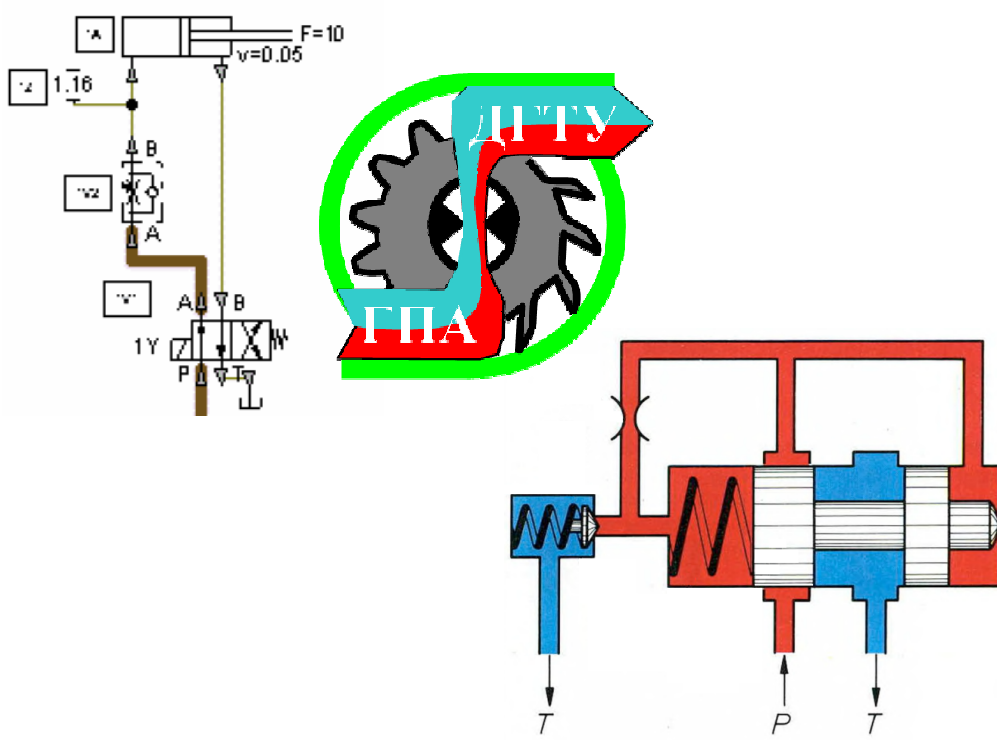


В.С. Сидоренко, М.С. Полешкин,
В.И. Грищенко

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по дисциплине

«Гидропривод и средства автоматики»



Ростов-на-Дону

2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.С. Сидоренко, М.С. Полешкин, В.И. Грищенко

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по дисциплине

«Гидропривод и средства автоматики»

Ростов-на-Дону

2015

УДК 621.651.69(07)

С34

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *А.В. Анисимов*

кандидат технических наук, доцент *В.И. Антоненко*

Сидоренко В.С.

С34 Лабораторный практикум по дисциплине «Гидропривод и средства автоматизации» [Электронный ресурс] / В.С. Сидоренко, М.С. Полешкин, В.И. Грищенко; Дон. гос. техн. ун-т. – Электрон. текстовые дан. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2015. – 88 с. – Режим доступа: <http://www.ntb.donstu.ru/content/2015243>. – ЭБС ДГТУ, по паролю.

ISBN 978-5-7890-1036-5

Даны методические рекомендации к лабораторным работам по основным разделам дисциплины «Гидропривод и средства автоматизации»: изучение элементной базы, принципы работы, способы и средства управления гидроприводом, методы расчета и построения основных характеристик гидросистем. Приведены краткие теоретические сведения, а также вопросы для самостоятельной подготовки.

Предназначен студентам 2-го и 3-го курсов очной и заочной форм обучения по направлению 141100 «Энергетическое машиностроение» и 222000 «Инноватика».

УДК 621.651.69(07)

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор

доктор технических наук, профессор М.Э. Шошиашвили

© Сидоренко В.С., Полешкин М.С.,
Грищенко В.И., 2015

ISBN 978-5-7890-1036-5

© Издательский центр ДГТУ, 2015

Введение

Современный уровень общественного производства и его дальнейшее развитие неразрывно связаны с интенсификацией рабочих процессов машин и агрегатов, внедрением автоматизированных комплексов технологического оборудования со многими исполнительными движениями. В этих условиях возникает необходимость создания новых и совершенствования действующих автоматизированных приводов, отвечающих все возрастающим требованиям повышения быстродействия, точности, надежности и экономичности техники [3].

Одним из перспективных направлений решения задачи является насыщение технологического оборудования системами гидропривода и гидропневмоавтоматики [18]. Так, применение гидроприводов в металлообрабатывающем оборудовании позволяет упростить кинематику станков, улучшить массогабаритные характеристики, повысить уровень автоматизации исполнительных механизмов, улучшить их динамическое качество.

Широкое использование гидропривода обусловлено его существенными преимуществами в сравнении с другими типами приводов и, прежде всего, возможностью получения больших усилий, крутящих моментов и мощностей при ограниченных габаритах гидродвигателей. Другие преимущества гидропривода – простота преобразования и передачи энергии, высокие удельная напряженность силового потока и динамические характеристики в переходных режимах, бесступенчатое регулирование скорости движения, автоматическая защита от перегрузок, высокая жесткость кинематических и нагрузочных характеристик, пожаробезопасность – наиболее полно отвечают тенденциям развития техники и способствуют повышению ее эффективности.

Компактные энергоемкие гидродвигатели легко встраиваются в различные исполнительные механизмы, соединяются трубопроводами с гидроаппаратами и насосной установкой, имеющей один или несколько насосов. Это открывает широкие возможности для автоматизации, контроля и оптимизации рабочих процессов, применения программных, адаптивных и

мехатронных систем управления. Компоновка гидроприводов легко поддается модернизации, состоит главным образом из стандартных, унифицированных гидроаппаратов, серийно выпускаемых отечественными и зарубежными производителями по единому международному классификатору [13, 14].

В этих условиях важное значение приобретают методы поиска, расчета и исследования элементной базы и рациональных схмотехнических решений гидроприводов [9, 10], основанные на знаниях свойств и технических характеристик жидкостей и газов, законов их поведения в гидросистемах, емкостях и резервуарах. Понимание физической сущности гидромеханических процессов, грамотное их моделирование в инженерных задачах позволяют создавать высокоэффективные механизмы и машины на основе технических средств гидропривода и гидроавтоматики при минимальных затратах времени и средств. Практические навыки, полученные в ходе выполнения лабораторного практикума, позволят закрепить знания по дисциплинам «Гидропривод и гидравлические средства автоматизации», «Пневматические средства автоматизации», по анализу и синтезу схмотехнических решений гидропневмопривода и использовать полученные умения и навыки при разработке гидрофицированных технологических машин (станочные системы, кузнечно-прессовое, литейное и сварочное оборудование, технологическая оснастка, промышленные роботы, пищевое оборудование и др.), а также мобильной техники, в частности, сельскохозяйственных и транспортных машин.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ

Изучение теоретического курса дисциплины «Гидропривод и средства автоматизации» обязательно сопровождается выполнением лабораторных работ. Для каждой лабораторной работы предлагаются методические рекомендации, в которых приведены цель, задачи, основные теоретические положения, описание лабораторной установки, методика проведения работы и оформления отчета. При подготовке и выполнении лабораторных работ, а также при их защите следует уделить внимание сущности протекающих процессов, руководствоваться методическими указаниями и рекомендованной литературой.

Конкретные численные значения исходных данных для выполнения работы дает руководитель занятий. При обработке результатов эксперимента единицы физических величин приводятся в СИ [17].

Содержание отчета о выполненной лабораторной работе включает следующие пункты:

- 1) Цель и задачи работы.
- 2) Основные теоретические положения и пояснения сущности исследуемых процессов и закономерностей поведения жидкостей и газов.
- 3) Технические средства обеспечения программы исследования, описание экспериментального стенда, измерительных устройств.
- 4) Методика проведения эксперимента, элементы его планирования, таблица исходных данных и результатов измерений.
- 5) Обработка результатов эксперимента, расчеты характеристик по аналитическим и эмпирическим формулам должны быть занесены в соответствующие таблицы.
- 6) Построение графиков исследуемых зависимостей и анализ их вида исходя из физики исследуемых процессов.
- 7) Формулировка основных выводов, поясняющих степень достижения поставленных целей и задач.

8) Оценка качественного и количественного совпадения результатов исследования, рекомендации для повышения точности эксперимента, совершенствования методики проведения работы.

Примечание. Оформление отчета допускается как в рукописном виде, так и в специальных печатных формах, подготовленных кафедрой.

Лабораторный практикум выполняется в специализированной учебно-инженерной лаборатории «Промышленный гидропривод и гидропневмоавтоматика» на универсальных стендах производства ЗАО «ЭКОИНВЕНТ», оснащенных современной элементной базой гидравлических устройств и электрогидроавтоматики (см. прил. 3).

Учитывая многообразие и особенности функционирования технических средств гидропривода и гидроавтоматики (все устройства, гидромагистраль скрыты от визуального наблюдения процессов движения потока и срабатывания устройств), изучение типовых устройств, основ их функционирования осуществляется на специальном стенде «Прозрачная модель». Стенд укомплектован прозрачными моделями типовых гидроаппаратов, подключаемых к компактной насосной установке гидроблоком управления и быстроразъемными шлангами. Благодаря использованию планшетного проектора достигается максимальная визуализация гидромеханических процессов внутри аппаратов.

В связи со спецификой функционирования гидросистем, при выполнении экспериментальной части лабораторных работ следует уделять особое внимание технике безопасности, приведенной в прил. 7.

Важной составляющей отчета является анализ результатов и конкретные выводы. Защита лабораторных работ проводится по мере их выполнения в порядке, предусмотренном в прил. 6. При положительной оценке всех выполненных работ студент получает кафедральный зачет по лабораторному практикуму.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА И СРЕДСТВ ГИДРОАВТОМАТИКИ

Цель работы

1. Изучить основы функционирования, конструкцию, технические характеристики направляющей, регулирующей и силовой гидроаппаратуры.
2. Приобрести практические навыки по разработке, сборке и определению конструктивных параметров основных элементов промышленного гидропривода.
3. Закрепить теоретические знания по разделу «Устройства и элементы гидропривода».

1.1. Краткие теоретические сведения

Гидравлический привод (ГП) и системы гидроавтоматики являются перспективным средством автоматизации производственных процессов. Такие системы имеют ряд преимуществ [1, 3] и открывают большие возможности для создания машин с улучшенными характеристиками.

– При передаче идентичной мощности гидромоторы более компактны (их габариты составляют 12-20 % от габаритов гидродвигателя), менее металлоемки, имеют более высокое быстродействие срабатывания.

– Простота выполнения бесступенчатого регулирования скорости движения и реверсированного прямолинейного движения с плавным разгоном и торможением.

– Автоматическая защита привода от перегрузки, простота смазки, монтажа, обслуживания.

– Способность развивать большие статические усилия и крутящие моменты.

Из недостатков гидравлических систем следует отметить нарушение стабильного режима работы из-за нагрева рабочей жидкости в процессе работы, наличие утечки рабочей жидкости, невозможность соблюдения точных передаточных соотношений, например в резьбонарезных цепях станков. Требуют серьезного изучения вопросы надежности элементов гидропривода и гидроавтоматики.

На рис.1 представлена структурная и принципиальная схемы типового гидропривода [26] подачи сверлильной головки, поясняющая принцип действия и взаимосвязь элементов ГП.

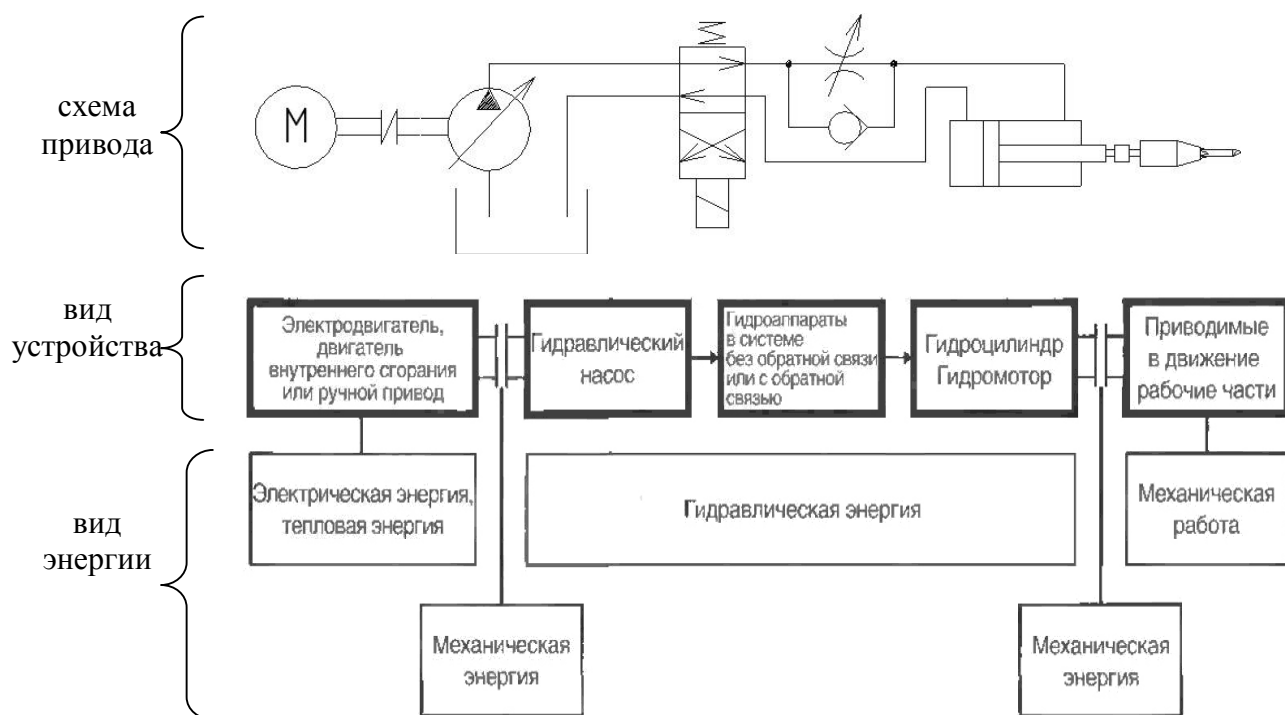


Рис.1. Структурная схема объемного гидравлического привода

При изображении гидравлических схем принято использовать определенные условные обозначения для каждого из элементов, они определяют их функциональное и конструктивное назначение. Наиболее распространенные условные обозначения большинства элементов представлены в прил.3, с остальными можно ознакомиться в соответствующем ГОСТе [4–6].

