менее трех измерений.

**Измерения давления рабочей жидкости и газа.** Избыточное давление рабочей жидкости в гидросистеме и воздуха (газа) в пневмосистеме измеряют манометрами различного конструктивного исполнения. Каждый манометр содержит чувствительный элемент (датчик). В современной измерительной аппаратуре широкое распространение получили двухступенчатые датчики, в которых гидравлическое давление преобразуется на первой ступени в механическое перемещение, усилие и т.п., а затем – в электрический сигнал. При этом в качестве первичных преобразователей используют мембраны, сильфоны, поршни и др. чувствительные элементы. В качестве генераторов электрических сигналов используются датчики сопротивления, индуктивные, частотные и пьезоэлектрические.

Для измерения разрежения (вакуумметрического давления) на отдельных участках гидросистем применяются вакуумметры и мановакуумметры, как жидкостные (с U - образными стеклянными трубками), так и механические, с упругими чувствительными элементами.



При измерении пульсирующих давлений приборы укомплектовываются гасителем пульсаций, который не должен искажать показания. В пневмоприводах давление воздуха измеряется манометрами, вакуумметрами (для вакуумметрического давления) и мановакуумметрами, тягомерами, напоромерами [1]. Дифференциальными манометрами, дифманометрами - тягомерами измеряется разность давлений.

**Измерение потока (расхода) жидкости (воздуха).** Известны два метода измерения расхода: прямой и косвенный. Прямой метод измерения потока жидкости (воздуха) - это непосредственное измерение потока жидкости (воздуха) приборами. В табл. 1.1 приведены основные характеристики измерительных приборов для жидкостей. Для прямых измерений потока воздуха применяют расходомеры переменного перепада давления, состоящие из сужающих устройств и дифманометров, а также общепромышленные ротаметры [1].

Таблица 1.1 Характеристики расходомеров

Наименования измерительных приборов	Класс точности измерительных приборов	Диапазон измерения потока жидкости, м <sup>3</sup> /с	Максимальное допустимое давление		Примечания
			МПа	кгс/см <sup>2</sup> (bar)	
Тахометрические крыльчатые расходомеры	0,2-1 0,5-1	0,07-0,7 15-2,5·10 <sup>4</sup>	20	200	--
Тахометрические шариковые расходомеры ГСП по ГОСТ 14012-96	1,0; 1,6; 2,5	10 <sup>-4</sup> – 0,5	16	160	Применять при кинематической вязкости менее 12 мм <sup>2</sup> /с (сСт)
Расходомеры переменного перепада давления, состоящие из сужающих устройств и дифманометров по ГОСТ18140-72	1,0; 1,5	--	100	1000	Применять при диаметре условного прохода не менее 50 мм и скорости течения жидкости не более 5 м/с
Ультразвуковые расходомеры	1-2	3·10 <sup>-3</sup> – 5,5·10 <sup>-6</sup>	1	10	--

Косвенные методы основаны на применении объемных, массовых способов. В качестве расходомеров используют также гидромоторы. Способ заключается в измерении времени заполнения мерного со-

суда или протекания жидкости (воздуха) через счетчик. В табл. 2 приведены характеристики применяемых приборов для измерения потока жидкости косвенным методом.

Поток жидкости (воздуха) рассчитывается по формуле:  $Q = V/t$ , где  $V$  - измеренный объем жидкости (воздуха),  $\text{м}^3(\text{дм}^3)$ ;  $t$  - время заполнения мерного сосуда при протекании рабочей жидкости (воздуха) через счетчик, с.

Таблица 1.2

Приборы для измерения потока жидкости косвенным методом

Наименования измерительных приборов	Относительные погрешности	Диапазон измерения потока жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$	Максимальное допустимое давление		Примечание
			МПа	кгс/см <sup>2</sup>	
Меры вместимости стеклянные технические по ГОСТ 1770-64	--	--	0	0	Вместимость составляет от 5 до 2 $\text{дм}^3$
Металлические технические мерники	$\pm 0,2$ ; $\pm 0,5$	--	0	160	Вместимость составляет от 0,5 до 50 $\text{дм}^3$
Стационарные мерные баки	$\pm 0,5$ - $\pm 1$		0	0	--
Счетчики жидкости с овальными шестернями по ГОСТ 12671-71	$\pm 0,5$	$3 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-2}$	4	40	--
Счетчики жидкости кольцевые по ГОСТ 14684-69	$\pm 0,2$ ; $\pm 0,5$	$3 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-3}$	4	40	--

Массовый способ состоит в измерении массы жидкости взвешиванием на весах при одновременном измерении времени заполнения этой массой емкости, установленной на весах, и измерении плотности жидкости денсиметрами или пикнометрами. Поток жидкости подсчитывается по формуле:

$$Q = \frac{m}{t \cdot \rho},$$

где  $m$  - масса жидкости, кг;  $t$  - время заполнения жидкостью емкости, установленной на весах, с;  $\rho$  - плотность жидкости, кг/см<sup>3</sup>.

При использовании гидромотора в качестве расходомера измеряют частоту вращения гидромотора, а поток жидкости  $Q$  подсчитывают по формуле:

$$Q = V_0 \cdot n,$$

где  $V_0$  - рабочий объем гидромотора, м<sup>3</sup>/об;  $n$  - частота вращения гидромотора, об/с. Данный метод используют при измерении потока на сливном участке гидросистемы.

**Измерение частоты вращения, крутящего момента.** Определение числа оборотов и частоты вращения выполняется с помощью тахометров и тахоскопов. Измерение крутящего момента предполагает применение торсиметров и динамометров.

**Измерение мощности.** Мощность измеряют косвенными методами: методом измерения частоты вращения и крутящего момента или методом нагрузки тарированной машиной. Для измерений используются ваттметры класса точности не ниже 0,5; измерительные трансформаторы класса точности не ниже 0,2; амперметры и вольтметры класса точности выше 0,5. При ресурсных испытаниях используются самопишущие ваттметры.

Нагрузочная тарировочная машина имеет известную зависимость КПД от величины потребляемой или эффективной мощности при оговоренных условиях измерений и окружающей среды. Существует понятие гидравлической мощности. Это произведение расхода рабочей жидкости в единицу времени через контролируемое сечение исследуемого гидропривода на развиваемое в сечении давление. Для получения мгновенных значений гидравлической мощности в сечении гидропривода используют турбинно-тахометрические датчики расхода с импульсно-аналоговыми преобразователями в сочетании с тензометрическими или потенциометрическими датчиками давления. Сигнал от вторичного прибора выдается на индикатор гидравлической мощности.

**Измерение параметров шумовых характеристик.** Для измерения вибраций и шума применяется различная виброакустическая аппаратура. Так, известен измерительный комплекс датской фирмы «Брюль и Кьер». При измерениях датчик вибраций устанавливают на испытуемый агрегат, в определенное место. В качестве виброакустического датчика используют пьезодатчик, сигнал от которого через усилитель подается на преобразователь, а затем на регистрирующую аппаратуру. В практике испытаний гидропневмоприводов применяется

прибор ЭМДП-3. Он позволяет измерять общий уровень вибраций, частоту вращения вала, температуру среды, а также обеспечивает прослушивание шумов в отдельных узлах. Для прослушивания шумов в узлах гидро- и пневмоприводов используется стетоскоп КИ-1154.

**Измерение объема (емкости).** Объем измеряют путем заполнения жидкостью полости, объем которой измеряется, и измерения объема этой жидкости с помощью стеклянных технических мер при объеме до 2 дм<sup>3</sup>. Также объем измеряют методом вычисления по измеренным линейным размерам.

**Измерение времени.** Время измеряют механическими секундомерами и хроноскопами, электронно-счетными хронометрами, стробоскопическими хроноскопами, электромеханическими секундомерами, методом осциллографирования.

**Измерение температуры.** Температуру рабочей жидкости и воздуха измеряют лабораторными и техническими термометрами (ртутными, спиртовыми и др.). Применяют так же электроконтактные термометры. Кроме того, при испытаниях и в промышленных установках используются термометры манометрические классов точности от 0,6 до 2,5; термометры сопротивления типа ТСМ; термопары в комплекте с милливольтметрами или потенциометрами.

## **Задание 2.** Оборудование для исследований и испытаний гидропневмосистем технологических машин

При выполнении данного задания необходимо выполнить выбор испытательного стенда, сделать описание его конструкции и требований к стендовому оборудованию, а также видам испытаний.

**Общие требования к испытательному оборудованию.** Стендовое оборудование для испытаний гидропневмосистем и отдельных устройств должно обеспечивать получение результатов, позволяющих производить достоверную оценку их основных рабочих параметров, работоспособность, надежность и долговечность. Основными требованиями, предъявляемыми к испытательному оборудованию, являются возможность точного контроля и регулирования исследуемых параметров испытываемых устройств, воспроизводимость результатов при испытаниях нескольких однотипных изделий, надежность в течение требуемого времени испытаний и др.

Испытания гидропневмоустройств и систем в зависимости от целей и условий проведения бывают двух типов: лабораторные и экс-

платационные. Основные преимущества и недостатки тех и других широко известны и достаточно полно освещены в литературе. Испытания следует проводить на стендах, которые аттестованы, имеют технический паспорт и описание в соответствии с требованиями ГОСТ 2.601-96.