Гидропривод – совокупность направляющей, регулирующей и вспомогательной аппаратуры, предназначенной для преобразования электрической и механической энергии в гидравлическую энергию силового потока (с параметрами P , Q) и затем дальнейшего преобразования ее в механическую энергию выходного звена.

Знание этих обозначений позволяет составлять принципиальные и гидравлические схемы, а главное, используется для общего ознакомления с разрабатываемым гидроприводом.

Применение дополнительных программных пакетов (FluidSim, GydroCad и др.) позволяет существенно сократить затраты времени и средств на разработку и проектирование систем гидроприводов. В дальнейших лабораторных работах будет использоваться программа FluidSim Hydraulics [9], в которой необходимо произвести предварительное макетирование схем из имеющихся в базе элементов (см. прил. 2).

В общем случае гидравлические системы объемного регулирования состоят из следующих типовых устройств:

- объемные гидравлические машины

- а) исполнительные устройства: гидромоторы – устройства для преобразования гидравлической энергии жидкости в механическую энергию движения выходного звена (вращающегося – гидромоторы, возвратно-поступательного – силовые цилиндры);

- б) источники энергии: насосы – устройства для преобразования механической энергии входного звена (электродвигатель – насосы, ручной привод – помпы) в гидравлическую энергию жидкости;

- гидроаппаратура

- а) регулирующие устройства для изменения и контроля параметров рабочей жидкости (давления и расхода), к ним относятся: напорные золотники, предохранительные клапаны, редукционные клапаны, подпорные клапаны, реле давления, дроссели, регуляторы расхода;

б) управляющие устройства для изменения направления движения потока рабочей жидкости (различные распределители);

– контрольно-измерительные приборы – устройства для контроля параметров потока рабочей жидкости (манометры, термометры, расходомеры, датчики температуры, датчики давления);

– емкости, гидроаккумуляторы – резервные накопители энергии;

– гидрролинии – трубопроводы (жесткие и гибкие), обеспечивающие передачу энергии потока;

– кондиционеры – устройства для стабилизации температуры рабочей жидкости (теплообменные аппараты, баки и т. д.);

– вспомогательные устройства (фитинги, уплотнения, фильтры, резервуары и т. д.).

1.2. Объемные гидравлические двигатели (гидроцилиндры)

Гидроцилиндры (ГЦ) – это простейшие по конструкции объемные гидромашины, предназначенные для выполнения линейных движений, а в сочетании с преобразующими механическими передачами типа «шестерня-рейка» или «винт-гайка» и для угловых перемещений.

На рис. 2 представлен гидравлический цилиндр двухстороннего действия в двух положениях, когда давление подается в штоковую полость и поршень со штоком движется влево и когда давление подается в бесштоковую полость и поршень со штоком движется вправо, а из другой полости при этом масло сливается в гидробак.

Конструкция ГЦ зависит в основном от целей его применения. Неважно, где ГЦ находят свое применение — в станках, различных механизмах, гидротехническом строительстве с использованием стальных конструкций, в сталелитейном производстве или других случаях — для всех подобных задач созданы подходящие конструкции.

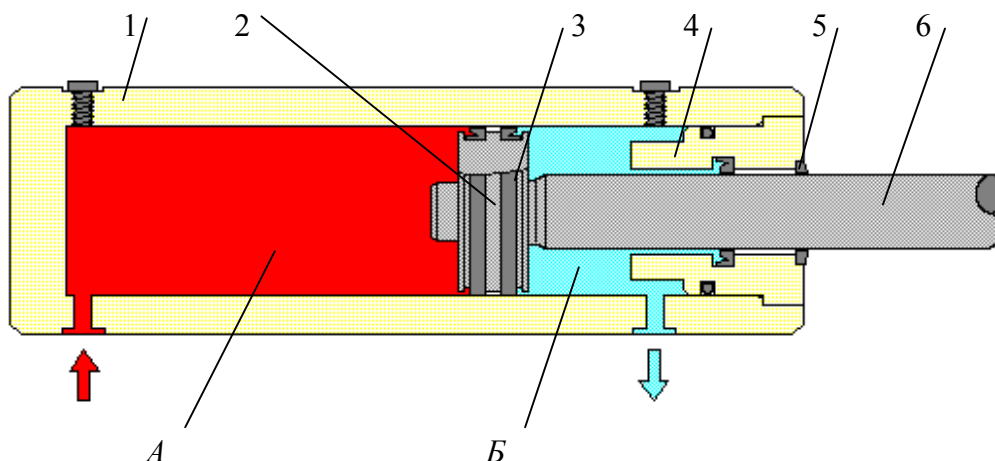


Рис. 2. Гидравлический цилиндр двухстороннего действия:

a – конструктивная схема; *б* – условное обозначение

Основой конструкции является гильза 1, представляющая собой трубу с тщательно обработанной внутренней поверхностью. Внутри гильзы перемещается поршень 2, имеющий резиновые манжетные уплотнения 3, которые предотвращают перетекание жидкости из полостей цилиндра *A* и *B*, разделенных поршнем. Усилие от поршня передает шток 6, имеющий полированную поверхность. Для его направления служит грундбукса 4, закрепленная на резьбе с уплотнением 5. С двух сторон в гильзе выполнены отверстия для подвода и отвода рабочей жидкости.

Уплотнение между штоком и крышкой состоит из двух манжет, одна из которых предотвращает утечки жидкости из цилиндра, а другая служит грязесъемником. На резьбовую часть штока крепится проушина или деталь, соединяющая ГЦ с подвижным механизмом [15].

Рассмотрим поршневой ГЦ с односторонним штоком (рис. 3). Основными параметрами поршневого ГЦ являются: диаметры поршня D и штока d , рабочее давление P и ход поршня S .

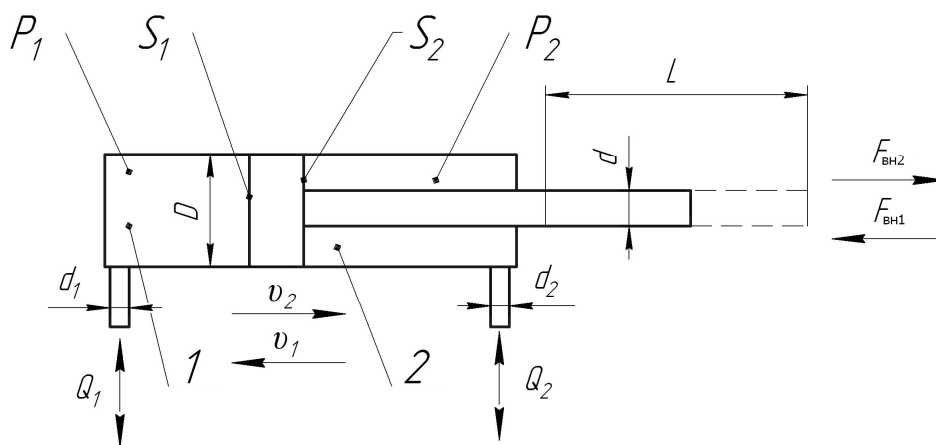


Рис. 3. Расчетная схема одноштокового гидроцилиндра

По основным параметрам можно определить следующие зависимости:

- 1) Площадь поршня S_1 в поршневой полости 1 и в штоковой S_2 полости 2 соответственно составляют:

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (1)$$

$$S_2 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}. \quad (2)$$

- 2) Усилие, развиваемое штоком ГЦ при его выдвигении и втягивании соответственно:

$$F_{вн1} = S_1 P_1 k_{тр}, \quad (3)$$

$$F_{вн2} = S_2 P_2 k_{тр}, \quad (4)$$

где $k_{тр} = 0,9-0,98$ – коэффициент, учитывающий потери на трение.

- 3) Скорость перемещения поршня:

$$v_1 = \frac{4Q_1}{\pi D^2}, \quad (5)$$

$$v_2 = \frac{4Q_2}{\pi(D^2 - d^2)}. \quad (6)$$

Выполнить самостоятельно задание

1. Рассчитать ГЦ двухстороннего действия по следующим исходным данным:

- номинальный расход ГЦ $Q_{ном} = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ (31,7 л/мин);
- номинальное давление 6,3 МПа.

Остальные данные берут из результатов анализа замеров основных элементов макета одноштокового поршневого ГЦ.

2. Рассчитать следующие характеристики:

- площади поршня в поршневой S_1 и в штоковой полостях S_2 ;
- усилие, развиваемое штоком ГЦ при его выдвижении $F_{вн1}$ и втягивании $F_{вн2}$;
- скорость перемещения поршня в прямом v_1 и обратном v_2 направлениях.

1.3 Регулирующие устройства ГП – дроссели

Регулирующие устройства (РУ) предназначены для изменения или поддержания на заданном уровне давления или расхода рабочей среды и, как следствие, развиваемой силы и скорости движения исполнительных механизмов. Основой обобщенной конструктивной схемы РУ и управляющих устройств (УУ) является запорно-регулирующий элемент, при перемещении которого частично или полностью перекрывается проходное сечение, пропускающее поток рабочей среды. По конструктивному исполнению этого элемента (ГОСТ 17752–81) [6, 20] все устройства разделяют на золотниковые, крановые, клапанные, незолотниковые (сопло-заслонка, струйная трубка, струйные элементы).

Дроссель – это гидравлическое сопротивление, устанавливаемое на заданном участке гидро- или пневмолинии, для уменьшения мощности потока рабочей среды (снижается давление за дросселем) или для изменения расхода рабочей среды в целях регулирования скорости исполнительного механизма.

Проходное сечение дросселя существенно меньше живого сечения гидролинии. Если оно не изменяется, дроссель называют постоянным или нерегулируемым, если изменяется – дроссель регулируемый. По конструкции различают дроссельные шайбы или втулки, дроссели.

Поскольку наиболее широкое распространение получили так называемые квадратичные дроссели, рассмотрим его принцип действия и основные элементы конструкции.

Представленный на рис. 4 дроссель – регулируемый, объединен в модуль с обратным клапаном 3. Расход масла в данной конструкции регулируется осевым смещением пробки 2 посредством рукоятки 4 в корпусе дросселя 1. В результате чего изменяется проходное сечение на входе *A* и выходе *B* из устройства. В таких дросселях, как правило, поток жидкости – турбулентный ($Re > Re_{кр}$).

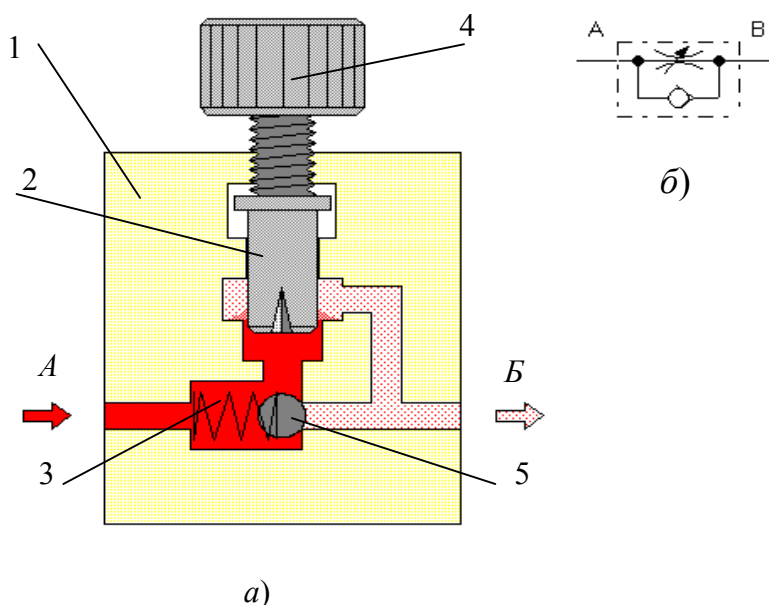


Рис. 4. Регулируемый дроссель с обратным клапаном:
a – конструктивная схема; *б* – условное обозначение

Расход через квадратичный дроссель определяют по формуле Бернулли [1, 11]:

$$Q_{др} = \mu S \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p} = \mu S \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot \Delta p}, \quad (7)$$

где μ – коэффициент расхода проходного сечения дросселя (0,6 – 0,72);
 S – площадь проходного сечения, м²; $\Delta p = p_1 - p_2$ – перепад давления, МПа;
 ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³.

Перепад давления на дросселе определяется по формуле потери давления на местном сопротивлении – уравнением Борда [12]:

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho \cdot v}{2}, \quad (8)$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления запорного элемента инерционно-го дросселя; v – скорость жидкости в проходном сечении дросселя, м/с.

Обратные клапаны – устройства, предназначенные для пропускания жидкости в одном направлении (см. рис. 4, поз. 5). В зависимости от формы и конструкции запирающего элемента клапаны бывают шаровые, с коническим затвором или золотникового типа [8]. Во всех конструкциях затвор 5 поджат к седлу пружиной 3, рассчитанной на преодоление сил трения и его собственного веса.

Выполнить самостоятельно задание

Рассчитайте и постройте расходно-перепадную характеристику регулируемого дросселя по формулам (7) и (8) по заданным параметрам:

- Δp – перепад давления до и после дросселя, задается преподавателем;
- μ – коэффициент расхода дросселя, берется из справочника;
- S – площадь проходного сечения дросселя, вычисляется по формуле [7]:

$$S = \frac{h^2 \operatorname{tg} \beta}{2 \sin^2 \alpha}, \quad (9)$$

где h – величина открытия дросселя, м; α , β – геометрические параметры щели.

1.4. Регулирующие устройства ГП – клапаны

В устройствах клапанного типа величина открытия проходного сечения изменяется от воздействия рабочей среды, проходящей через устройство.

Устройство клапанного типа или просто клапан, может иметь, золотниковый [16, 26] или клапанный (рис. 5) запорно-регулирующий элемент.