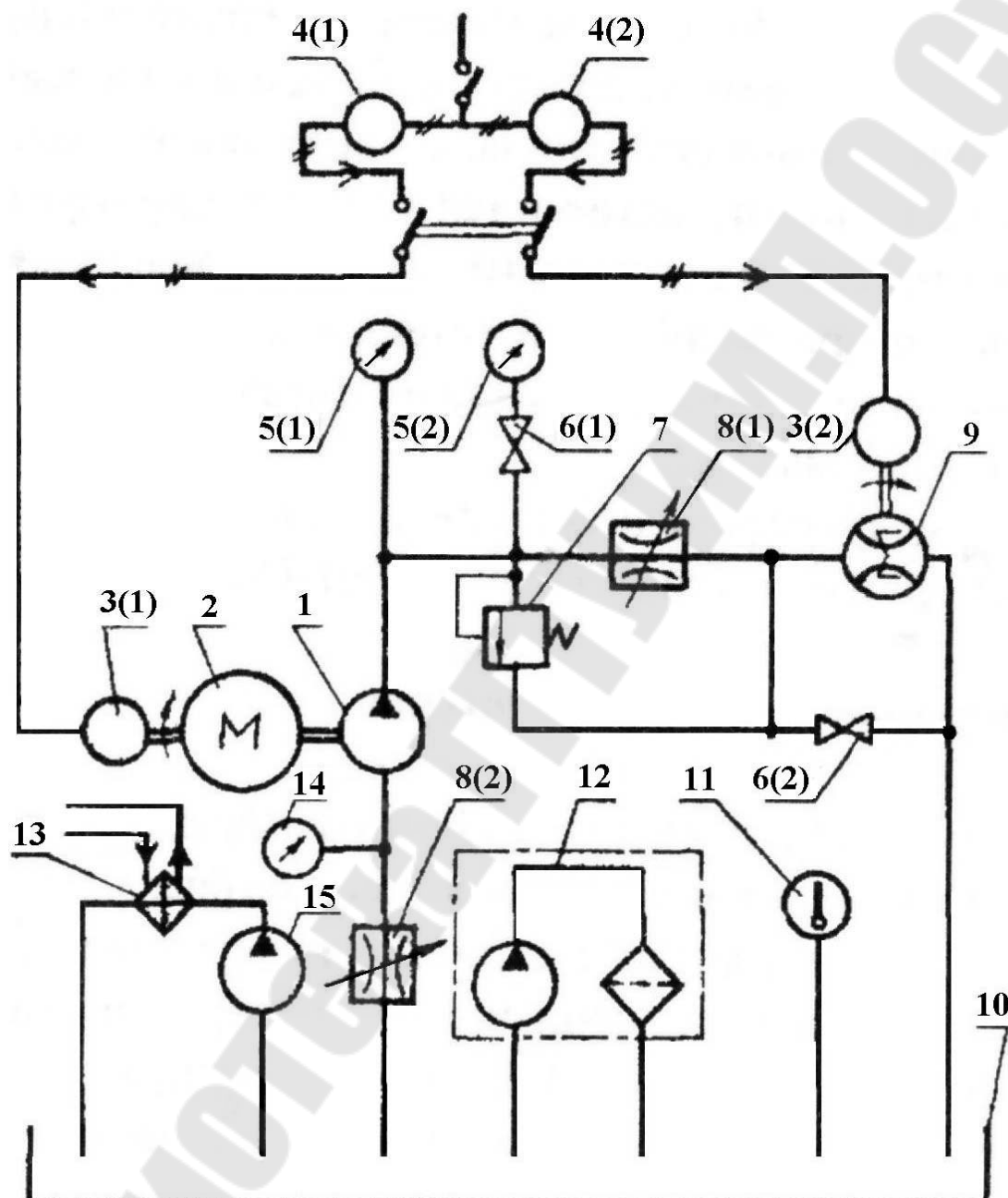


Рисунок 2.1. Схема стенда для проведения контрольных испытаний насосов.

1 - испытуемый насос; 2 – мотор - весы; 3 -преобразователь частоты вращения; 4 - счетчик импульсов; 5 - манометр; 6 - кран; 7 – предохранительный клапан; 8 - дроссель; 9 - расходомер; 10 - бак; 11 - термометр; 12 - фильтровальная установка; 13-теплообменный аппарат; 14-вакуумметр; 15-насос

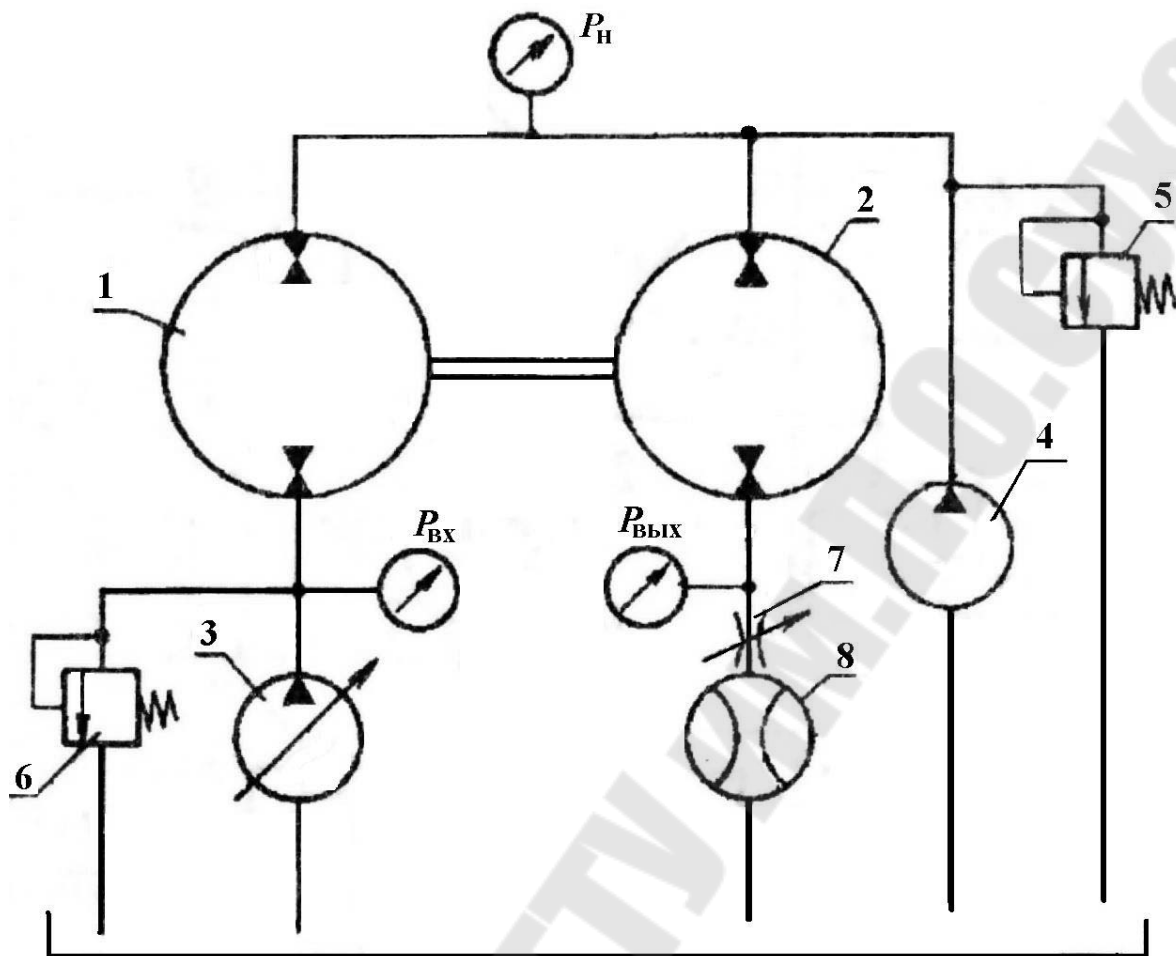


Рисунок 2.2. Рекуперативная схема с взаимным нагруженным и с жестким соединением выходных звеньев испытываемых гидромоторов  
 1 - нагрузочный гидромотор; 2 - испытываемый гидромотор; 3 - насос; 4 – насос подпитки; 5, 6 - предохранительные клапаны; 7 - дроссель; 8 –расходомер.

**Испытания насосов и гидромоторов.** Типовая схема стенда для испытаний насосов приведена на рис. 2.1. Допускается испытывать насосы и гидромоторы на стендах с рекуперацией мощности рис. 2.2. При этом имеется возможность производить проверку параметров, обобщенных для двух гидромашин, т.е. гидрообъемной передачи.

Стенды должны оборудоваться кондиционерами рабочей жидкости. ГОСТ 14658-75 предусматривает проверку вязкости и степени загрязненности рабочей жидкости не реже чем через 750 часов работы стенда. Государственными стандартами также предусмотрены строгие требования безопасности к стендам и условиям проведения испытаний.

Результаты испытаний следует оформлять протоколом по утвержденной форме. Протокол сопровождается выпиской из формуляра испытательного стенда, содержащей схему стенда, его краткое описание и данные о применяемых средствах измерений.

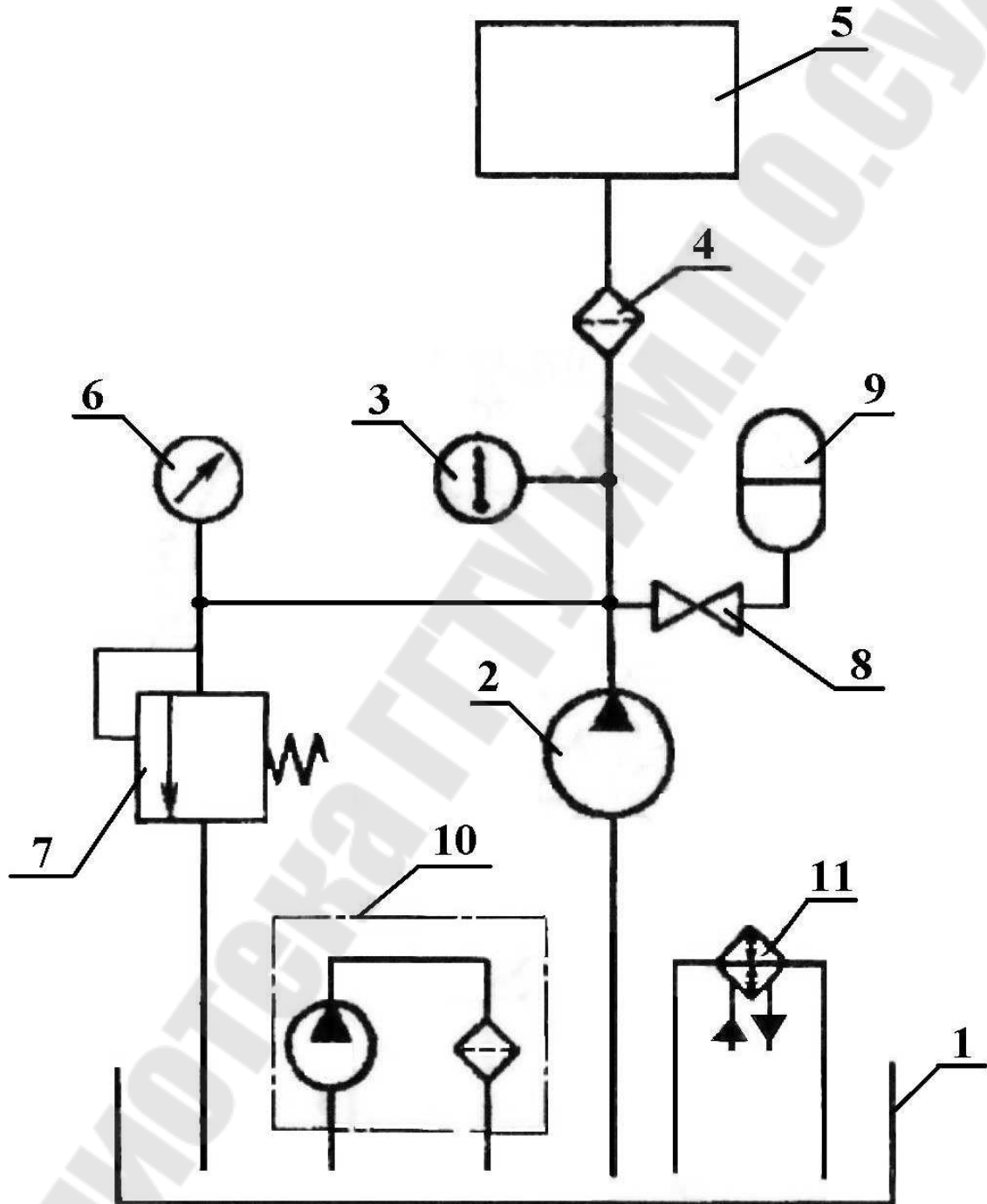


Рисунок 2.3. Схема стенда для проверки прочности и наружной герметичности:

1 - гидробак; 2 - насос; 3 - термометр; 4 - фильтр; 5 - испытываемый гидроаппарат; 6 - манометр; 7 - переливной гидроклапан; 8 - вентиль; 9 - гидроаккумулятор.

При испытаниях гидромашин в режиме циклической нагрузки схема испытаний должна предусматривать регистрацию числа циклов нагружения. Проверку ресурса гидропнеumoустройств следует проводить на стенде при температуре рабочей жидкости, указанной в стандартах или технических условиях на изделия конкретных типов и на номинальном режиме. В процессе проведения ресурсных испытаний следует периодически регистрировать и определять исследуемые параметры.

**Испытания гидроаппаратуры.** При предварительных, приемочных, типовых, периодических и ресурсных испытаниях гидроаппаратуры производится проверка функционирования, прочности, герметичности, плавности регулирования и диапазона настройки, а также других показателей в зависимости от функционального назначения.

В зависимости от типа гидроаппарата проводятся следующие проверки функционирования:

1) для гидроаппаратов управления направлением потока - прохода рабочей жидкости в линиях, предусмотренных схемой гидроаппарата;

2) для гидроаппаратов управления давлением и величиной расхода - характера и величины перемещения рабочих элементов гидроаппарата, регулирования расхода, давления, времени и т.д.

Проверке прочности и герметичности должны подвергаться все полости гидроаппаратов, в которых создается избыточное давление (рис. 2.3). При этом производится одновременный подвод рабочей жидкости к различным линиям гидроаппарата при давлении не менее  $1,5 P_{ном}$  для каждой из этих линий с выдержкой не менее 3 мин. Потение наружных поверхностей, а также течь по резьбам и стыкам не допускаются.

Ресурсные испытания гидроаппаратов проводят на стенде, обеспечивающем его функционирование в соответствии с назначением. Рабочие параметры при этом имеют номинальные значения.

Проверку изменения давления настройки гидроаппарата от расхода проводят не менее чем при 5 значениях настройки, взятых с равным интервалом в пределах установленного диапазона давлений (рис. 2.4). По результатам строят график зависимости  $P = f(Q)$ . Величина расхода должна изменяться плавно без скачков и изменений направлений.

Максимальное число срабатываний гидрораспределителя определяют осциллографированием непрерывного процесса повышения и понижения давления в одной из рабочих гидролиний при многократ-



ном включении и выключении управляющего устройства через равные промежутки времени (рис. 2.5).

**Оборудование для ресурсных испытаний.** На рис. 2.6, 2.7 изображены схемы стенда для исследований надежности насосов. Характерной особенностью таких стендов является возможность длительных испытаний партии насосов в одинаковых условиях.

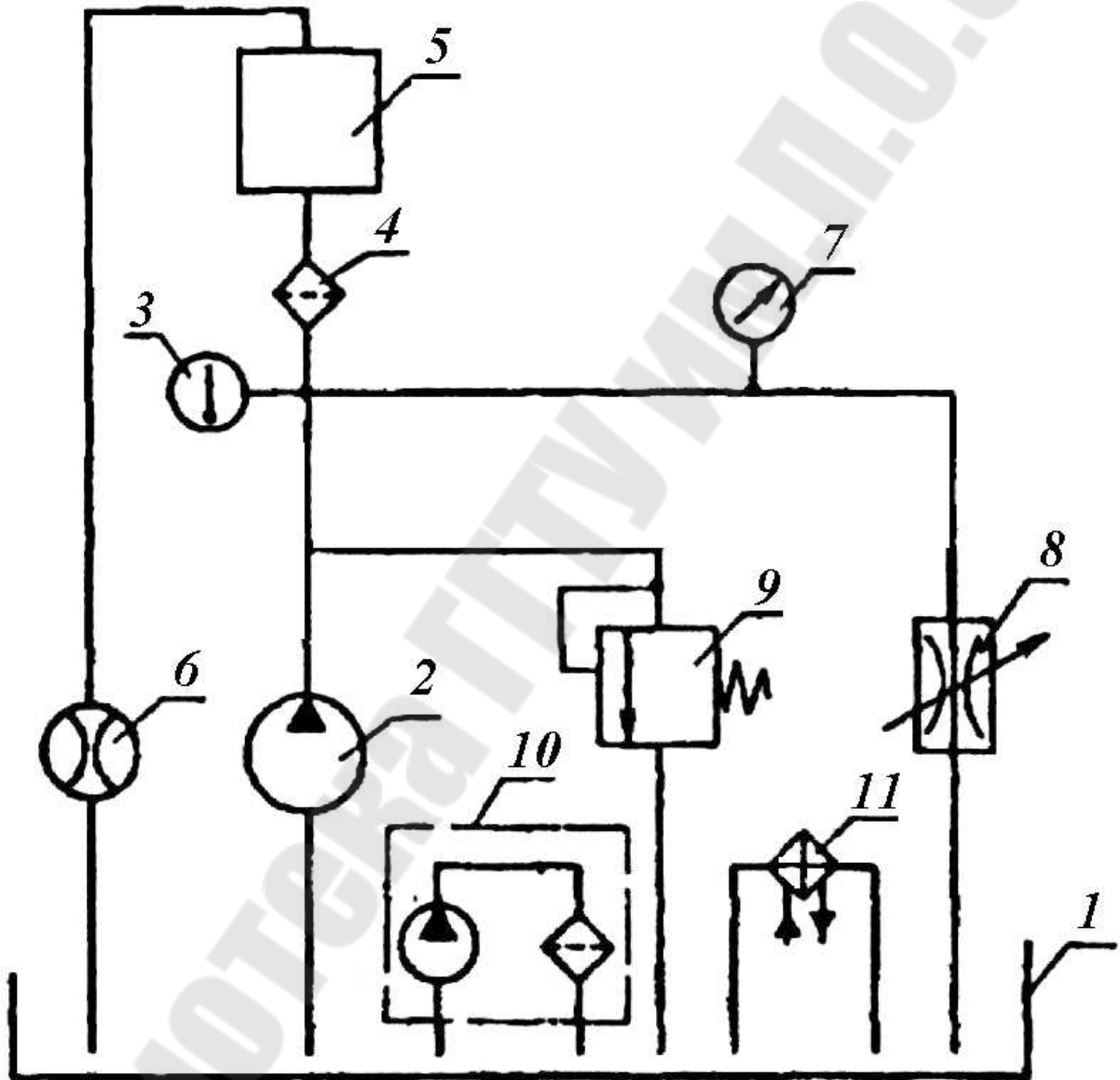


Рисунок 2.4. Схема стенда для проверки зависимости изменения давления настройки от расхода:

1- гидробак; 2 - насос; 3 - термометр; 4 - фильтр; 5 - испытываемый гидроаппарат; 6 - расходомер; 7 - манометр; 8 - гидродроссель; 9 - предохранительный гидроклапан; 10- фильтрующая установка; 11 - теплообменный аппарат.

Стенд состоит из цилиндрического бака, на крышке которого установлен редуктор с электродвигателем для синхронного привода всех исследуемых объектов. Имеются необходимые подсистемы для кондиционирования рабочей жидкости, подпитки насосов, измерительные устройства и системы. Привод насосов осуществляется от электродвигателя постоянного тока. Диапазон регулирования скорости вращения электродвигателя 1000-2000 об/мин. Установка соединена с водяной рубашкой гидробака. В качестве охлаждающей жидкости используется эмульсия.