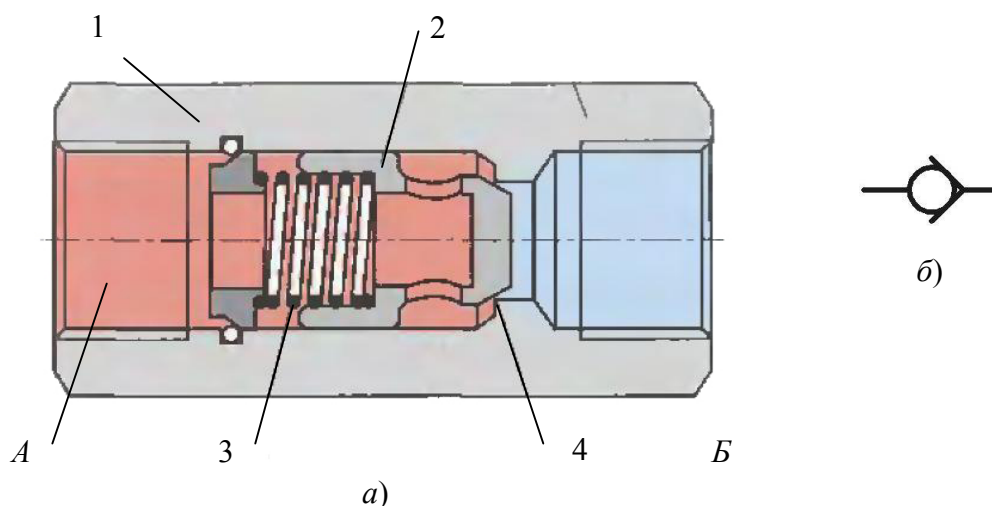


Рис. 5. Обратный клапан с клапанным запорно-регулирующим элементом:
а – конструктивная схема; *б* – условное обозначение

Устройства, управляемые изменяемым внешним силовым воздействием на запорно-регулирующий элемент в целях получения заданного значения давления или расхода рабочей среды, называют регулируемыми. Если проходное сечение и силовое воздействие на запорно-регулирующий элемент могут быть изменены извне только в нерабочем состоянии гидроаппарата, устройство называют настраиваемым.

Во всех конструкциях, кроме клапана тарельчатого типа, затвор *2* в корпусе *1* поджат к седлу *4* (он же корпус здесь) пружиной *3*, рассчитанной на преодоление сил трения и собственного веса затвора.

Если направление потока изменяется, то, помимо пружины, в конструкциях шаровых клапанов с коническим затвором затвор плотно прижимается к седлу давлением жидкости, предотвращая обратный ток жидкости. Наилучшую герметичность при закрытом затворе создает сопряжение конусное или сферы и конуса.

Усложненная модификация таких устройств – обратный клапан с дистанционным управлением – гидрозамок [13], предназначенный для пропускания жидкости в прямом и обратном направлениях в момент воздействия управляющим сигналом по давлению.

1.5. Регулирующие устройства ГП – клапаны

Такие устройства являются характерным примером клапана прямого действия плунжерного типа. Это многофункциональное устройство, позволяющее предохранять систему от перегрузки, поддерживать постоянное, ограниченное по максимальной величине давление, обеспечивать требуемое подпорное давление, например, исключать самопроизвольное опускание поршня при вертикальном расположении цилиндра [13, 19].

Принцип работы переливного клапана поясняется конструктивной схемой, изображенной на рис. 6.

Кроме этого, переливной клапан может также изменять давление в магистрали поступления при помощи регулировочного винта 5. Поворачивая винт 5 на сжатие пружины 4, можно также уменьшить площадь кольцевого зазора между коническим пояском золотника 3 и корпусом 1, что приведет к возрастанию давления в полости P . Если ослабить пружину, давление в полости P снизится.

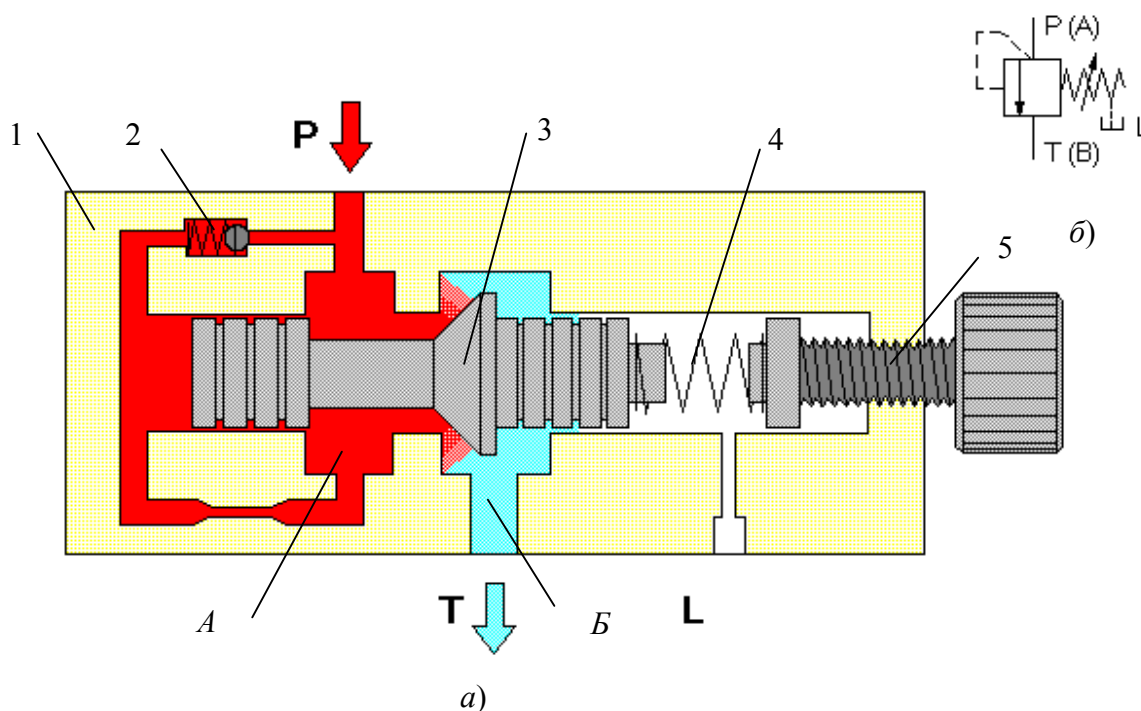


Рис. 6. Переливной клапан давления:

a – конструктивная схема; b – условное обозначение

Работает клапан следующим образом. Жидкость, поступающая из гидростанции по магистрали P под высоким давлением, попадая в левую полость A клапана, по щелевому кольцевому зазору между корпусом клапана I и коническим пояском золотника 3 вытекает в полость B , соединенную со сливной магистралью T . При этом часть высокого давления теряется за счет дросселирования жидкости в кольцевом зазоре, сливая часть основного потока жидкости в бак. Силовое равновесие золотника клапана обеспечивается за счет усилия пружины 4 с одной стороны и силой давления жидкости в торец дифференциального золотника в полости A . В общем случае уравнение равновесия золотника 3 (рис. 6) имеет вид [13]:

$$P_1 \cdot \frac{\pi d_3^2}{4} = cx + G \pm T, \quad (10)$$

где P_1 – подводимое к золотнику давление, Па; d_3 , G – диаметр и вес плунжера, м и Н, соответственно; c , x – жесткость и предварительное сжатие пружины, м; T – сила трения при перемещении золотника, Н.

Из уравнения (10) ясно, что если усилие, создаваемое давлением P , меньше усилия пружины 4 , то плунжер будет прижат к левой части корпуса I , а полости P и T разобщены. При повышении давления P в определенный момент плунжер перемещается вправо и соединяет полости P и T . При этом уменьшаются потери давления в зазоре, увеличивается расход жидкости через клапан и давление в полости P восстанавливается до первоначального значения. При уменьшении давления в магистрали P происходит обратный процесс. Таким образом, переливной клапан выполняет роль стабилизатора давления, поддерживая его постоянным в напорной магистрали.

1.6. Направляющие устройства (распределители) гидроприводов

Устройства, предназначенные для подвода, отвода, изменения направления движения или перекрытия потока рабочей жидкости, относятся к так называемым распределителям.

По конструктивного признаку различают устройства золотникового и незолотникового типа. Первую группу можно классифицировать как золотниковые, крановые и клапанные распределители. К распределителям незолотникового типа относят устройства со струйной трубкой и типа «сопло-заслонка» [16, 22].

Наибольшее применение получили распределители золотникового типа [16, 23, 24]. Распределители широко применяют в качестве управляющих устройств и в следящем гидроприводе.

Классифицируют гидравлические распределители следующим образом:

- по способу управления: с ручным, гидравлическим, пневматическим и электрическим;
- количеству позиций: двух-, трех- четырехпозиционный (фиксированных положений распределительного элемента);
- количеству гидравлических линий связи: одно-, двух- трехлинейные и др.

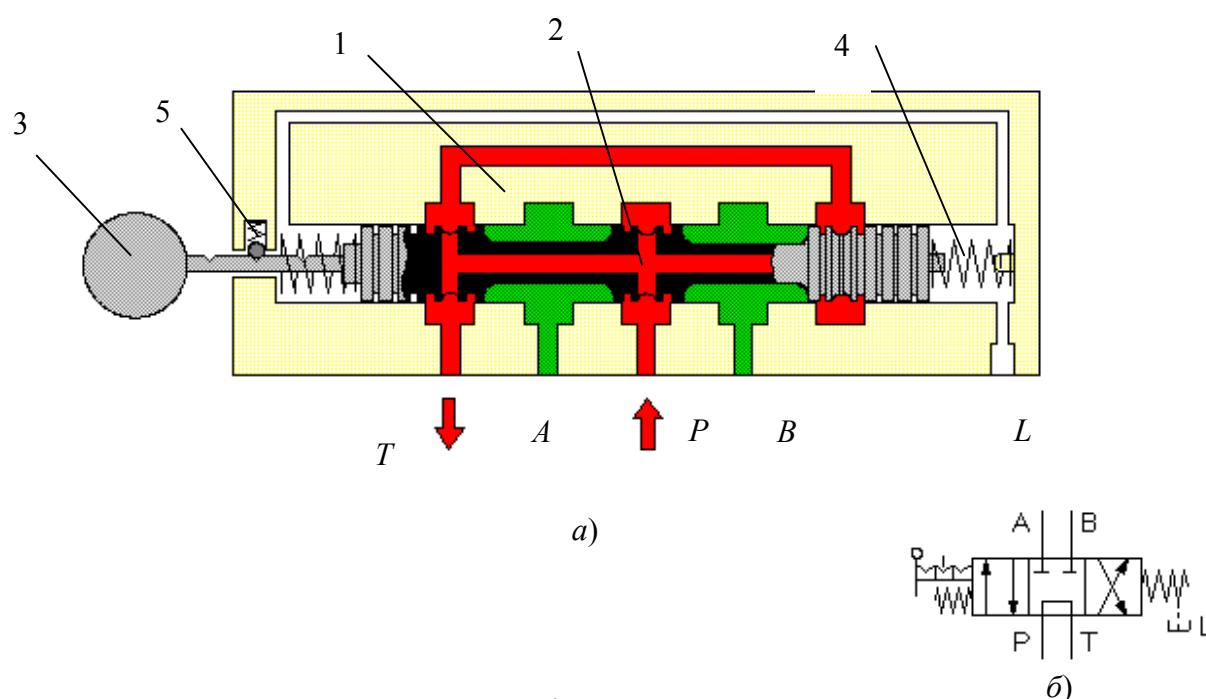


Рис. 7. Гидравлический распределитель 4/3 с ручным управлением и пружинным возвратом:

а – конструктивная схема; *б* – условное обозначение

На рис. 7 представлен гидравлический четырехлинейный трехпозиционный распределитель с ручным управлением. В нейтральном положении его выходные магистрали *A* и *B* закрыты, а напорная магистраль *P* соединена со слив-

ной магистралью T . Распределительный элемент – плунжер 2 – имеет внутреннюю проточку, позволяющую соединять в корпусе 1 рабочие окна T и P для подвода и отвода жидкости.

Изменением положения рукоятки 3 возможно переключение распределителя в крайнюю правую и левую позиции, которые удерживаются фиксатором 5. Пружины 4 центрируют золотник распределителем 2 в нейтральном положении. В первом случае – линия напорной магистрали P соединяется с выходным каналом B . Во втором случае – обеспечивается соединение напорной магистрали P с выходным каналом A . Такой распределитель позволяет управлять двумя полостями через нейтральное положение, когда эти полости закрыты.

Выполнить самостоятельно задание

Для каждого из рассматриваемых типов гидроаппаратов: цилиндра, дроселя, клапана давления и распределителя по результатам их изучения заполнить требуемыми данными формы (см. прил.1).

Контрольные вопросы

1. Дайте определение гидравлическому приводу.
2. Назовите типы устройств систем гидропневмоавтоматики.
3. Каков принцип действия и конструкция гидроцилиндра?
4. Объясните принцип действия и конструкцию регулирующих устройств гидропривода.
5. Каков принцип действия и конструкция направляющих устройств гидропривода?

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПИТАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

Цель работы

1. Ознакомиться с работой питающей установки лабораторного стенда.
2. Снять характеристики питающей установки.
3. Изучить методики измерения объемного расхода жидкости.

2.1. Краткие теоретические сведения

Насос, применяемый в качестве гидравлической машины питающей установки, обеспечивает подачу рабочей жидкости, чаще всего минерального масла, в гидравлическую систему [23]. Действительная подача объемного насоса несколько меньше его геометрической подачи, определяемой рабочим объемом насоса и скоростью вращения приводного вала, на величину перетечек и утечек жидкости внутри насоса, а также уменьшения объема сжимаемой жидкости:

$$Q_n = Q_g - q(p) - q(n), \quad (11)$$

где Q_g – геометрическая подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; $q(p)$ – суммарный расход перетечек, утечек и сжатия жидкости, определяемый перепадом давления в магистралях насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; $q(n)$ – уменьшение геометрической подачи из-за неполного заполнения рабочих камер насоса жидкостью, $\text{м}^3/\text{с}$.

В целях ограничения давления в напорной магистрали насоса его выход соединяется с баком питающей установки посредством переливного клапана, регламентирующего перетечки $q_k(p)$. Тогда уравнение подачи питающей установки принимает вид:

$$Q_{п.у} = Q_g - q(p) - q_k(p) - q(n). \quad (12)$$

Зависимость $q_k(p)$ определяет подачу питающей установки в гидросистему.

В исследуемой питающей установке используется насос пластинчатого типа [1, 26]. В таких насосах вытеснителем жидкости являются пластины 3 (рис. 8, а). Внутренняя поверхность статора 1 насоса имеет специальный профиль, образованный дугами окружностей, описанных радиусами R_1 и R_2 из одного центра. Дуги сопрягаются между собой отрезками кривой (спирали Архимеда), обеспечивающей равномерное нарастание ускорения при выдвигении пластин 3.

В корпусе насоса симметрично расположены две полости всасывания B и две полости нагнетания H , поэтому за один оборот ротора 2 с пластинами 3 дважды происходит процесс всасывания и нагнетания.

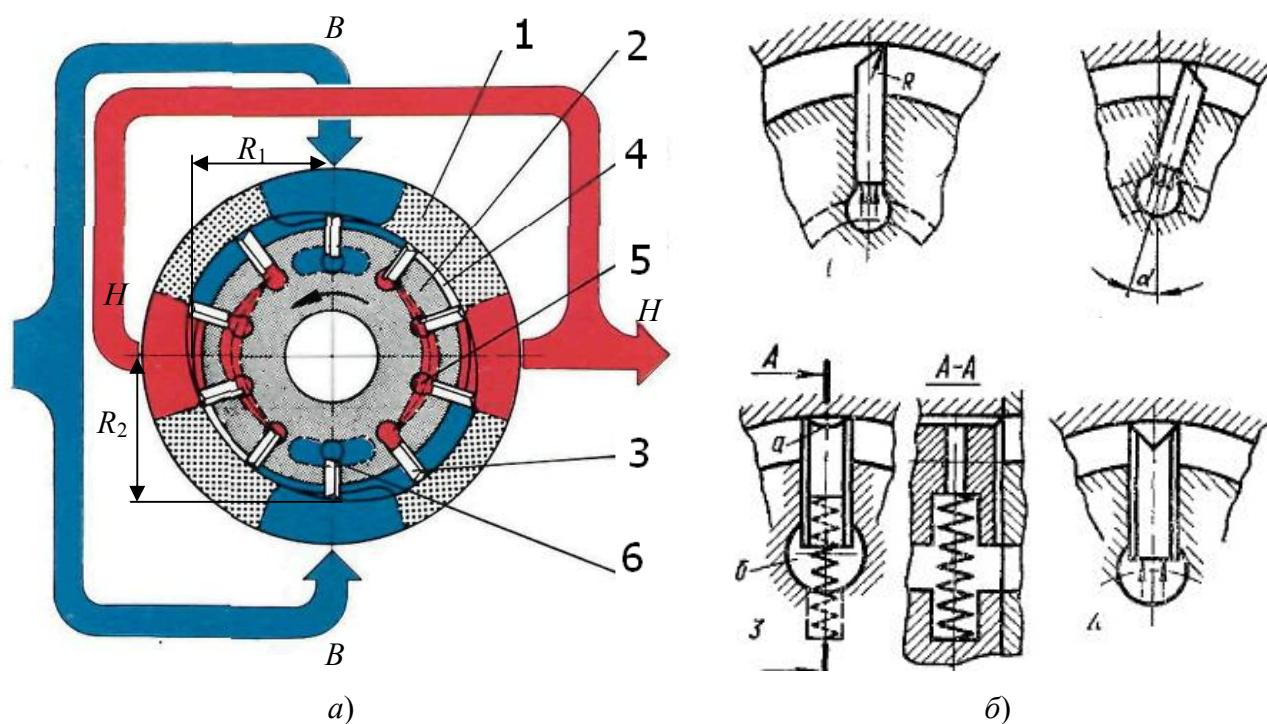


Рис. 8. Пластинчатая объемная гидромашина:

а – конструктивная схема; б – способы крепления пластин в роторе

Благодаря диаметрально противоположному размещению полостей 4 давление на ротор 2 уравнивается, а подшипники ротора полностью разгружены от гидравлических сил. Жидкость из линии H подведена под полость

5 (из линии B в полость b соответственно) торцов пластин 3 , поэтому радиальное перемещение пластин и прижим их к статору 1 осуществляется не только центробежной силой, но и силой гидравлической (рис. 8, б).

При вращении ротора в указанном направлении пластины, расположенные в зонах B (на участках переходных кривых), отходят от центра ротора, в результате чего объем 5 между пластинами 3 увеличивается – происходит процесс всасывания. Обратный процесс – нагнетание – будет иметь место в зонах H , где пластины 3 отжимаются к центру ротора и объем b между пластинами уменьшается. Движение пластин в радиальном направлении отсутствует на участках статора, образованных дугами радиусов R_1 и R_2 .

Объем рабочей жидкости, подаваемый насосом за один цикл всасывания и нагнетания, приближенно принимают равным объему масляного кольца с радиусами r_1 и r_2 и высотой, равной ширине пластины [13]. Так как за один оборот ротора такой объем подается дважды, то

$$q_1 = 2\pi(r_2^2 - r_1^2)b, \quad (13)$$

где q_1 – общий объем масла, м^3 ; b – ширина пластины, м .

Из общего объема масла необходимо вычесть объем, занимаемый пластинами.

Если z – количество пластин, S – их толщина, α – угол наклона пазов (до 13°), то искомый объем:

$$q_2 = \frac{2bS(r_2 - r_1)^2 z}{\cos\alpha}. \quad (14)$$

Рабочий объем насоса:

$$q_n = q_1 - q_2 = 2b \left[\pi(r_2^2 - r_1^2) - \frac{z \cdot S(r_2 - r_1)}{\cos\alpha} \right]. \quad (15)$$

Подача насоса:

$$Q_n = q_n n_n = 2b \cdot n_n \left[\pi(r_2^2 - r_1^2) - \frac{z \cdot S(r_2 - r_1)}{\cos\alpha} \right]. \quad (16)$$

В гидроприводе широко применяются пластинчатые насосы двукратного действия типа БГ12-4... [1, 15]. Конструкция такого пластинчатого насоса

приведена на рис. 9. В корпусе 7 с крышками 1 и 8 находится статор 15 с профильной внутренней поверхностью.

Ротор 5, в пазах которого установлены двенадцать пластин 16, помещен на шлицах вала 11, вращающегося в подшипниках.

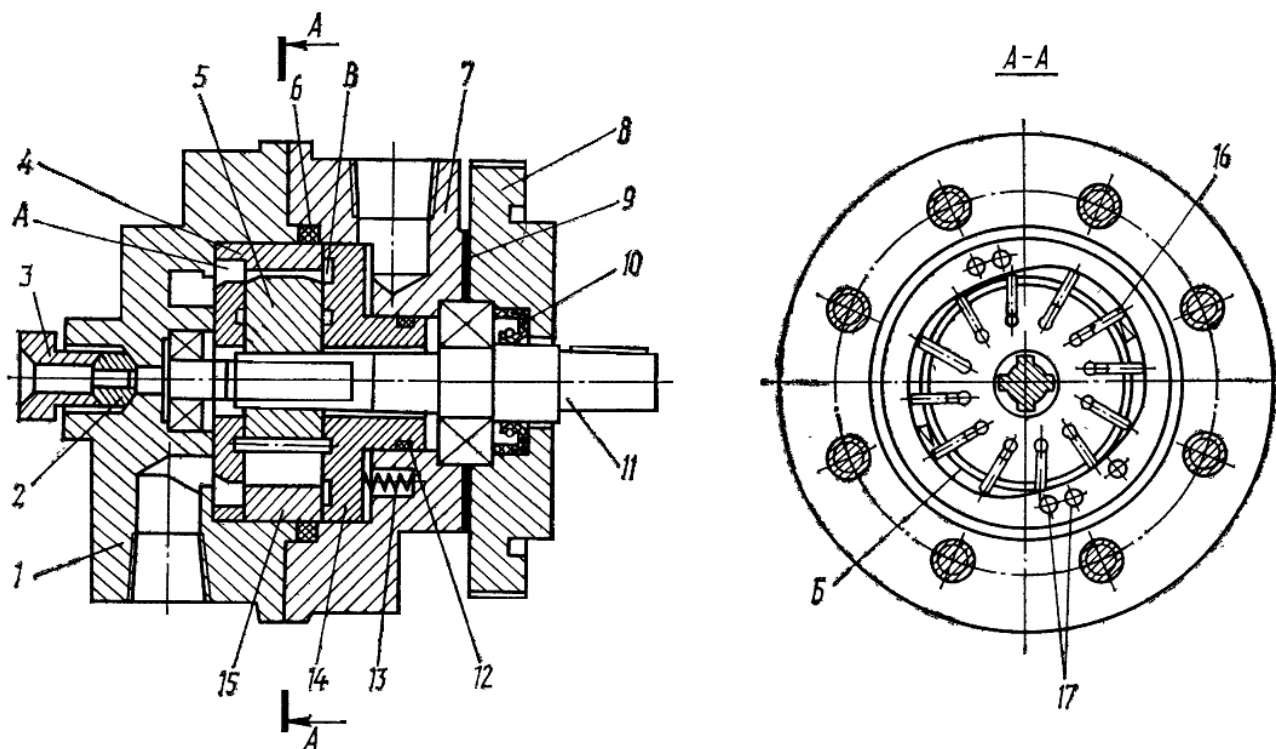


Рис. 9. Пластинчатый насос двукратного действия типа БГ12-4...

К торцам статора прижаты плоский диск 4, имеющий окна всасывания *A* и нагнетания *B*, и диск 14 с шейкой. Диск 14 в начале работы насоса прижимается к статору пружинами 13, а в процессе работы — давлением рабочей жидкости в полости нагнетания. Для двухстороннего подвода рабочей жидкости в рабочие камеры насоса в статоре имеются отверстия 17, через которые рабочая жидкость поступает в глухие окна всасывания *B* в диске 14. Уплотнение корпуса осуществляется уплотнительными кольцами 6, 12, манжетой 10 и прокладкой 9. Для отвода утечек установлены кольцо 2 и штуцер 3. В табл. 1 представлены характеристики и технические параметры однопоточных насосов двукратного действия типа БГ12, БП2 [14].

Таблица 1

Технические параметры пластинчатых насосов типа БГ12

Параметр	БГ12-41Б	БП2-41А	БГ 12-41	БГ 12-42
Рабочий объем, см ³	3,2	5	8	12,5
Номинальная подача, л/мин не менее	3,3	6	10,4	16,7
Давление на выходе из насоса, МПа:				
номинальное	10			
максимальное	12,5			
Абсолютное давление на входе, МПа	0,08–0,12			
Частота вращения, мин ⁻¹ :				
номинальная	1500			
максимальная	1600			
минимальная	600			
Мощность, кВт:				
номинальная	1,34	1,86	2,58	3,84
затрачиваемая при давлении	0,15	0,15	0,2	0,25
КПД при номинальном режиме:				
объемный	0,7	0,8	0,88	0,9
полный	0,4	0,53	0,65	0,71
Средний уровень шума, дБА, не более	72			

Типовая конструкция насосной станции Bosh-Rexroth приведена на рис. 10. Насосная станция представляет собой единую конструкцию, в которой расположены бак Б, изготовленный из легкого сплава, с ребрами, которые придают конструкции бака большую жесткость, крышки бака для крепления насоса Н, электродвигателя ЭД, муфты насоса, сливного фильтра Ф, устройства для контроля давления М, индикатора уровня масла ИД, резьбовой заглушки слива масла, воздушного фильтра [26].

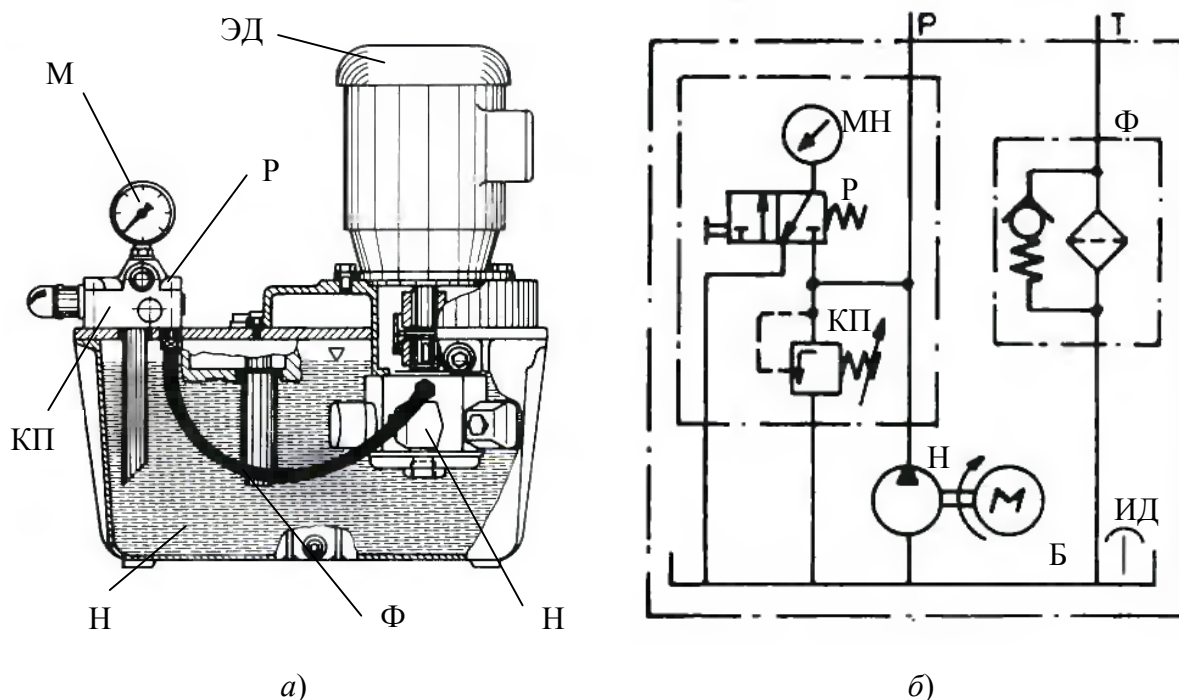


Рис.10. Малогабаритная насосная станция Bosh-Rexroth:
а – конструктивная схема; б – принципиальная схема

2.2. Экспериментальная установка

Исследуемые объемный насос и электрический датчик расхода включаются в гидравлическую систему в соответствии со схемой, показанной на рис. 11. Насос работает в составе питающей установки 1, включающей электропривод, предохранительный клапан и емкость для рабочей жидкости. Настраиваемый предохранительный клапан ограничивает максимальное давление в гидросистеме. Питающая установка фирмы «Рексрот» имеет, кроме того, на каждом из четырех выходов регулятор расхода. Регулируемый переливной клапан 2 реализует зависимость $q_k(p)$ в уравнении (12). Регулируемое гидравлическое сопротивление 3 является нагрузкой насоса и определяет давление p_0 в линии нагнетания. Распределитель 4 направляет подачу насоса в мерную емкость 5 или в бак 10. Температура рабочей жидкости контролируется электрическим термометром 9. Турбинный расходомер 6 типа ТДР-8, установленный в линии нагнетания, обслуживается комплектом аппаратуры, преобразующей сигнал в численные показания.