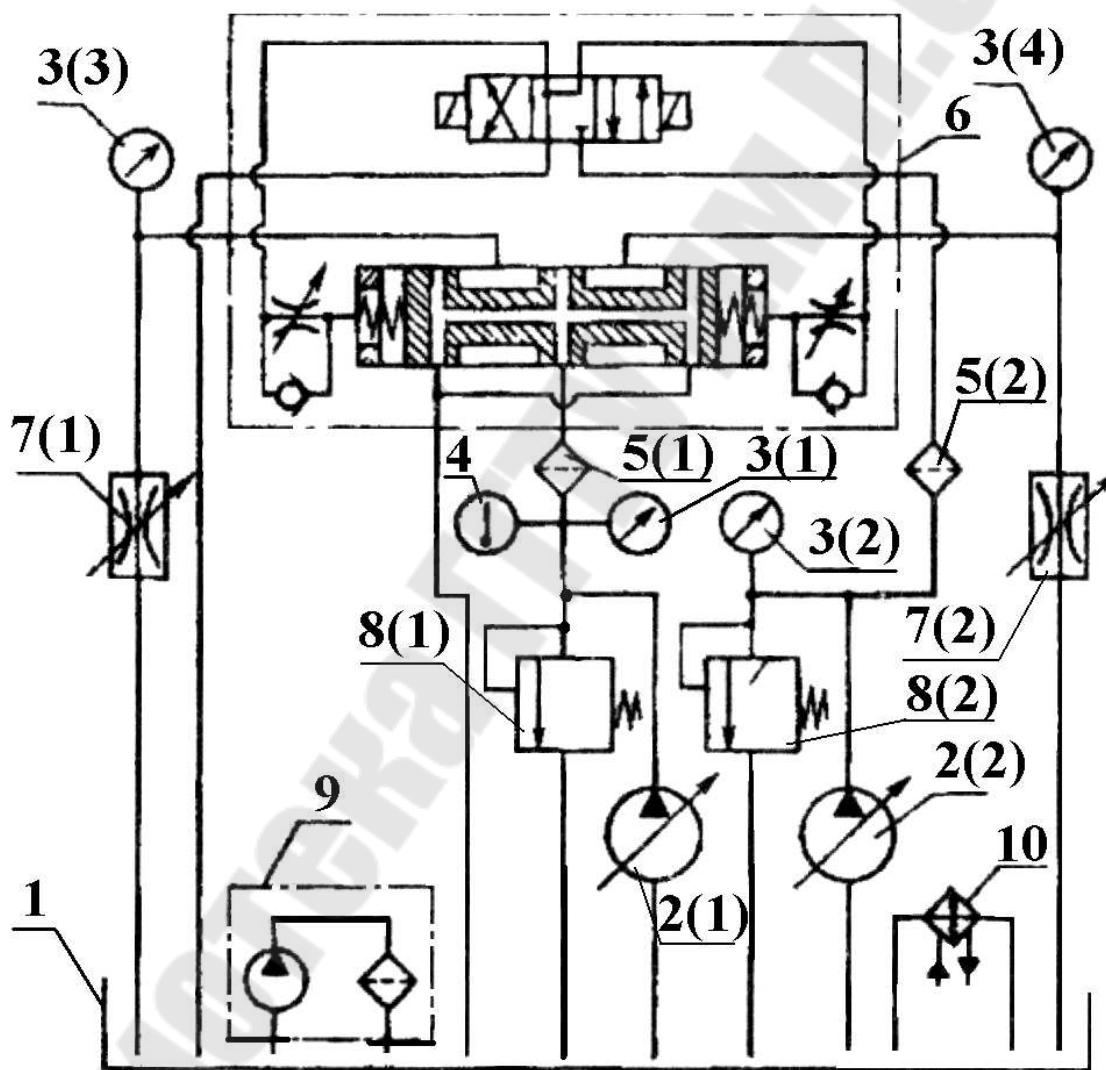


Рисунок 2.5. Схема стенда для проверки времени срабатывания и максимального числа срабатываний гидрораспределителя:

1 - гидробак; 2 - насос; 3 - манометр; 4 - термометр; 5 - фильтр; 6 - испытываемый гидрораспределитель; 7-гидродроссель; 8-предохранительный гидроклапан; 9 - фильтрующая установка; 10 - теплообменный аппарат.

Для нормальной работы некоторых типов насосов необходима подпитка на всасывании. Это обеспечивается установкой, состоящей из лопастного насоса с электродвигателем и реверсивного золотника, направляющего масло или в полость подпитки, давление в которой регулируется предохранительным клапаном, или в сливную магистраль. При первоначальном пуске или при пуске стенда после длительной остановки масло необходимо подогреть. Установка имеет устройство для подогрева масла. В магистрали, идущей к полости подпитки, имеется отвод для взятия проб масла и замера температуры.

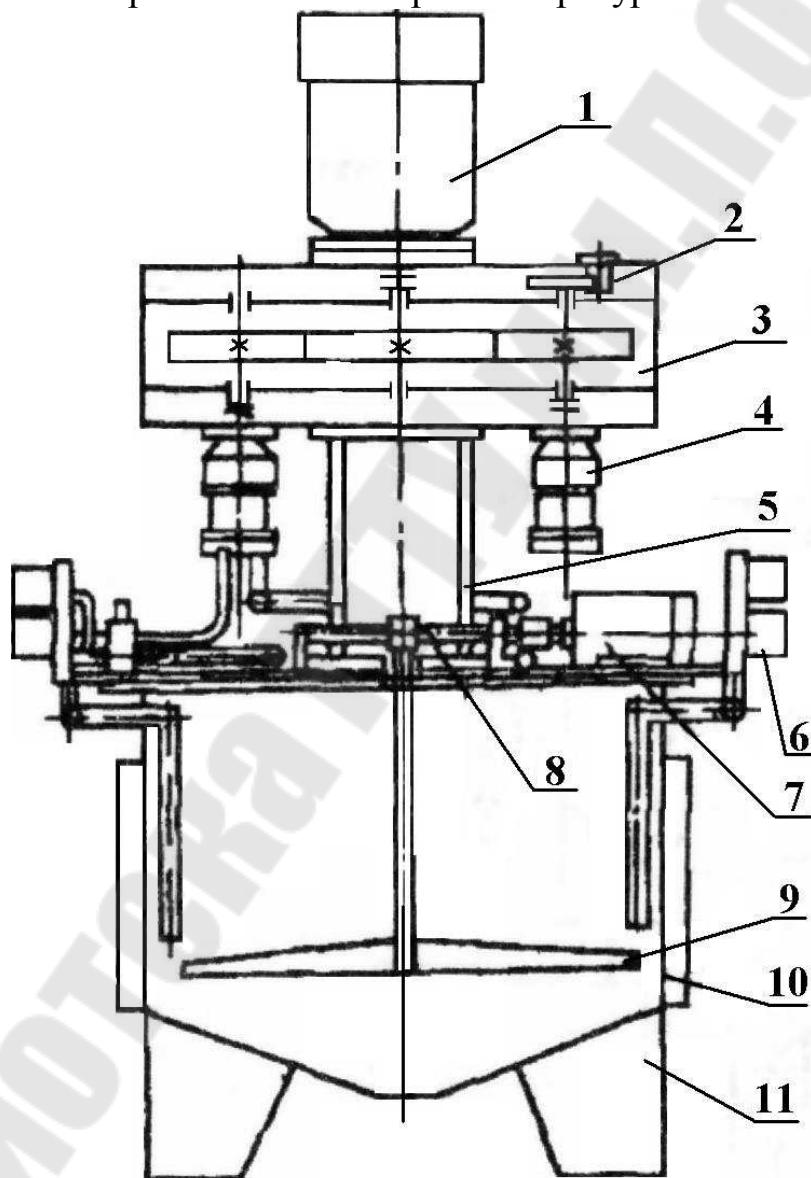


Рисунок 2.6. Кинематическая схема стенда для испытаний на долговечность насосов:

1-электродвигатель главного привода; 2 -датчик оборотов; 3 -редуктор; 4 - насос; 5 - колонна; 6 - панель управления; 7 - электродвигатель мешалки; 8 - привод мешалки; 9 - мешалка; 10 - водяная рубашка; 11 – бак.

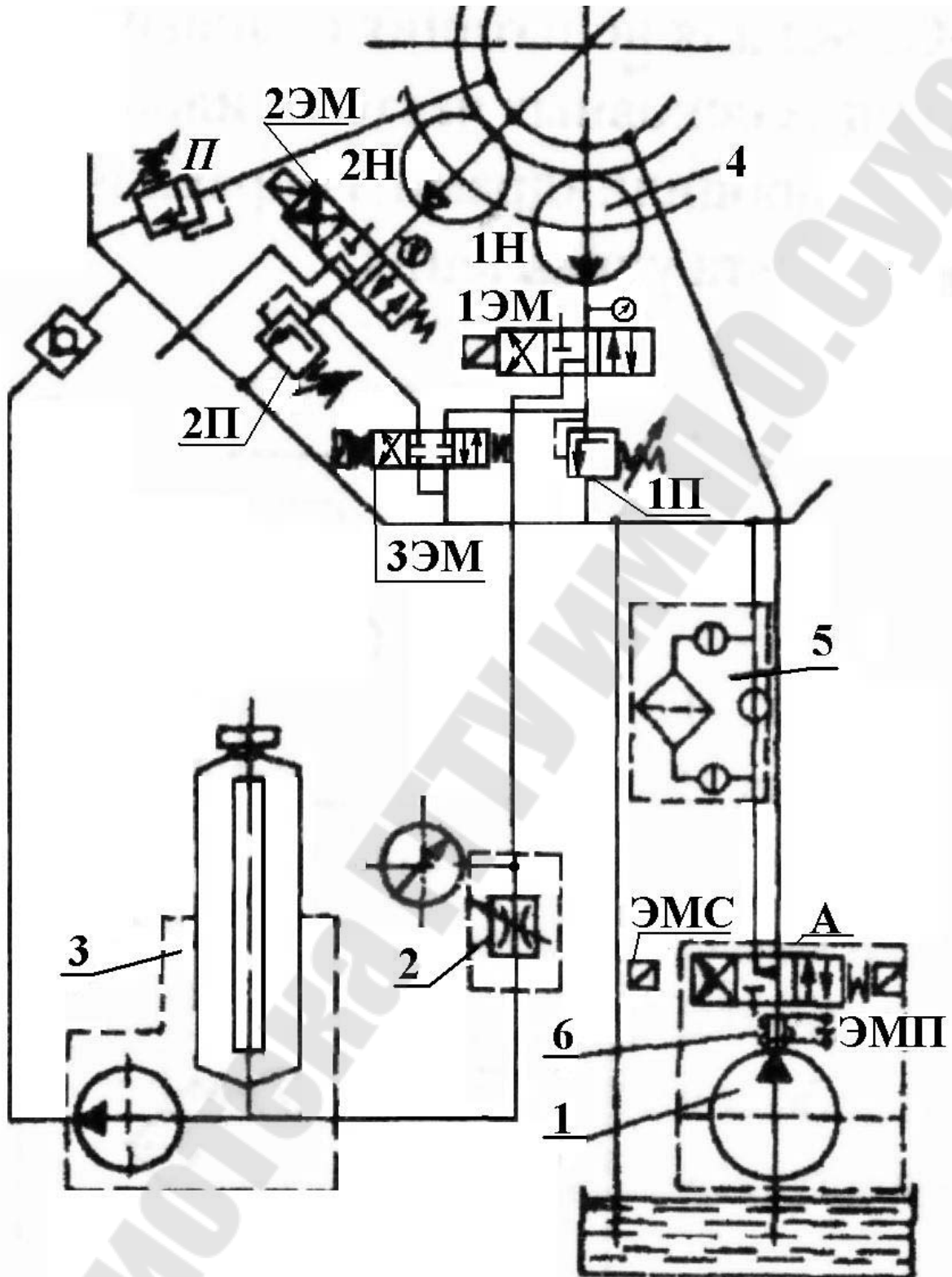


Рисунок 2.7. Гидравлическая схема стенда для испытаний на долговечность насосов:

1 - установка для подпитки; 2 - нагрузочное устройство; 3 - мерный бак; 4 - исследуемый насос; 5 - установка для фильтрации; 6 - нагревательный элемент.