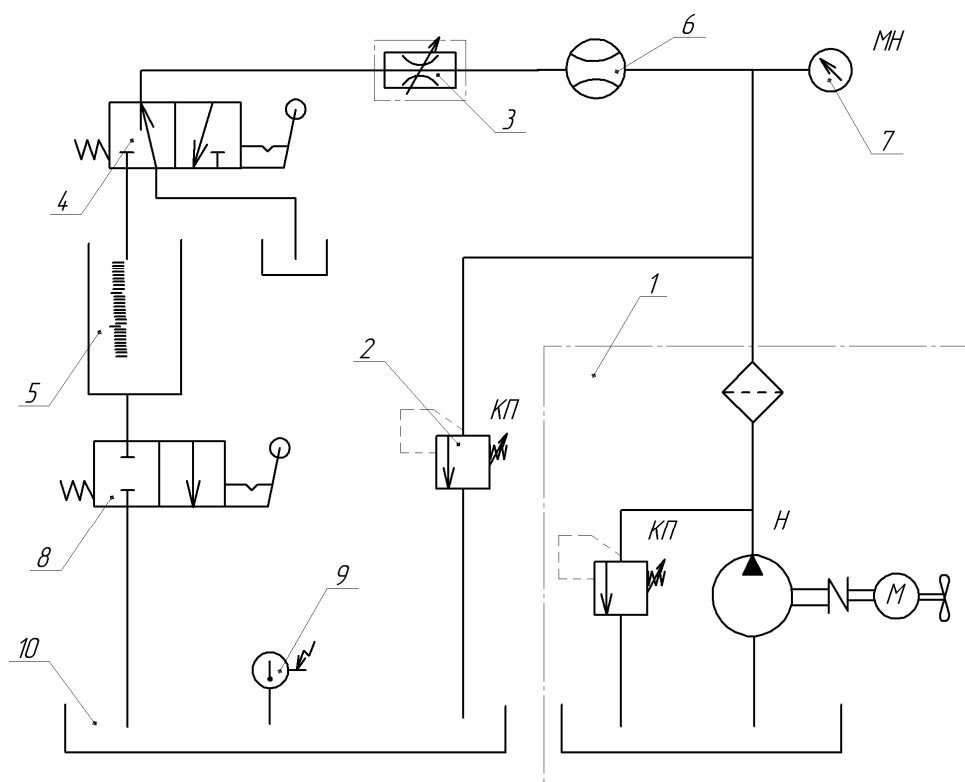


Рис. 11. Гидравлическая схема стенда для исследования насосной станции

2.3. Порядок выполнения работы

1) Включить насосную станцию при помощи магнитного пускателя.

2) Первый опыт провести при полностью открытом дросселе 3. Далее, настраивая регулируемый дроссель 3, создать нагрузку на питающей установке, ориентируясь по манометру 7. Значения противодействия в напорной линии насоса задаются преподавателем.

3) Для каждого из опытов, установив дроссель, выполнить замеры при помощи расходомера 6 и мерного резервуара 5 (для больших и малых расходов соответственно). Записать результаты измерений в табл. 2.

4) Включить распределитель 4, замерить объемным способом расход при более 75%-м перекрытии дросселем 3. Зафиксировать время подъема жидкости, используя секундомер и мерный резервуар 5. Распределитель 8 должен быть перекрыт до окончания опыта.

5) По завершении опытов открыть дроссель 3 и кран 8, выключить питающую установку 1.

Результаты эксперимента

Номер опыта	Давление в нагнетательной полости насоса p , Па	Замеры расхода			Частота вращения вала насоса n , мин ⁻¹	Показания амперметра I_ϕ , А
		Показания расходомера W , м ³ /с	Время t , с	Объем V , м ³		
1						
2						
3						
4						
5						

2.4. Обработка результатов эксперимента

В данной работе параметры питающей установки определяются по следующим зависимостям [25].

1) Полезная мощность определяется соотношением:

$$N_{\text{п}} = pQ, \quad (17)$$

где p – давление нагнетания, Па; Q – подача, определяется по жидкостному счетчику и секундомеру, м³/с.

2) Мощность на валу насоса:

$$N_{\text{в.н}} = N_{\text{эд}} \eta_{\text{эд}}, \quad (18)$$

где $N_{\text{эд}}$ – мощность, потребляемая электродвигателем от сети, кВт; $\eta_{\text{эд}}$ – КПД электродвигателя, принимаемый равным 0,78.

3) Полный КПД насоса, который учитывает все потери, определяется формулой:

$$\eta = \frac{N_{\text{н}}}{N_{\text{в.н}}}. \quad (19)$$

4) Объемный КПД можно найти по зависимости:

$$\eta_o = \frac{Q}{Q_o}. \quad (20)$$

5) По завершении лабораторной работы требуется снять семейство характеристик питающей установки $Q_{п.у} = Q_{п.у}(p)$ для трех режимов настройки переливного клапана и построить тарифовочный график расходомера:

$$Q_d = k(Q) \cdot Q_{п.у}, \quad (21)$$

где Q_d – действительное значение расхода в линии, измеренное объемным способом; $Q_{п.у}$ – приборное значение расхода, снимаемое с цифрового расходомера; $k(Q)$ – функция чувствительности, которая при тщательной настройке аппаратуры может принимать значение $k(Q)=1$.

Результаты испытаний заносят в протокол и после математической обработки представляют в виде графиков. Для построения характеристик достаточно 6–8 экспериментальных точек в диапазоне изменения давления $\Delta p_0 = 0\text{--}5$ МПа.

В зоне начала работы переливного клапана число точек должно быть не менее трех. Режимы настройки переливного клапана должны исключать полностью ослабленную и полностью поджатую пружину.

Контрольные вопросы

1. Укажите на графике $Q_{п.у} = Q_{п.у}(p)$ точку начала работы переливного клапана.
2. Чем обусловлены наклоны характеристик $Q_{п.у} = Q_{п.у}(p)$ слева и справа от точки начала работы переливного клапана?
3. Что определяет давление в гидросистеме?
4. Как влияет переливной клапан на КПД гидросистемы?
5. Каковы могут быть последствия засорения фильтра, установленного во всасывающей магистрали насоса?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА РЕГУЛИРУЕМОГО ДРОССЕЛЯ

Цель работы

1. Экспериментально определить коэффициент расхода регулируемого дросселя.
2. Выявить степень влияния параметров настройки дросселя на его гидравлические характеристики.
3. Закрепить знания по разделу «Гидроаппаратура» дисциплины «Гидропривод и средства автоматизации».

3.1. Краткие теоретические сведения

Дроссель представляет собой местное гидравлическое сопротивление, устанавливаемое на пути течения жидкости для регулирования ее расхода или создания сопротивления. В гидроприводах дроссели применяются для регулирования скорости выходного звена гидродвигателей. Проходное сечение дросселя существенно меньше живого сечения гидролинии, и если оно не изменяется, дроссель называют постоянным (нерегулируемым), если изменяется – дроссель регулируемый. По конструкции различают дроссельные шайбы или втулки, дроссели [20].

Дроссели типа ПГ77-1 (рис.12) состоят из следующих элементов [14]: корпуса 1, втулки 2, втулки-дросселя 3, винта 4, валика 6, лимба 8, контргайки 7, пробки 11, пружины 10, указателя оборотов 5 и штифта 9. Масло из гидросистемы подводится к отверстию «Подвод» аппарата, проходит через дросселирующую щель, образованную фасонным отверстием во втулке 2 и торцом втулки-дросселя 3, и отводится через отверстие «Отвод». Расход регулируется путем осевого перемещения втулки-дросселя 3 с помощью винта 4 в одну сторону и пружины 10 – в противоположную. Винт поворачивается от лимба 8 через валик 6.

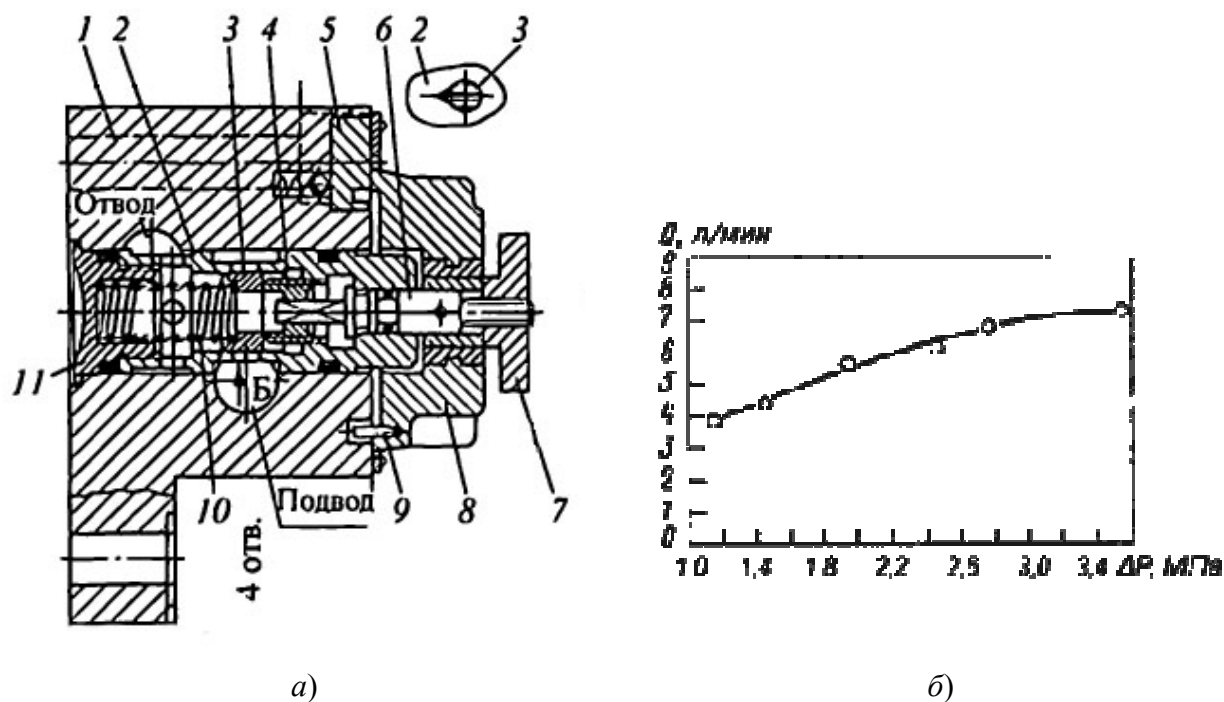


Рис. 12. Дроссель тип. ПГ77-11:

a – конструктивная схема; *б* – расходно-перепадная характеристика

Осевому перемещению втулки-дросселя соответствуют четыре оборота лимба, что позволяет плавно регулировать расход масла. После каждого полного оборота лимб с помощью штифта 9 поворачивает на угол оборота указатель 5, на торце которого имеются цифры 1–4; самопроизвольный поворот указателя предотвращает шариковый пружинный фиксатор.

Острые кромки по всему периметру дросселирующей щели практически исключают зависимость установленного расхода от температуры масла, а треугольная форма проходного сечения при малых открытиях уменьшает опасность засорения.

Расход жидкости через дроссель такого типа определяется соотношением [11]:

$$Q = \mu \omega \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta p}, \quad (22)$$

где μ – коэффициент расхода дросселя; ω – площадь дроссельной щели, м^2 ; g – ускорение свободного падения; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; γ – удельный вес жидкости, $\gamma = 9000 \text{ Н/м}^3$;

$$\Delta p = p_1 - p_2, \quad (23)$$

здесь p_1 – давление жидкости перед дросселем, Па; p_2 – давление жидкости после дросселя, Па.

Коэффициент расхода дросселя из соотношения (22):

$$\mu_3 = \frac{Q_3}{\omega_0 \sqrt{2g(p_{13} - p_{23})/\gamma}}. \quad (24)$$

При экспериментальном определении коэффициента μ_3 значение площади ω_0 берут из табл. 3 для числа делений K на лимбе дросселя, заданного преподавателем. Значения расхода Q_3 , давления p_{13} и p_{23} определяются экспериментально.

Таблица 3

Параметры настройки дросселя Г77-11

K	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ω , мм ²	2,15	2,9	3,6	4,2	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3

Для определения диапазона площадей ω , при которых можно пользоваться зависимостью (22) с коэффициентом $\mu = \mu_3$, строится график экспериментальной зависимости $\Delta p(\omega)$ и расчетной величины перепада $\Delta p_{\text{расч}}(\omega)$ давления p_1 и p_2 с использованием соотношений:

$$\Delta p_{\text{расч}}(\omega) = \frac{1}{2g\mu_3^2} \gamma \left(\frac{Q_3}{\omega} \right)^2 = \varphi_3 \gamma \frac{v^2}{2g}, \quad (25)$$

где $\varphi_3 = \frac{1}{\mu_3^2}$ – экспериментальное значение коэффициента местного сопротивления дросселя;

$v = \frac{Q_3}{\omega}$ – средняя скорость движения жидкости в дроссельной щели, м/с.

Значение Q_3 такое же, как и при определении коэффициента μ_3 по формуле (24). Значение площади ω берут из табл. 3 для числа делений $K = 7 - 16$.

3.2. Экспериментальная установка

Принципиальная гидравлическая схема испытательного стенда, представленная на рис.13, состоит из насоса – H ; клапана переливного – $KП$; датчиков давления – $ДД1$, $ДД2$; испытуемого дросселя – $ДР1$; дросселя подпора – $ДР2$; распределителей с ручным управлением – $P1$, $P2$; мерного бака – $МБ$; вентиля сброса из мерного бака – $P3$.