Для замера объемных характеристик исследуемых машин служит передвижной мерный бак, который можно подключить к любой из восьми исследуемых гидромашин. Установка оборудована электроконтактным секундомером, что обеспечивает включение исследуемого насоса на мерный бак в течение определенного промежутка времени, выбранного исследователем. Масло из мерного бака откачивается специальной насосной установкой.

Работа стенда осуществляется следующим образом. После заливки масла в гидробак включают насосную установку для подпитки и подогрева масла. Величина давления в магистрали подпитки регулируется предохранительным клапаном. Перед запуском стенда все золотники управления должны быть в положении, соответствующем включению электромагнитов, а предохранительные клапаны полностью отпущены. По окончании данной операции стенд полностью подготовлен к работе.

В период эксперимента температура масла контролируется электроконтактным термометром, который в случае необходимости включает устройство для охлаждения масла. На стенде предусмотрена непрерывная регистрация производительности испытываемых насосов с помощью самописца, который позволяет постоянно контролировать характер утраты работоспособности при различных условиях испытаний. Устройство состоит из объемного гидромотора-расходомера, тахогенератора и самописца.

Стенд для испытания силовых цилиндров на долговечность (рис. 2.8) состоит из следующих основных частей: гидростанции, установочной рамы с испытываемыми гидроцилиндрами, гидравлических панелей с измерительной аппаратурой и пульта управления.

Гидростанция данного стенда представляет собой бак цилиндрической формы, на верхней крышке которого смонтированы шесть электродвигателей. Пять из них приводят в движение насосы, а один через редуктор вращает вал с двумя крыльчатками, служащими для перемешивания масла. Днище бака имеет форму усеченного конуса.

Конструкция стенда включает установку охлаждения рабочей жидкости, управление которой осуществляется электроконтактным термометром.

Установочная рама служит для монтажа на ней испытываемых гидроцилиндров. Кроме того, к ней крепятся гидропанели с гидравлической аппаратурой, с помощью которых настраиваются скорость перемещения поршней и давление в каждой из пяти независимых друг от

друга гидросистем, аналогичных изображенной на рис. 2.8. Таким образом, стенд позволяет испытывать одновременно десять цилиндров. Испытываемые цилиндры соединены между собой попарно. Каждый из них попеременно в зависимости от направления движения поршня выполняет функции то рабочего цилиндра, то нагрузочного.

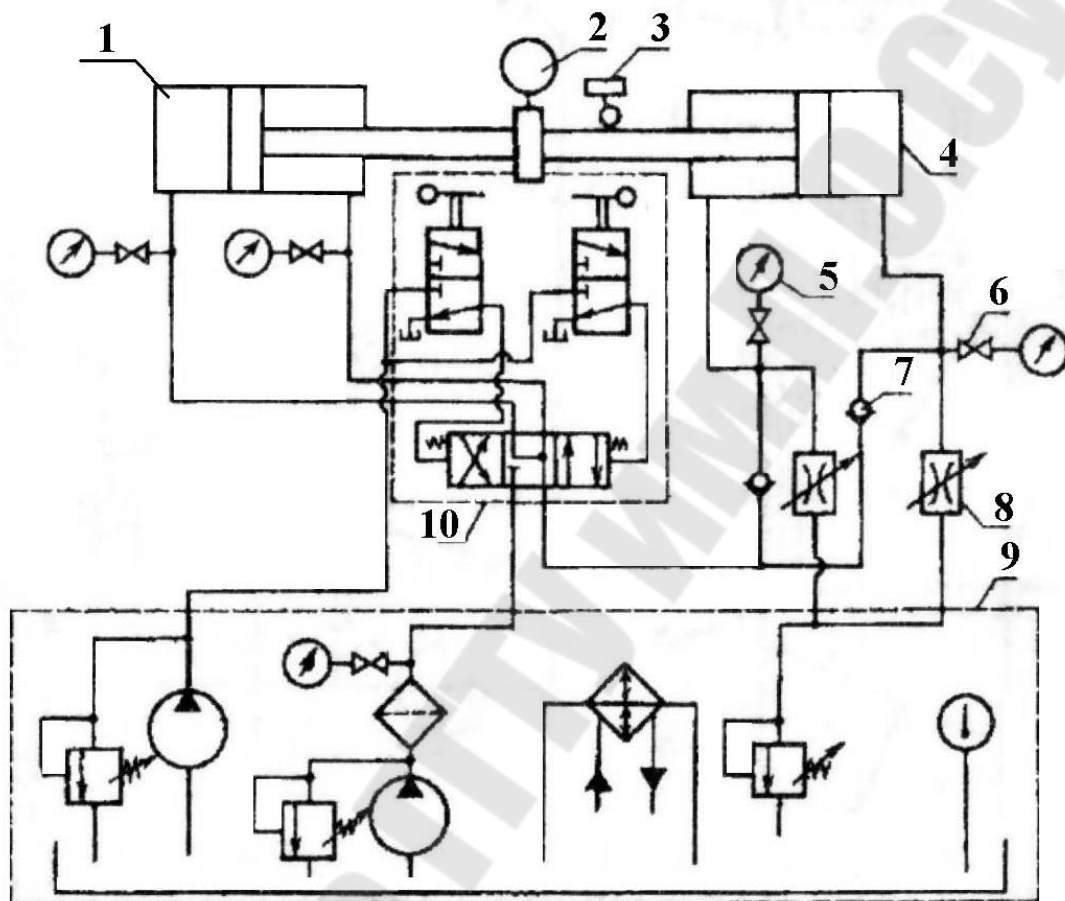


Рисунок 2.8. Схема стенда для ресурсных испытаний гидроцилиндров. 1 - испытуемый гидроцилиндр; 2 - динамометр; 3 - выключатель; 4 - гидроцилиндр нагрузочный; 5 - манометр; 6 - кран-демпфер; 7 - обратный гидроклапан; 8 - дроссель; 9 - насосная станция; 10 - гидрораспределитель с механогидравлическим управлением.

Масло из бака поступает в насос, а затем по трубопроводу подается к реверсивному золотнику. Давление в системе регулируется с помощью напорного золотника. При крайнем положении реверсивного золотника масло по трубопроводу поступает в правую полость цилиндра 1. Масло из левой полости этого же цилиндра через напорный золотник сливается в бак. При перемещении поршней обоих цилиндров масло из левой полости цилиндра 2 через реверсивный золотник и дроссель сливается в бак. Одновременно с этим масло под давлением (3-5 кгс/см<sup>2</sup>), настроенным редуцирующим клапаном, через обратный кла-

пан заполняет правую полость цилиндра. В конце хода поршня происходит реверсирование движения в результате воздействия упоров управления на рукоятку крана. При обратном ходе поршня масло из правой полости цилиндра 2 под давлением, настраиваемым напорным золотником, сливается в бак и одновременно через редукционный клапан и обратный клапан заполняет левую полость цилиндра 1. Рабочая нагрузка создается дросселем.

**Оборудование для исследований работоспособности элементов гидрообъемных передач.** Для проведения испытаний элементов гидромашин используется специальный стенд (рис. 2.9). Привод стенда осуществляется от трехфазного асинхронного электродвигателя с закрытым обдувом и короткозамкнутым ротором, мощностью 100 кВт и частотой вращения 1475 об/мин. Электродвигатель рассчитан для работы при температуре окружающей среды до 40°C и по уровню вибрации соответствует второму классу.

Вал электродвигателя посредством упругой втулочно-пальцевой муфты соединен с валом аксиально-поршневого насоса, реверсивного, регулируемого, с наклонной шайбой. Давление на выходе насоса до 350 кгс/см<sup>2</sup>, рабочий объем 100 см<sup>3</sup>. Давление на входе обеспечивается насосом подпитки.

Насос шлангами высокого давления гидравлически связан с аксиальнопоршневым нерегулируемым гидромотором.

Частота вращения вала насоса и гидромотора соответствует частоте вращения электродвигателя, т.е. 1475 об/мин. Минимальная частота вращения гидромотора 25 об/мин.

Выходной вал гидромотора соединен с электротормозом также посредством упругой втулочно-пальцевой муфты.

Электромагнитный порошковый тормоз серии ПТ-М предназначен для создания изменяющихся по заданному закону нагрузок на вращающихся валах машин при испытании на прочность, жесткость, износостойкость, а также при исследовании динамических характеристик. С помощью тормоза можно удерживать валы от вращения точно установленным моментом. В конструкции тормоза ПТ-М использован принцип действия электромагнитных муфт, т.е. эффект возникновения сопротивления сдвигу в свободном ферромагнитном порошке при наложении на него магнитного поля.