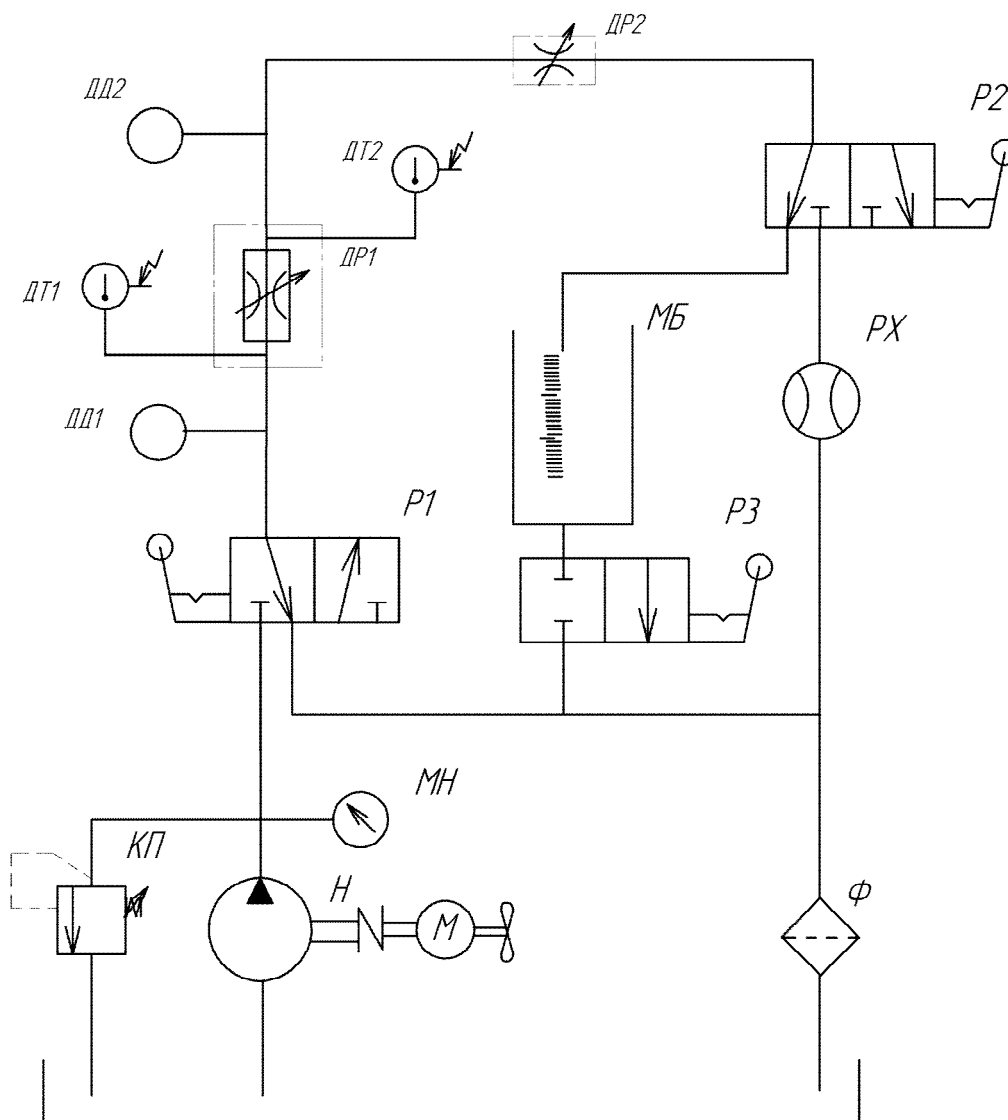


Рис. 13. Принципиальная гидравлическая схема испытательного стенда

При запуске электродвигателя насоса дроссели $ДР1$ и $ДР2$ должны быть открыты. Перепад давления на испытуемом дросселе $ДР1$ задается с помощью подпорного дросселя $ДР2$. Давление перед дросселем $ДР1$ контролируется датчиком давления $ДД1$, после – датчиком $ДД2$.

Расход дросселя $ДР1$ можно измерить двумя способами: с использованием мерного бака $МБ$, куда жидкость подается при нажатии на рукоятку распределителя $P2$. При открытии вентиля $P3$ жидкость сливается из мерного бака $МБ$. Другой способ – с использованием расходомера PX , что приемлемо для больших расходов при открытии дросселя более $1/3$.

Сила тока, потребляемая электродвигателем насоса из электросети, измеряется амперметром на приборной панели рядом с пускателем электродвигателя насосной станции.

Температура до и после дросселирования контролируется измерителем-регулятором ТРМ138-Т и датчиком температуры (термопара ДТПЛ011-0,5 из материала хромель-капель с показателем тепловой инерции 3 с).

Прибор ТРМ138-Т (см. прил. 4) позволяет регистрировать показания датчиков одновременно с 8 каналов измерения и дает возможность двухпозиционного регулирования. В данной лабораторной работе это датчики давления $ДД1$, $ДД2$ и температуры $ДТ1$, $ДТ2$. Устройство имеет интерфейс RS-485 для подключения ПК и автоматизации процесса измерений и управления посредством SCADA систем.

3.3. Порядок выполнения работы

Для выполнения лабораторной работы необходимы следующие действия. Открыть дроссели $ДР1$ и $ДР2$ (установить максимальное давление на шкале дросселя), плунжер распределителя $P2$ выдвинут до отказа, амперметр с помощью выключателя отключить от сети. Используя кнопочную станцию, включить электродвигатель насоса.

На шкале испытуемого дросселя $ДР1$ установить деление K_0 , заданное преподавателем. Дросселем $ДР2$ по показаниям амперметра установить силу тока, значения которой задаются преподавателем. Записать показания датчиков $ДД1$ и $ДД2$ в табл. 4.

Результаты эксперимента

Замеренная величина	Количество делений на шкале испытуемого ДР1					
	K_0	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
Давление p_1 до испытуемого дросселя ДР1 (показание манометра ДД1), Па						
Давление p_2 после дросселя ДР3 (показание манометра ДД2), Па						
Показание амперметра, А						
Высота подъема жидкости в мерном баке h_6 , мм						
Время подъема уровня в мерном баке t , с						

Для определения расхода испытуемого дросселя закрыть вентиль B . Распределителем P направить поток жидкости в мерный бак $МБ$. Секундомером замерить время подъема уровня жидкости в мерном баке на высоту $h_6 = 40 + 80$ мм. Следить, чтобы уровень жидкости в мерном баке не превысил отметку, сделанную на шкале. Открыть вентиль $P3$ и выпустить жидкость из мерного бака.

Открыть дроссель $ДР2$ (установить максимальное по величине деление на шкале). На шкале испытуемого дросселя установить одно из делений K_i , заданных преподавателем. Дросселем $ДР2$ создать сопротивление в гидрوليнии, тем самым обеспечив определенное значение силы тока на приводном двигателе насоса. При этом расход через дроссель $ДР1$ будет такой же, как при установке шкалы дросселя на деление K_0 . Показания датчиков $ДД1$ и $ДД2$ занести в табл. 4.

3.4. Обработка результатов эксперимента

1) Расход испытуемого дросселя при заданном показании амперметра подсчитывается по формуле:

$$Q = \frac{\omega_6 h_6}{t}, \quad (26)$$

где $\omega_6 = 450 \text{ см}^2$ – площадь мерного бака; t – время подъема уровня жидкости в мерном баке на высоту h_6 , с.

2) Коэффициент расхода дросселя рассчитывается из выражения (24).

3) Число Рейнольдса при дросселировании [7]

$$Re(t) = \frac{2Q_{др}}{\pi d_k v_t}, \quad (27)$$

где $Q_{др}$ – расход жидкости, проходящей через дроссель, м³/с; v_t – коэффициент кинематической вязкости рабочей жидкости при температуре $T_{ср}$ (определяется из нанограммы в прил. 5), м²/с.

4) Коэффициент гидравлического сопротивления:

$$\zeta = \frac{2\Delta P S^2}{Q_{др}^2 \rho}. \quad (28)$$

Коэффициент расхода дросселя определить, пользуясь соотношением (24). Значение ω , p_1 и p_2 взять из табл. 3 и 4 для количества деления K_0 .

Для определения диапазона давления с полученным значением коэффициента расхода построить, пользуясь соотношением (25), зависимость $\Delta p_{расч}(\omega)$ (см. рис. 12, б).

Построить экспериментальную зависимость $\Delta p(\omega)$, где $\Delta p = p_1 - p_2$; воспользоваться данными табл. 4. Данные, необходимые для построения зависимости $\Delta p_{расч}(\omega)$ и $\Delta p(\omega)$, свести в табл. 5.

Таблица 5

Результаты обработки экспериментальных данных

№ п.п.	Параметры	Количество делений					
		K_0	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
1	ω , мм ²						
2	$\Delta p_{расч}$, МПа						
3	Δp , МПа						

На основании выполненных исследований сравнить коэффициент расхода дросселя μ , найденный для дросселя Г77-11 экспериментально, с коэффициентом расхода для отверстия в тонкой стенке ($\mu_{отв} = 0,62$). Установить, как зави-

сит режим движения жидкости от настройки дросселя. Отметить совпадения или несовпадения расчетной $\Delta p_{\text{расч}}(\omega)$ и экспериментальной зависимости $\Delta p(\omega)$, указать диапазон, в котором расход, рассчитанный по формуле (22) совпадает с расходом дросселей.

Контрольные вопросы

1. От каких параметров зависит коэффициент расхода дросселя?
2. Каким методом определяются расходно-перепадные характеристики дросселя?
3. Пояснить найденную экспериментально зависимость $\Delta p(\omega)$.
4. Из каких элементов состоит исследуемый дроссель и степень их влияния на гидравлические характеристики?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОПРИВОДА ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ДРОССЕЛИРОВАНИИ

Цель работы

1. Ознакомиться с принципами регулирования скорости рабочего органа линейного гидропривода.
2. Приобрести навыки расчета гидроприводов дроссельного регулирования.
3. Изучить динамические характеристики гидропривода при последовательном дроссельном регулировании.

4.1. Краткие теоретические сведения

Основные кинематические характеристики исполнительных движений автоматизированного технологического оборудования [21] – перемещение, скорость, положение, направление – обеспечивают объемные гидромашины или специальные устройства гидроавтоматики: дроссели, направляющие и дросселирующие распределители, регуляторы потока, порционеры, делители, сумматоры потока и др.

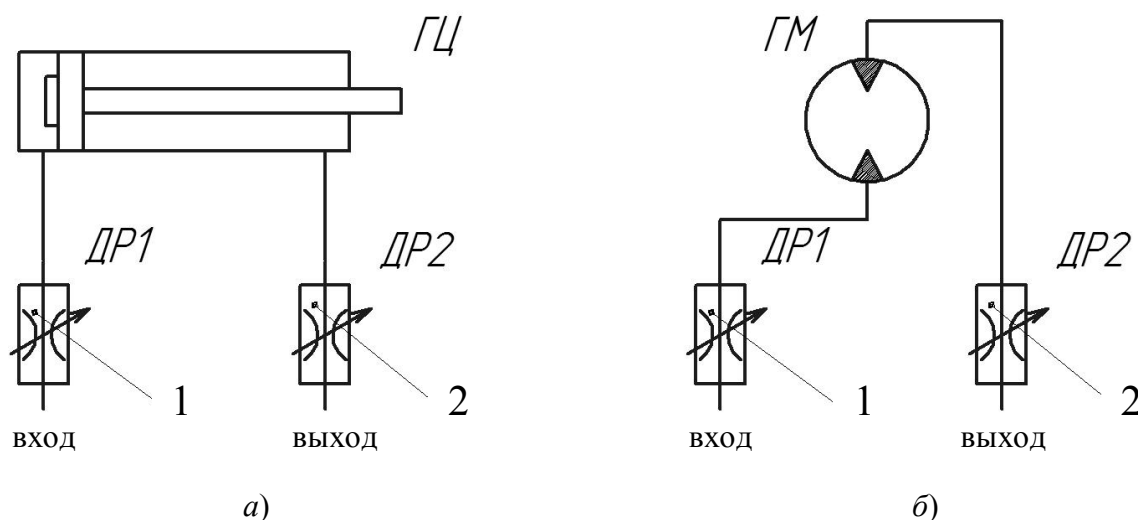


Рис. 14. Последовательное дроссельное регулирование:

а – для привода с гидроцилиндром; б – для привода с гидромотором;

1 – регулирование напорной гидролинии; 2 – регулирование сливной гидролинии

Обязательным условием является регулирование объема рабочей жидкости в реальном времени. Эту задачу решают, применяя машинное (объемное), дроссельное и ступенчатое регулирование расхода рабочей жидкости. Иногда используют комбинированные способы: машинно-дроссельное, ступенчато-дроссельное и др.

В данной лабораторной работе рассмотрен способ последовательного дроссельного регулирования объемного гидропривода: на входе (рис.14, поз. 1) в гидродвигатель и на выходе (рис.14, поз. 2).

Способ регулирования ГП на *входе* [1–3] обладает следующими особенностями:

- высокий КПД в сравнении с другими дроссельными способами регулирования;
- объемные потери в гидросистеме не влияют на скорость, так как имеется избыточный расход $Q_{изб}$, компенсирующий утечки;
- привод работает с максимальной потребляемой насосом мощностью и не зависит от нагрузки F_n ;
- рационально использовать при мощностях не более $N= 2–3$ кВт;
- не обеспечивает равномерное движение гидродвигателя, особенно при малых скоростях $v < 1$ м/мин.

Другой способ регулирования ГП на *выходе* [1–3] имеет свои отличительные особенности:

- обеспечивается более равномерное движение гидродвигателя, особенно при малых скоростях $v < 1$ м/мин, но при этом заметно снижается КПД гидросистемы;
- возможность исключения клапана противодавления и отвод выделяющегося тепла при дросселировании в бак;
- настройка предохранительного клапана на максимальное давление нагрузки, что сопровождается интенсивным тепловыделением;
- элементы гидродвигателя находятся под постоянным рабочим давлением, даже при холостом ходе.

4.2. Экспериментальная установка

Экспериментальный стенд входит в состав учебного комплекса дисциплины «Гидропривод и средства автоматики», позволяет осуществлять не только макетирование гидросистем, но и проводить испытание гидроаппаратов, исследовать их статические и динамические характеристики [7, 11, 22]. Применение гидравлических, электрогидравлических электрических устройств, расположенных на переходных монтажных плитах, позволяет осуществить оперативную сборку–разборку гидросхем на наборном поле стенда при помощи быстро-разъемных механических, гидравлических и электрических соединений.

Общий вид стенда приведен на рис. 15 и представляет собой единую конструкцию, включающую: монтажную панель 2, расположенную по обе стороны каркаса 1, электромагнитный пускатель 3, тумбы с элементами гидросистем 4, мерный резервуар 7, блок образцовых манометров 8, гидропневмоаккумулятор 20.

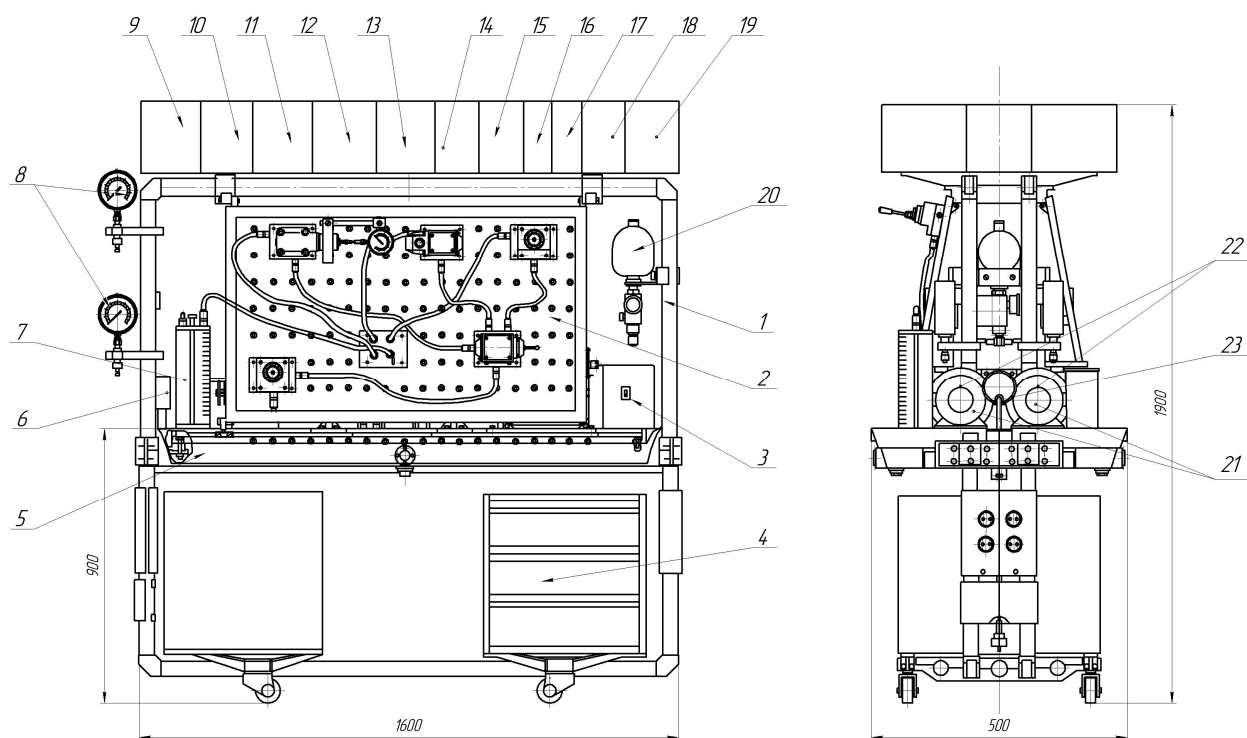


Рис. 15. Общий вид экспериментального стенда для макетирования гидропривода
(производство ЗАО «ЭКОИНВЕНТ»)

Ванна 5 оснащена стационарным термометром 6. Комплекты сменного электрогидравлического оборудования, рукава высокого давления, датчики и электрические кабели размещаются в ящиках тумбы 4.

Пространство между панелями 2 используется для размещения стационарных электро- и гидроагрегатов: приводных электродвигателей насосов 21, нагрузочных порошковых тормозов гидромоторов и блоков силовой автоматики 22, образующих две линейки силовых гидроагрегатов, каждая из которых предназначена для обслуживания одной монтажной панели. Снятие нагрузочных характеристик осуществляется при помощи установленных датчиков угловой скорости и момента силы 23.

Над монтажными панелями размещены блоки обработки сигналов, включающие модули: трансформаторов 9, стабилизатора 10, генератора и коммутатора 11, аналогового выхода 12, питания датчиков 13, масштабирования датчиков 14, индикации датчиков 15, операционных усилителей 16, таймера 17, генератора 18, управления электронные 19 (БУ1100 и БУ2100).

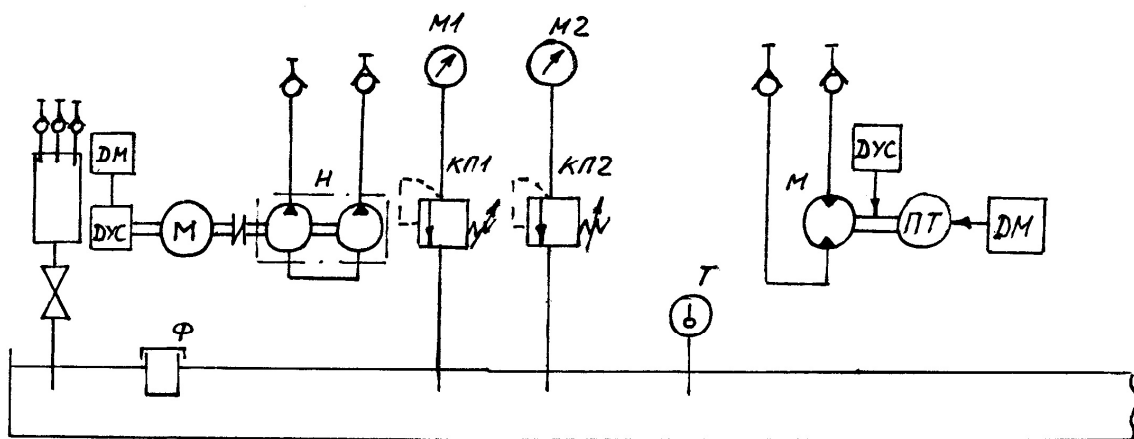


Рис. 16. Принципиальная гидравлическая схема экспериментального стенда

На рис. 16 представлена схема гидравлическая принципиальная стационарной части стенда, включающая две насосные станции, каждая из которых имеет электродвигатель M , оснащенный датчиком угловых скоростей $ДУС$ и датчиком момента $ДМ$, двухпоточный насос H , два предохранительных клапана

$KП1$, $KП2$, два манометра контроля исходного давления $MН1$, $MН2$, фильтр заливной Φ , мерный бак $МБ$, с тремя переменными штуцерами и сливным клапаном.

Силовую линейку образуют два спаренных агрегата, каждый из которых имеет гидромотор $М$, порошковый тормоз $ПТ$, датчик угловых скоростей $ДУС$, датчик момента $ДМ$.

4.3. Порядок выполнения работы

1) По блок-схеме гидропривода (рис.17) составить его принципиальную гидравлическую схему, используя элементную базу (см. прил. 3).

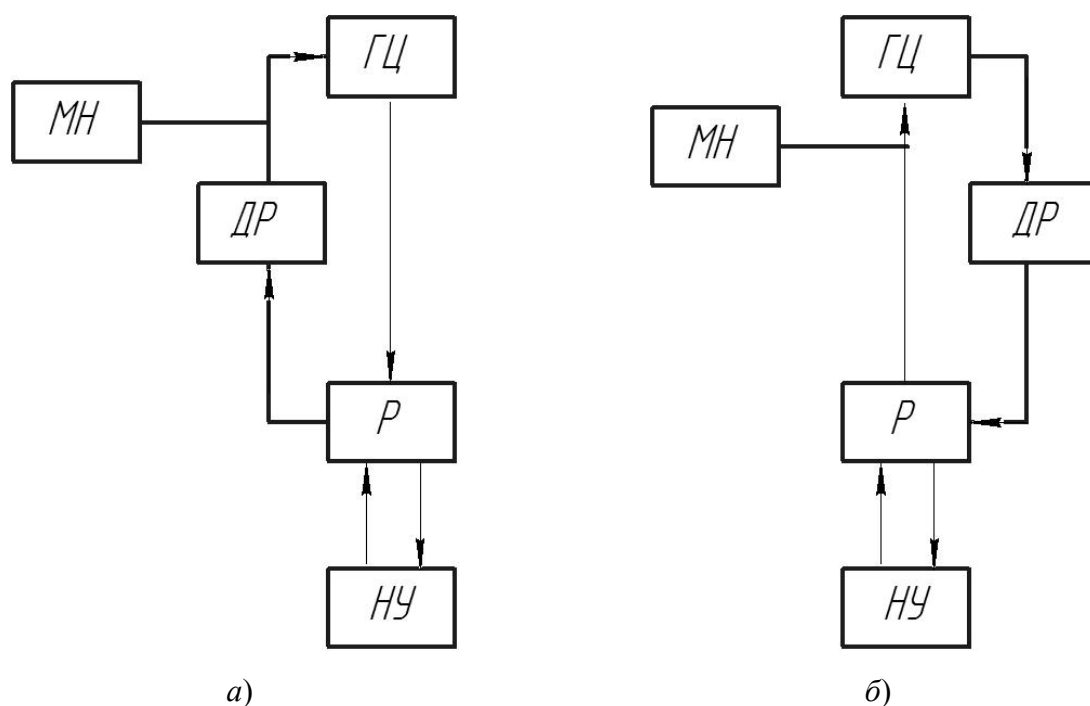


Рис.17. Блок-схема структуры гидропривода с последовательным дроссельным регулированием: a – на входе; $б$ – на выходе

2) С помощью программы «FluidSIM Hydraulics V 3.6 English» смоделировать схему регулировки скорости поршня, гидроцилиндра двухстороннего действия в соответствии с составленной схемой. Убедиться в правильности

смоделированной схемы, используя соответствующие значки программы «FluidSIM Hydraulics».

3) Ввести в программу реальные параметры привода, соответствующие элементам экспериментального стенда.

3.1) Гидростанция:

– давление – $2 \cdot 10^6$ Па;

– расход – $6,3 \cdot 10^{-4}$ м³/с (38 л/мин).

3.2) Распределитель 4/3 – четырехлинейный трехпозиционный с ручным управлением.

3.3) Гидроцилиндр двухстороннего действия:

– ход поршня – 200 мм;

– позиция поршня (Piston position) – 0;

– площадь поршня (Piston area) бесштоковой полости с внутренним диаметром цилиндра $d=16$ мм; штоковой полости с диаметром штока $d_{шт} = 10$ мм;

– полезная нагрузка (Force) – 0.

4) Выполнить макетирование составленной схемы на экспериментальном стенде, используя ту же элементную базу, что и при виртуальном моделировании.

Таблица 6

Результаты эксперимента

№ п.п.	Настройка дросселя	Время перемещения, с				Скорость перемещения v_n , м/с	Давление в ГЦ P_1 , Па
		t_1	t_2	t_3	$t_{ср}$		
1	0.1						
	1.1						
	2.1						
	5.1						

5) Отрегулировать необходимое давление гидростанции – $40 \cdot 10^6$ Па регулировочным винтом редукционного клапана гидростанции. Убедиться в работоспособности схемы, перекоммутировав распределитель при помощи рукоятки распределителя. Поршень гидроцилиндра должен двигаться свободно в обе стороны.

6) Полностью закрыть дроссель регулировочным маховиком. Убедиться, что поршень не перемещается.

7) Слегка приоткрыть дроссель маховиком (порядка 0,1 оборота), убедиться, что поршень движется в обе стороны. При помощи секундомера замерить время перемещения поршня. Замер произвести 3 раза и вычислить среднеарифметическое значение времени перемещения. Если одно из измеренных значений значительно отличается от остальных, его необходимо отбросить и повторить измерение. Измерить давление на манометре *М1*. Результаты зафиксировать и занести в табл. 6.

8) Зарегистрировать настройку дросселя, ориентируясь на шкалу дросселя. Повернуть на один оборот маховик дросселя относительно риски против часовой стрелки, приоткрывая при этом проходное сечение дросселя. Повторить замеры времени и давления по п. 7.

9) Замерять время перемещения поршня по п. 7 до тех пор, пока регулировка не перестанет влиять на увеличение скорости перемещения поршня. Зафиксировать все результаты измерений, в том числе и последний.

10) Построить графики зависимостей скорости, расхода, затраченной мощности и КПД от степени открытия дросселя (в оборотах открытия) и провести графический анализ с помощью программы «Advanced Grapher». Сделать выводы.

11) Собрать схему регулировки скорости перемещения поршня с установкой дросселя на выходе гидроцилиндра в соответствии с рис. 14, а, поз. 2.

12) Повторить действия в последовательности по пп. 6–10 для схемы с регулировкой скорости с дросселем на выходе гидроцилиндра.

13) Сравнить способы регулирования скорости перемещения гидроцилиндра для вариантов последовательной установки дросселя на входе и выходе. Сделать выводы об эффективности способов.

4.4. Обработка результатов эксперимента

Скорость перемещения поршня вычисляется по выражению:

$$v_{\text{п}} = L/t, \quad (29)$$

где L – ход штока цилиндра, м; t – время его перемещения, с.

Расход жидкости в рабочей полости гидроцилиндра вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{гц}} = V/t, \quad (30)$$

где V – объем рабочей полости гидроцилиндра, м³,

$$V = S_{\text{гц}} L, \quad (31)$$

здесь $S_{\text{гц}}$ – площадь сечения рабочей полости цилиндра, м².

Затраченная мощность гидропривода для выполнения необходимой работы [22] вычисляется как произведение давления, развиваемого насосной установкой, и ее максимального расхода:

$$N_3 = p_{\text{н.у}} Q_{\text{н.у}}, \quad (32)$$

где $p_{\text{н.у}}$ – давление насосной установки, МПа; $Q_{\text{н.у}}$ – расход насосной установки, м³/с.

Энергетическая эффективность гидросистем, с учетом всех его элементов, определяется КПД, который может быть найден из соотношений:

$$\eta_{\text{гц}} = \frac{N_{\text{п}}}{N_3} = \frac{F v_{\text{гц}}}{p_{\text{н.у}} Q_{\text{н.у}}} = \frac{p_{\text{гц}} Q_{\text{гц}}}{p_{\text{н.у}} Q_{\text{н.у}}} \eta_{\text{н.у}} \eta_{\text{гц}}, \quad (33)$$

где $N_{\text{п}}$ – полезная мощность, создаваемая гидроцилиндром, Вт; F – полезная нагрузка на штоке гидроцилиндра, Н; $p_{\text{гц}}$ – давление жидкости в рабочей полости гидроцилиндра, МПа; $\eta_{\text{н.у}} = 0,92$ – КПД насосной установки; $\eta_{\text{гц}} = 0,9$ – КПД гидроцилиндра.

Для расчета полного давления, создаваемого в нагнетательной полости гидроцилиндра, воспользуемся уравнением Д. Бернулли для потока вязкой жидкости:

$$p_{\text{гц}} = p_{\text{ст}} + p_{\text{дин}} = p_{\text{изб}} + \frac{\rho \cdot v_{\text{гц}}^2}{2}, \quad (34)$$

где $p_{\text{ст}}$ – гидростатическое давление, Па; $p_{\text{дин}}$ – гидродинамическое давление, Па; $p_{\text{изб}}$ – давление в напорной полости гидроцилиндра, Па; ρ – плотность рабочей жидкости, принимаем для индустриального масла $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.

Поскольку измерить давление непосредственно в полости цилиндра затруднительно, особенно во время его движения, за статическое давление можно принять давление непосредственно перед входом в гидроцилиндр, допуская, что они несущественно отличаются.

Контрольные вопросы

1. Объяснить поведение функций полезной и затраченной мощности в зависимости от давления на входе.
2. Объяснить физический смысл объемного, гидравлического и механического КПД с точки зрения энергетической характеристики гидропривода. Чем равен общий КПД нерегулируемого гидропривода?
3. Объяснить характер графика функции зависимости КПД гидропривода от давления на входе и выходе.
4. Чем объясняется значение КПД гидропривода при дроссельном способе регулировки скорости на входе и выходе?