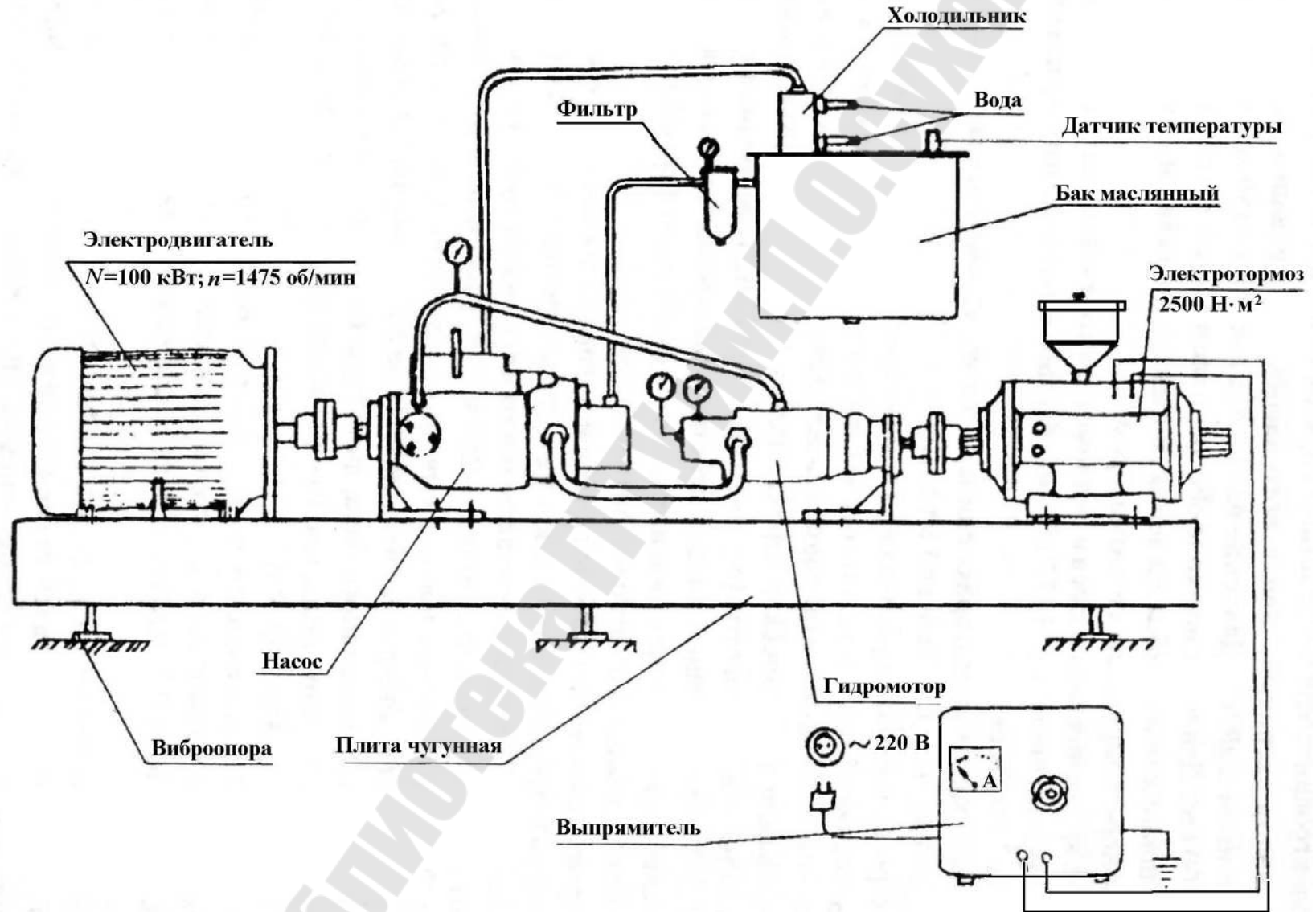


Рисунок 2.9. Стенд для испытаний элементов гидромашин



В тормозах в качестве рабочей смеси используется смесь ферромагнитного порошка (карбонильное железо с размерами частиц 1,5...3,5 мкм) и минерального масла. В системе охлаждения тормоза используется вода. Электротормоз имеет тормозной момент 0-2,5 кН·м, рассеиваемую мощность до 50 кВт. Электродвигатель, насос, гидромотор и электротормоз монтируются на чугунной плите, которая устанавливается на виброопорах. Масло, поступающее в систему из масляного бака, фильтруется. В бак масло поступает через холодильник, где охлаждается. Выпрямитель предназначен для задания нагрузки электротормозу.

Во время работы стенда, после того, как масло в баке нагреется до 50°C, давление на сливе должно быть 2,5 кгс/см<sup>2</sup>, давление на всасывании по вакуумметру должно быть 0,25 кгс/см<sup>2</sup>, давление подпитки должно равняться 12-13 кгс/см<sup>2</sup>.

Торцовый распределитель насоса оснащен датчиками напряжений, температур и зазоров и установлен взамен серийного с выводом электропроводов из корпуса насоса через герметизирующий сальник к разъему и далее к усилителю и осциллографу.

В линии высокого и низкого давления и в линии подпитки установлены тензометрические датчики давления для записи пульсирующего давления в замкнутом силовом контуре передачи. Визуально давление контролируется с помощью манометров.

Для измерения температуры в замкнутом силовом контуре в линию низкого давления и в корпус насоса установлены электротермометры с измерительными головками, а в баке установлен ртутный термометр. В измерительной схеме использован осциллограф с блоком питания и тензометрический усилитель.

### **Задание 3. Обработка и анализ результатов экспериментальных исследований**

При выполнении данного задания необходимо руководствоваться нижеприведенными методическими указаниями и исходными данными индивидуального задания табл. 5.3.

Ускоренные стендовые и полигонные испытания позволяют эффективно выявлять производственные дефекты, влияющие на надежность. При соблюдении методических правил лабораторные и полигонные испытания дают обширную и достоверную информацию о надежности гидро- и пневмоприводов гораздо быстрее и раньше, чем экс-

платация. Когда информация, полученная при данных испытаниях, не является исчерпывающей, то она должна дополняться результатами последующих эксплуатационных испытаний.

Современные насосы, гидромоторы, контрольно-регулирующая аппаратура и другие гидравлические устройства способны работать в условиях эксплуатации в течение нескольких тысяч часов. Кроме того, значительное рассеяние данных эксплуатационных исследований снижает достоверность полученных результатов. Все это сильно усложняет получение необходимой информации, задерживает на годы доводку новых типов устройств, их модернизацию, а также проверку и внедрение в производство предложений по повышению износостойкости деталей и узлов гидроагрегатов.

Для проведения ускоренных испытаний на долговечность гидравлических устройств в зависимости от конкретных условий их изготовления и эксплуатации приемлемы следующие три метода:

- 1) использование известных зависимостей, характеризующих работоспособность изделия;
- 2) форсирование режима;
- 3) моделирование.

Первый метод предусматривает проведение испытаний на долговечность партии изделий и получение зависимостей изменения основных оценочных параметров от времени испытаний. Затем предполагается использовать полученные зависимости для определения количественных показателей надежности и долговечности данного типа устройств без проведения длительных испытаний. Этот метод применим для ускоренного определения показателей надежности и долговечности гидроустройств с учетом того, что налажено их массовое производство, а при изготовлении сохраняется стабильность технологического процесса и достигнута высокая культура производства.

Для экспериментального определения необходимых зависимостей, характеризующих работоспособность насосов, применялся следующий методологический подход.

Между скоростью изменения подачи насоса и величиной накопленного износа основных его деталей существует сложная корреляционная зависимость, которая нам часто неизвестна. В первом приближении зависимость можно выразить с помощью функции вида:

$$\frac{dq}{dt} = c + Kq, \quad (3.1)$$

где  $q$  - подача насоса;  $t$  - время работы насоса;  $c$  и  $K$  - константы.

Путем несложных преобразований получаем уравнение:

$$q = (q_1 + h) \cdot 10^{(t-t_1)/A} - h, \quad (3.2)$$

где  $t$  - некоторое фиксированное время;  $q_1$  - среднее изменение за время  $t_1$ . Работу насосов исследуем на протяжении двух этапов:  $t_1$  и  $t_2 - t_1$ . Константы  $A$  и  $h$  при этом определяются из выражений:

$$A = \frac{t_2 - t_1}{\lg(S_2/S_1)}; \quad (3.3)$$

$$h = \frac{q_2 - q_1(S_2/S_1)}{(S_2/S_1) - 1}, \quad (3.4)$$

где  $S_1$  - среднее квадратическое отклонение первого распределения;  $S_2$  - среднее квадратическое отклонение второго распределения.

В основе второго метода лежит проведение ускоренных испытаний гидроустройств путем форсирования одной из нагрузок (параметров) или комбинаций нескольких форсированных параметров. Методика определения значений форсируемых параметров для гидравлических устройств, которые вышли из строя из-за износа основных деталей состоит в следующем.

На первом этапе работы устанавливается вид износа, особенности и закономерности изнашивания основных деталей устройств в условиях эксплуатации и обычных стендовых испытаний.

Исследования по этому этапу включают:

- 1) изучение поверхности контакта исследуемых деталей после их изготовления или ремонта;
- 2) получение данных об условиях работы деталей (скорость скольжения, удельные давления, температуры, вибрации, среда и т.п.);
- 3) определение основных характеристик развития процессов изнашивания деталей гидроустройств (интенсивность износа, графики, эпюры и диаграммы, характеризующие особенности изнашивания; профилограммы и рентгенограммы поверхностного слоя деталей, структура поверхностей трения, остаточные напряжения и т.п.);
- 4) установление вида износа.

Следующим этапом является определение предельных значений загрязненности рабочей жидкости абразивом, величины давления в системе, скорости подвижных деталей, температуры рабочей жидкости, вибраций и др. Под предельным значением перечисленных параметров подразумевается такое их значение, при котором физическая картина процесса изнашивания деталей еще аналогична полученной при обычных эксплуатационных испытаниях; вид износа деталей при форсированных и обычных испытаниях должен быть одним и тем же.

Величины предельных значений параметров определяются путем проведения предварительных испытаний узлов. При этом значение определенного параметра постепенно увеличивается от номинального до тех пор, пока не изменяется характер износа элементов устройства. О характере износа деталей можно судить по результатам их периодических обследований, которые проводят в соответствии с программами работ по пунктам 3) и 4) первого этапа. При этом необходимо производить разборку агрегата. Частые разборки при проведении данных исследований нежелательны, поскольку после каждой сборки детали в определенной степени снова проходят процесс приработки. Чтобы избежать этого, необходимо увеличить интервал между разборками (доведя их до двух-трех за период испытаний), а в промежутках между ними проводить постоянный, очень тщательный контроль за температурой отдельных узлов, деталей и рабочей жидкости, степенью загрязненности и изменением физических параметров рабочей жидкости, уровнем вибрации узлов, а также уровнем шума и акустическим спектром.

Контроль указанных параметров позволит в некоторой степени определить момент появления признаков качественного изменения характера износа деталей, не производя разборки агрегата.

Основываясь на опыте эксплуатации и специальных испытаний гидравлических устройств, в качестве основного параметра, с помощью которого следует проводить форсирование их режима работы, можно рекомендовать степень загрязненности рабочей жидкости механическими примесями. Форсирование режима по остальным параметрам (давление, температура, скорость и вибрации) целесообразно проводить в комплексе с форсированием в условиях определенной загрязненности рабочей жидкости.

Интенсивность износа деталей и увеличение утечек жидкости с ростом абсолютных величин перечисленных параметров будут увеличиваться. Это объясняется следующими причинами:

1) с ростом давления нагнетания увеличивается удельная нагрузка на поверхности деталей, а следовательно, и на абразивные частицы, имеющиеся в рабочей жидкости; в связи с ростом давления и, соответственно, увеличением утечек жидкости повышается количество абразивных частичек, проникших в зазор;

2) с увеличением скорости подвижных деталей возрастает скорость их износа;

3) при увеличении температуры рабочей жидкости изменяются ее физические свойства (уменьшается вязкость, ухудшаются смазочные

свойства и т.п.), что способствует увеличению интенсивности износа деталей;

4) при работе агрегата в условиях вибраций скорость износа его деталей может увеличиваться в десятки раз по сравнению с условиями, при которых вибрации отсутствуют.

Третий метод (моделирование) предполагает получение количественных показателей надежности и долговечности гидроустройств по результатам исследования их моделей (электрических, электронных, механических и др.).

Применение методов моделирования в исследованиях надежности гидроприводов машин заслуживает большого внимания, поскольку они сулят целый ряд очень важных преимуществ: быстроту получения результатов, неограниченные возможности варьирования исследуемых параметров, возможность применения строгого математического аппарата и т.д.

Основной недостаток третьего метода заключается в том, что в модели никогда невозможно учесть все многообразие эксплуатационных, производственных и других факторов, которые оказывают влияние на характеристики исследуемого объекта. По этой причине модели, а следовательно, и результаты, полученные при их исследовании, получаются приближенными. Особого внимания заслуживает применение методов математического планирования экспериментов (МПЭ) с целью моделирования процессов функционирования гидравлических и пневматических устройств в системе.

Обработка и анализ результатов экспериментальных исследований может быть выполнено с использованием статистических, вероятностно-статистических методов анализа экспериментальных данных, изученных в дисциплине «Математическое моделирование производственных процессов».

Выполнить математическую обработку результатов испытаний в соответствии с заданием (таблица 5.3) в следующей последовательности:

1. Рассчитать среднее арифметическое значение для наработки  $t_1$ .
2. Рассчитать среднее арифметическое значение для наработки  $t_2$ .
3. Рассчитать среднее квадратическое отклонение превого распределения  $S_1$  для наработки  $t_1$  и  $t_2$ .

4. Рассчитать среднее квадратическое отклонение превого распределения  $S_2$  для наработки  $t_2$ .
5. Рассчитать константу  $A$  по уравнению (3.3).
6. Рассчитать константу  $h$  по уравнению (3.4)
7. Получить корреляционное уравнение, подставив значения расчетных значений по п. 1-6 в уравнение (3.2).
8. Построить график изменения подачи от времени по уравнению (3.2), как функцию от времени  $q = f(t)$ .

#### Задание 4. Оформление журнала испытаний

Для выполнения данного задания необходимо выполнить задания 1-3. При выполнении данного задания необходимо руководствоваться следующими основными положениями и примером оформления журнала испытаний.

Приступая к исследованиям, экспериментатор должен обратить серьезное внимание на подготовку и организацию проведения экспериментальных работ. Жесткие требования к точности контроля исследуемых параметров, к выбору объектов испытаний, подготовке испытательного оборудования обусловлены теорией планирования эксперимента. Только тогда можно с успехом использовать методологию и аппарат математического планирования экспериментов, когда исследователь гарантирует высокую точность контроля всех исследуемых факторов, представительность выборки исследуемых объектов, исключение систематических погрешностей при испытаниях.

Оборудование, которое используется при проведении активного эксперимента, должно позволять не только точно контролировать параметры исследуемых устройств, но и обеспечивать управление ими в выбранных пределах.

Проверку и тарировку измерительных приборов и аппаратуры необходимо производить перед каждым экспериментом.

Журнал испытаний должен быть также заранее подготовлен в соответствии с методикой и планом опытов. Здесь должны быть приведены результаты предварительных расчетов, перечислены исследуемые факторы с указанием единиц измерения, а также помещена таблица уровней факторов и пределов их изменения. Журнал должен содержать также данные обмеров деталей, предварительных испытаний устройств, анализы масел и т.п. Матрица планирования должна предполагать возможность записи результатов повторных опытов, примечаний.

В качестве примера приведем образец оформления журнала испытаний при исследовании работоспособности предохранительных клапанов гидравлических систем.

Планирование эксперимента с целью исследования влияния эксплуатационных факторов на работоспособность предохранительных клапанов гидравлических систем

Цель исследования: Определение степени влияния эксплуатационных факторов на изменение технических характеристик предохранительных клапанов в процессе их испытаний.

Объект исследования.

Клапан предохранительный с переливным золотником типа Г52-1 [1].

Назначение: предохранение гидросистемы от перегрузки давлением и разгрузки от давления с помощью дистанционного управления.

При описании конструктивных особенностей необходимо привести эскиз исследуемого аппарата или машины с описанием принципа его действия и назначения отдельных элементов конструкции.

Критерии работоспособности. В качестве критериев работоспособности необходимо выбрать такие параметры, которые наиболее полно отражают особенности эксплуатации и работоспособность в период эксплуатации, обозначаются  $Y$ .

Например, для клапана типа Г52-1 таковыми являются следующие:

$Y_1$ , - изменение утечек в золотниковой паре за период наработки  $2 \cdot 10^4$  циклов в режиме разгрузочного клапана ( $\text{см}^3/\text{мин}$ );

$Y_2$  - абсолютный износ золотника за период наработки  $2 \cdot 10^4$  циклов в режиме разгрузочного клапана (мкм).

Результаты предыдущих испытаний.

Анализ результатов предварительных испытаний и опыта эксплуатации предохранительных клапанов подтверждает нормальное распределение значений выбранных критериев при различных наработках. Изменение критериев в процессе эксплуатации зависит, прежде всего, от длительности работы, давления в системе, температуры рабочей жидкости и наличия в ней загрязнений.

Исследуемые факторы. В качестве исследуемых факторов выбираются такие параметры, которые определяют работоспособность испытуемого образца. Например, для клапана типа Г52-1 таковыми являются следующие:

$X_1$  - давление в системе ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ );

$X_2$  - температура рабочей жидкости ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $X_3$  - наличие в жидкости загрязнителя (мкм).

Описание испытательного стенда. Описание испытательного стенда должно быть выполнено в соответствии с заданием 2 контрольной работы и содержать следующие технические характеристики:

1. Давление в нагнетательной магистрали,  $\text{кгс}/\text{см}^2$ ;
2. Мощность привода, кВт;
3. Число оборотов привода, об/мин;
4. Рабочая жидкость – название (ГОСТ).

При описании состава стенда необходимо указать используемую контрольно измерительную и регистрирующую аппаратуру, а так же средства обеспечивающие регулирование исследуемых факторов.

Например:

Стенд оборудован устройствами для очистки, перемешивания и регулирования температуры рабочей жидкости. Давление в системе регулируется с помощью специального дросселя, а измеряется манометром типа МКО-100 (класс 0,5). Число оборотов вала насоса измеряется с помощью фотоэлектрического устройства и прибора типа ПС-100. Температура масла измеряется на входе в насос с помощью термометра ТЛ-20 (цена деления шкалы -  $0,1^{\circ}\text{C}$ ). В системе измерений используется секундомер типа ПВ-53Л.

Для дистанционного управления разгрузкой системы используется золотник с управлением от электромагнита. Цикличность работы клапана обеспечивается специальным программным устройством типа ВС10-32. Для измерения утечек в клапане используется мерная посуда.

Загрязнение рабочей жидкости. Жидкость предварительно очищают с помощью фильтровальной станции (степень очистки 8-12 мкм). Для загрязнения жидкости вводится микропорошок М14 (ГОСТ 3647-59). Концентрация загрязнителя-  $5 \cdot 10^4$  % от веса жидкости в системе.

Уровни факторов и пределы их изменения, выбираются с учетом технической характеристики исследуемого образца и опыта его эксплуатации. При этом указываются значения только исследуемых факторов, которые сводятся в таблицу.

Пример оформления таблицы уровней и пределов измерения исследуемых факторов при испытании клапана предохранительного с переливным золотником типа Г52-1 приведен в таблице 3.1.



Проведение эксперимента и описание результатов экспериментов. (При выполнении контрольной работы не выполняется).

Значения зависимых переменных определяются по результатам параллельных опытов. Всего подвергается испытаниям  $n$ -е количество образцов. Результаты испытаний оформляются в виде матрицы планирования и результатов экспериментов. Образцам, используемым для повторных опытов, присваиваются номера. Для исключения влияния систематических ошибок, вызванных внешними условиями и так называемыми организационными факторами, выбирается случайная последовательность проведения экспериментов (рандомизация во времени), с использованием таблицы случайных чисел. Замеры, которые проводятся в процессе испытаний, заносятся в отдельные таблицы для каждого испытуемого образца.

Таблица 3.1 Значения уровней и пределов измерения

Параметры	$X_1$ , давление в системе, кгс/см <sup>2</sup>	$X_2$ , температура рабочей жидкости, °С	$X_3$ , наличие в жидкости загрязнителя, мкм
Основной уровень	40	50	(M14-) 0,0005
Интервал измерения	20	10	
Верхний уровень	60	60	
Нижний уровень	20	40	

#### 4. Литература.

1. Станочные гидроприводы : справочник / В. К. Свешников. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2004. – 511 с.
2. Исследования и испытания гидропневмосистем машин: Учебно-методическое пособие для вузов / Б.Ю. Желтовский, М.Г. Халамонский, В.С. Шевченко. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 204 с.
3. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмосистем: Учеб. пособие/ Н.В. Богдан, П.Н. Кишкевич, В.С. Шевченко; Под ред. Н.В. Богдана. - Мн.: Ураджай, 2001. – 396 с.: илл.
4. Регулирующие и направляющие клапаны: лаб.практикум по

курсу «Элементы управления и регулирования гидропневмосистем» для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / Д.Л.Стасенко, В.В.Пинчук. – Гомель: ГГТУ им.П.О.Сухого, 2009. – 39 с.

5. Каталог продукции ПО «МТЗ» РУП «ГЗ Гидропривод», 2009. – 76 с.
6. Каталог продукции «Diplomatic oleodinamica SpA», 2007.

## 5. Варианты исходных данных к заданиям

Таблица 5.1

№ варианта	Вид испытаний	Основные оцениваемые параметры	Способы и планы испытаний
<b>насосы</b>			
1	Предварительные	Рабочий объем, давление, частота вращения вала, герметичность	Обкаточные
2	Функциональные	Рабочие параметры, регулировочные диапазоны, виброакустические характеристики	В номинальном режиме, по состоянию
3	Ресурсные	Ресурс, надежность, температурный режим, рабочие параметры во времени, КПД	В номинальном режиме, ускоренные, по наработке, по состоянию
4	Эксплуатационные	Общетехническое состояние, ремонтпригодность	по наработке, по состоянию
5	Стендовые	Общетехническое состояние, виброакустические характеристики, рабочие параметры, время реверса, ресурс, пульсация давления, давление на входе, регулировочные диапазоны, надежность	В номинальном режиме, ускоренные, по наработке, по состоянию, климатические, специальные
6	Приемно-сдаточные, периодические	Рабочие параметры – соответствие ТУ	В номинальном режиме
<b>Моторы (двигатели)</b>			
7	Предварительные	Общетехническое состояние, герметичность	Обкаточные
8	Функциональные	Рабочие параметры, регулировочные диапазоны, виброакустические характеристики, быстродействие, скорость и плавность движения выходного звена	В номинальном режиме, по состоянию

9	Ресурсные	Ресурс, рабочие параметры во времени, кпд	В номинальном режиме, ускоренные, по ресурсу, по состоянию
10	Эксплуатационные	Общетехническое состояние, ремонтпригодность, надежность	по наработке, по состоянию, климатические, обкаточные
11	Стендовые	виброакустические характеристики, рабочие параметры, ресурс, пульсация давления, давление на входе, регулировочные диапазоны, быстродействие, скорость и плавность движения выходного звена, кпд	В номинальном режиме, климатические, специальные
12	Приемно-сдаточные, периодические	Рабочие параметры – соответствие ТУ	В номинальном режиме, ускоренные
<b>Распределительная и контрольно-регулирующая аппаратура</b>			
13	Предварительные	Общетехническое состояние, герметичность	обкаточные
14	Функциональные	Рабочие параметры, время реверса, регулировочные характеристики и режимы настройки, герметичность, время и давление срабатывания	В номинальном режиме, по состоянию
15	Ресурсные	Ресурс, рабочие параметры и характеристики как функция времени	В номинальном режиме, ускоренные, по наработке, по состоянию
16	Эксплуатационные	Общетехническое состояние, надежность, ремонтпригодность	По наработке, по состоянию, климатические, обкаточные
17	Стендовые	Рабочие параметры, регулировочные характеристики, ресурс, время реверса, плавность регулирования и диапазоны настройки, динамические характеристики	В номинальном режиме, ускоренные, климатические, специальные
18	Приемно-сдаточные	Рабочие параметры - соответствие ТУ	В номинальном режиме
19	Периодические	Рабочие параметры - соответствие ТУ	В номинальном режиме
20	Типовые	Рабочие параметры – влияние конструктивных и технологических изменений	В номинальном режиме, ускоренные, специальные

Таблица 5.2

№ варианта Тип устройства	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Насосы [1,6]	GP1-0020	GP2-0140	GP3-0225	1P-2,5	1P-7,5	IGP3-008	DFP1-05	PVA-45	PVE-016
Моторы, цилиндры [1,6]	PGP/P GM50 5	PGP/P GM62 0	V14-110 W40x2 x18x9 g	T12-80 W35x2 x16x9 g	MDR-63/36/36-1300-BC-A-0-0/1	MDR-32/16-200-BD-A-1-1/1	HC2C-40/22/W-1000-K-0-0-22/1/2 0	HC2D-25/12/X-800-K-0-0-11/1/2 0	HC3A-100/63-1200-K-0-0-11/1/1 0
Распределители [1,5,6]	PGE-6/3 14	DSH3-SK2/1 0N/Y	PGE-6/3 24	DSH5-SA3/1 0N/Y	DSA3-S/10N/Y	ПГ-10/2 44	DSA5-TA/10 N/Y	DSC3-S3/10 N/Y	DSC5-SB2/1 0N/Y
Клапаны [1,4-5]	CR3/2 2/N	КОМ 10/3 А	RM3/W/4/M 1	RM2/W/5/3 1/К	БПВ-16 КО	RQ5-P5/41	RQR3-P/3/1/M/40	RQA5-P/6/2/M/40	RQRM 3-P/5/1/A/50-D24K1
Дроссели, регуляторы расхода [1,4-6]	RSN6-3/30	БПВ – 6П	БПВ-10П (РПМ-102)	ДКМ 10/3 А	БПВ-6ДР	RPC1-4/C/T/X/41	БПВ-16П	RPC2-C/T/22 /M/31	БПВ-16ДР

Таблица 5.3

№ варианта	$t_1 / t_2$ Время работы, час	$q, \text{см}^3/\text{об}$											
		1	500	0,89	1,13	0,15	0,8	1,86	1,34	1,86	0,89	0,5	0,58
	1500	1,3	1,66	0,42	2,39	3,66	4,33	2,08	1,08	0,74	0,38	0,7	1,71
2	100	0,31	0,23	0,03	0,09	0,35	0,24	0,34	0,11	0,1	0,12	0,091	0,31
	1000	0,99	1,12	0,33	0,9	3,01	3,82	1,52	0,32	0,28	0,31	0,22	0,92
3	200	0,62	0,46	0,3	0,18	0,71	0,48	0,64	0,22	0,2	0,24	0,18	0,62
	800	2,41	1,62	1,21	0,78	2,69	1,71	2,47	0,88	0,8	0,96	0,62	2,11
4	300	0,93	0,69	0,09	0,27	1,15	0,72	0,99	0,33	0,3	0,36	0,27	0,93
	1000	0,99	1,12	0,33	0,9	3,01	3,82	1,52	0,32	0,28	0,31	0,22	0,92
5	400	1,2	0,81	0,61	0,42	1,38	0,89	1,24	0,44	0,4	0,48	0,31	1,05
	1300	1,2	1,46	0,39	2,12	3,08	3,89	1,89	0,92	0,61	0,51	0,52	1,48
6	500	0,89	1,13	0,15	0,8	1,86	1,34	1,86	0,89	0,5	0,58	0,33	1,32
	1700	1,51	1,87	0,68	2,56	3,89	4,51	2,25	1,28	0,94	0,78	0,94	1,94
7	100	0,31	0,23	0,03	0,09	0,35	0,24	0,34	0,11	0,1	0,12	0,091	0,31
	900	0,89	1,02	0,23	0,82	2,91	3,73	1,44	0,22	0,2	0,26	0,12	0,83

Окончание табл. 5.3

8	200	0,62	0,46	0,3	0,18	0,71	0,48	0,64	0,22	0,2	0,24	0,18	0,62
	1100	0,99	1,12	0,33	0,9	3,01	3,82	1,52	0,32	0,28	0,31	0,22	0,92
9	300	0,93	0,69	0,09	0,27	1,15	0,72	0,99	0,33	0,3	0,36	0,27	0,93
	1500	1,3	1,66	0,42	2,39	3,66	4,33	2,08	1,08	0,74	0,38	0,7	1,71
10	400	1,2	0,81	0,61	0,42	1,38	0,89	1,24	0,44	0,4	0,48	0,31	1,05
	1000	0,99	1,12	0,33	0,9	3,01	3,82	1,52	0,32	0,28	0,31	0,22	0,92
11	500	0,89	1,13	0,15	0,8	1,86	1,34	1,86	0,89	0,5	0,58	0,33	1,32
	1800	1,61	1,97	0,78	2,66	3,99	4,61	2,35	1,38	1,04	0,88	1,02	2,01
12	600	0,99	1,23	0,25	0,9	1,96	1,44	1,96	0,99	0,63	0,68	0,43	1,42
	2000	1,88	2,24	0,66	1,8	6,02	7,6	3,04	0,64	0,61	0,64	0,48	1,84
13	100	0,31	0,23	0,03	0,09	0,35	0,24	0,34	0,11	0,1	0,12	0,091	0,31
	400	1,2	0,81	0,61	0,42	1,38	0,89	1,24	0,44	0,4	0,48	0,31	1,05
14	200	0,62	0,46	0,3	0,18	0,71	0,48	0,64	0,22	0,2	0,24	0,18	0,62
	600	0,99	1,23	0,25	0,9	1,96	1,44	1,96	0,99	0,63	0,68	0,43	1,42
15	300	0,93	0,69	0,09	0,27	1,15	0,72	0,99	0,33	0,3	0,36	0,27	0,93
	900	0,89	1,02	0,23	0,82	2,91	3,73	1,44	0,22	0,2	0,26	0,12	0,83
16	400	1,2	0,81	0,61	0,42	1,38	0,89	1,24	0,44	0,4	0,48	0,31	1,05
	1200	1,09	1,22	0,65	1,02	3,11	3,92	1,62	0,48	0,63	0,52	0,37	1,22
17	500	0,89	1,13	0,15	0,8	1,86	1,34	1,86	0,89	0,5	0,58	0,33	1,32
	1600	1,41	1,77	0,78	2,46	3,69	4,11	2,05	1,18	0,85	0,67	0,83	1,83
18	600	0,99	1,23	0,25	0,9	1,96	1,44	1,96	0,99	0,63	0,68	0,43	1,42
	1800	1,61	1,97	0,78	2,66	3,99	4,61	2,35	1,38	1,04	0,88	1,02	2,01
19	100	0,31	0,23	0,03	0,09	0,35	0,24	0,34	0,11	0,1	0,12	0,091	0,31
	600	0,99	1,23	0,25	0,9	1,96	1,44	1,96	0,99	0,63	0,68	0,43	1,42
20	200	0,62	0,46	0,3	0,18	0,71	0,48	0,64	0,22	0,2	0,24	0,18	0,62
	1000	0,99	1,12	0,33	0,9	3,01	3,82	1,52	0,32	0,28	0,31	0,22	0,92
21	300	0,93	0,69	0,09	0,27	1,15	0,72	0,99	0,33	0,3	0,36	0,27	0,93
	1450	1,3	1,66	0,42	2,39	3,66	4,33	2,08	1,08	0,74	0,38	0,7	1,71
22	400	1,2	0,81	0,61	0,42	1,38	0,89	1,24	0,44	0,4	0,48	0,31	1,05
	1900	1,71	2,07	0,88	2,76	4,09	4,71	2,45	1,48	1,14	0,98	1,12	2,11
23	500	0,89	1,13	0,15	0,8	1,86	1,34	1,86	0,89	0,5	0,58	0,33	1,32
	2200	2,08	2,44	0,86	2,01	6,22	7,81	3,24	0,84	0,81	0,84	0,68	2,04
24	600	0,99	1,23	0,25	0,9	1,96	1,44	1,96	0,99	0,63	0,68	0,43	1,42
	2500	2,38	2,74	1,16	2,31	6,52	7,82	3,54	1,14	1,11	1,14	0,98	2,34
25	700	1,09	1,33	0,35	1,01	2,06	1,54	2,06	1,09	1,21	1,24	1,08	1,52
	3000	2,6	2,99	0,84	4,78	7,22	8,66	4,16	2,16	1,48	1,72	1,43	3,42

**Стасенко Дмитрий Леонидович**

**ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ  
ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ**

**Методические указания  
к контрольным работам по одноименному курсу  
для студентов специальности 1-36 01 07  
«Гидропневмосистемы мобильных и технологических  
машин» заочной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 29.09.2010

Рег. № 19Е.

E-mail: [ic@gstu.by](mailto:ic@gstu.by)

<http://www.gstu.by>