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОПРИВОДА ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ ДРОССЕЛИРОВАНИИ

Цель работы

1. Ознакомиться с принципами регулирования скорости рабочего органа линейного гидропривода.
2. Приобрести навыки расчета гидроприводов дроссельного регулирования.
3. Изучить динамические характеристики гидропривода при параллельном дроссельном регулировании.

5.1. Краткие теоретические сведения

Гидравлический привод есть совокупность гидравлических устройств и машин, предназначенных для преобразования и передачи энергии на расстояние посредством жидкости [1, 3].

Основным эксплуатационным параметром гидропривода является его полезная мощность $N_{гп}$, которую можно определить по формулам:

для гидроцилиндров

$$N_{эп} = F_{п} \cdot v_{п}, \quad (35)$$

для гидромоторов и поворотных гидроцилиндров:

$$N_{гп} = F_{м} \cdot v_{м}, \quad (36)$$

где $F_{п}$ – усилие, преодолеваемое поршнем гидроцилиндра, Н; $v_{п}$ – скорость перемещения поршня гидроцилиндра, м/с; $M_{м}$ – момент сопротивления на валу гидромотора, Н/м; $\omega_{м}$ – угловая скорость вала гидромотора, c^{-1} .

Скорость выходного звена гидропривода ($v_{\text{п}}$ и $\omega_{\text{м}}$) определяется величиной подводимого расхода рабочей жидкости:

$$v_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{д}}}{S_1}, \quad (37)$$

$$\omega_{\text{м}} = \frac{2\pi Q_{\text{д}}}{q} \eta_o, \quad (38)$$

где $Q_{\text{д}}$ – расход, подводимый к гидродвигателю, $\text{м}^3/\text{с}$; S_1 – эффективная площадь гидроцилиндра, м^2 ; q – рабочий объем гидромотора, м^3 ; η_o – объемный КПД гидромотора.

Таким образом, изменяя расход, подводимый к гидродвигателю, можно регулировать мощность, развиваемую гидроприводом.

Дроссельное регулирование гидроприводом осуществляется за счет частичного сброса жидкости от насоса в бак, минуя гидродвигатель.

Главным недостатком дроссельного способа регулирования гидроприводов является его низкий гидромеханический КПД:

$$\eta_{\text{гп}} = \frac{N_{\text{гп}}}{N_{\text{в.н}}}, \quad (39)$$

где $\eta_{\text{гп}}$ – КПД гидропривода; $N_{\text{в.н}}$ – мощность на валу насоса, Вт.

Низкий КПД дроссельного способа регулирования объясняется тем, что часть жидкости, перекачиваемой насосом, сбрасывается на слив помимо гидродвигателя при высоком давлении, при этом происходит разогрев рабочей жидкости [8]. Кроме того, к существенному недостатку дроссельного регулирования относится неравномерность движения выходного звена гидропривода при переменной нагрузке на нем, если в качестве регулятора используется обычный дроссель.

Для устранения этого недостатка в гидроприводе с дроссельным регулированием используются специальные устройства – регуляторы расходов (более подробно см. лаб. работу № 4) .

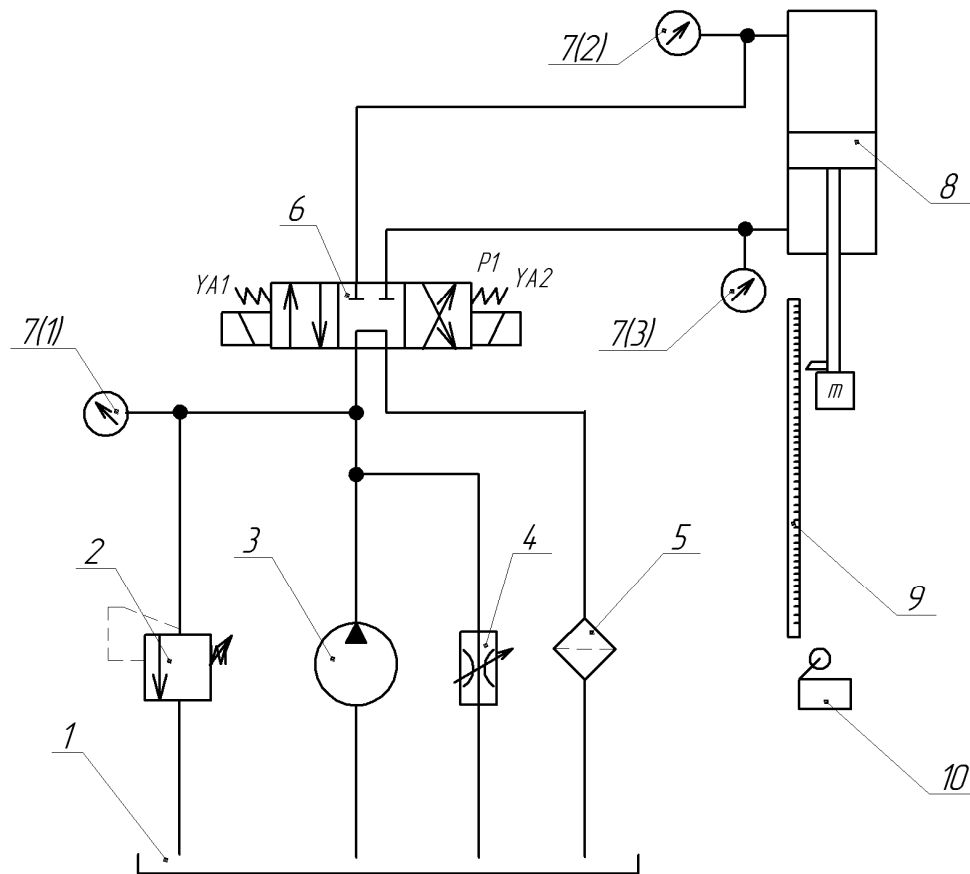


Рис. 18. Принципиальная гидравлические схема
параллельного дроссельного регулирования скорости гидропривода

При регулировании параллельным дросселированием, в соответствии со схемой на рис.18, весь расход от насоса делится на две части:

$$Q_n = Q_d + Q_{сл}, \quad (40)$$

где Q_n – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{сл}$ – расход, сбрасываемый на слив через регулирующий дроссель, $\text{м}^3/\text{с}$.

В этом случае полезная мощность насоса может быть определена по формуле:

$$N_n = p_n Q_n = p_n (Q_d + Q_{сл}), \quad (41)$$

где p_n – давление, развиваемое насосом, Па.

Из выражения (41) очевидно, что теряемая мощность при регулировании параллельным дросселированием может быть определена по формуле:

$$N_{пер} = p_n Q_{сл}. \quad (42)$$

Коэффициент полезного действия данного способа регулирования находят по выражению:

$$\eta_{\text{рег}} = \frac{N_{\text{д}}}{N_{\text{н}}} = \frac{(Q_{\text{н}} - Q_{\text{сл}})p_{\text{н}}}{Q_{\text{н}}p_{\text{н}}} = \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{сл}}}{Q_{\text{н}}}. \quad (43)$$

Из выражения (43) видно, что чем в больших пределах производится регулирование скорости параллельным дросселированием, тем меньше его КПД.

5.2. Экспериментальная установка

Лабораторный стенд, принципиальная гидравлическая схема которого представлена на рис. 18, позволяет осуществить экспериментальные исследования параллельного дроссельного регулирования.

Стенд включает в себя: насосную станцию с насосом 3 и предохранительным клапаном 2, фильтром 5 и гидробаком 1. Параллельно насосу установлен дроссель 4, используемый при регулировании скорости выходного звена. Распределитель 6 предназначен для управления направлением движения исполнительным гидродвигателем – гидроцилиндром 8. Контроль параметров по величине давления осуществляется по манометрам – 7(1), 7(2) и 7(3), установленных после насоса, в напорной и сливной линиях гидроцилиндра соответственно.

Возврат в первоначальное положение гидроцилиндра 8 выполняется с помощью конечного выключателя 10 при его полном выдвижении. Исследования могут проводиться при различных нагружениях выходного звена с использованием грузов массой m . Оценка перемещения штока гидроцилиндра ведется с использованием линейки 9.

В начальном положении на электромагниты распределителя 6 не должно подаваться напряжение – он находится в центральной позиции.

5.3. Порядок выполнения работы

1) Запустить насосную станцию стенда.

2) Распределителем 6 перевести поршень гидроцилиндра в исходное положение вверх (если он находится в промежуточном положении).

3) Прикрывая дроссель 4, по манометру 7(1) установить давление, заданное преподавателем (до 9 МПа). Поршень при этом должен быть неподвижным.

4) Показания всех манометров 7(1), 7(2), 7(3) и амперметра на приборной панели стенда записать в табл. 7.

5) Приоткрывая дроссель 4, установить по манометру 7(3) новое значение давления (задается преподавателем). Переключить распределитель 8 в левое положение. В момент когда поршень цилиндра начнет выдвигаться, одновременно включить отсчет времени секундомером.

6) При достижении поршнем цилиндра крайнего верхнего положения выключить секундомер и вернуть поршень цилиндра в исходное положение.

7) Записать показания секундомера, манометров и амперметра в табл. 7.

8) Вернуть поршень цилиндра в исходное положение. Для этого установить распределитель 6 в правую позицию, после чего установить его в центральное положение.

9) Выполнить действия по пп. 5–7 при различных показаниях манометра 7(3), вплоть до полного открытия дросселя 4.

10) Выключить насосную станцию, обесточить пульт управления стенда.

Таблица 7

Результаты эксперимента

Номер замера	Ход поршня, м	Время хода, с	Показания амперметра, А	Показания манометров, Па		
				МН1	МН2	МН3
1						
2						
3						
4						
5						

5.4. Обработка результатов эксперимента

Используя полученные экспериментальные данные, рассчитать энергетические параметры гидропривода.

1) Скорость движения поршня

$$v = \frac{L}{t}, \quad (44)$$

где L – длина хода, м; t – время хода, с.

2) Нагрузка на поршне при выдвигании штока

$$F = P_{\text{пд}} S_1, \quad (45)$$

где $P_{\text{пд}}$ –противодавление на поршне (показания манометра 7(3); S_1 – эффективная площадь поршня со стороны противодавления (площадь поршня со стороны штоковой полости)

$$S_1 = \frac{\pi d_{\text{п}}^2}{4}, \quad S_2 = \frac{\pi d_{\text{шт}}^2}{4}, \quad (46)$$

здесь $d_{\text{п}}$ и $d_{\text{шт}}$ – диаметр поршня и штока гидроцилиндра, равные 50 и 20 мм соответственно.

3) Полезная мощность, развиваемая гидроприводом

$$N_{\text{п}} = F_{\text{п}} v_{\text{п}},$$

4) Затраченная мощность (мощность на валу насоса)

$$N_{\text{вн}} = N_{\text{эд}} \cdot \eta_{\text{эд}}, \quad (47)$$

где $N_{\text{вн}}$ – затраченная мощность гидропривода, кВт; $N_{\text{эд}}$ – потребляемая мощность электродвигателя, кВт; $\eta_{\text{эд}}$ – КПД электродвигателя (принять равным $\eta_{\text{эд}}=0,98$).

$$N_{\text{эд}} = 3 I_{\text{А}} U \cos \varphi, \quad (48)$$

где $I_{\text{А}}$ – показания амперметра; U – напряжение питающей сети (принять равным $U=380$ В); $\cos \varphi=0,75$ – коэффициент, учитывающий шунтирующее сопротивление.

5) КПД гидропривода:

$$\eta_{\text{пер}} = \frac{N_{\text{н}}}{N_{\text{в.н}}} \quad (49)$$

6) По результатам расчетов заполнить табл. 8.

Таблица 8

Результаты обработки экспериментальных данных

Номер опыта	Скорость поршня v , м/с	Нагрузка F , Н	Полезная мощность $N_{\text{п}}$, кВт	Затраченная мощность $N_{\text{вн}}$, кВт	КПД гидропривода $\eta_{\text{пер}}$, %
1					
2					
3					
4					
5					

По результатам проведенной работы дать краткую характеристику способа регулирования параллельным дросселированием. Построить графики функций $v = f(F)$, $\eta = f(F)$, $\eta = f(v)$, используя данные табл. 8.

Контрольные вопросы

1. В чем особенности способа регулирования выходного звена гидропривода параллельным дросселированием?
2. Какие меры принимаются во избежание неравномерности движения выходного звена гидропривода при переменной нагрузке при дроссельном регулировании?
3. Объяснить характер графиков зависимостей $v = f(F)$, $\eta = f(F)$, $\eta = f(v)$ при параллельном дросселировании.
4. В чем отличие регулирования скорости выходного звена при различных способах дросселирования?

Лабораторная работа № 6
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ
РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРОМОТОРА

Цель работы

1. Изучить конструктивную схему аксиально-поршневого гидромотора и его основные характеристики.
2. Ознакомиться с принципами регулирования и стабилизации скорости выходного звена ротационного гидропривода.
3. Экспериментально определить основные характеристики гидропривода в зависимости от режимов его нагружения.

6.1. Краткие теоретические сведения

Наибольшее распространение в гидроприводостроении получили объемные ротационные гидродвигатели, особенно машины аксиально-поршневого типа с наклонным диском. Рассмотрим конструкцию такой аксиально-поршневой гидромашины [14, 15] на примере гидромотора Г 15-2 (рис.19).

Отличительной особенностью гидромотора с наклонным диском является двойной ротор, состоящий из блока цилиндров 2 и направляющей 4. В блоке цилиндров расположены поршни 3, а в направляющей – толкатели 5, находящиеся в точечном контакте со специальным упорным шариковым подшипником 8, закрепленным в передней крышке 6. Вращающий момент, затрачиваемый на преодоление сил трения в торцевом распределителе и сил инерции цилиндрического блока, передается с направляющей на блок цилиндров посредством штифта 10 при подаче жидкости в каналы 12.

Благодаря этому блок цилиндров разгружен от радиальных составляющих сил давления жидкости со стороны поршней. На выходном валу 7 блок ци-

линдров центрируется только узким пояском, что позволяет ему самоустанавливаться по плоскости распределения. Первоначальный поджим блока цилиндров к распределителю осуществляется тремя пружинами 9, а во время работы – силами давления жидкости на торцевые поверхности цилиндров блока. Наружные утечки из корпуса 11 отводятся через дренажное отверстие. Выходной вал установлен на шарикоподшипниках, задний из которых расположен в крышке 1, выполняющей роль распределительного диска узла торцевого распределения 14. Высокое удельное давление в месте контакта сферических поверхностей толкателей и упорного шарикоподшипника ограничивает допустимое номинальное давление в таких гидромоторах до $p = 6,3$ МПа.

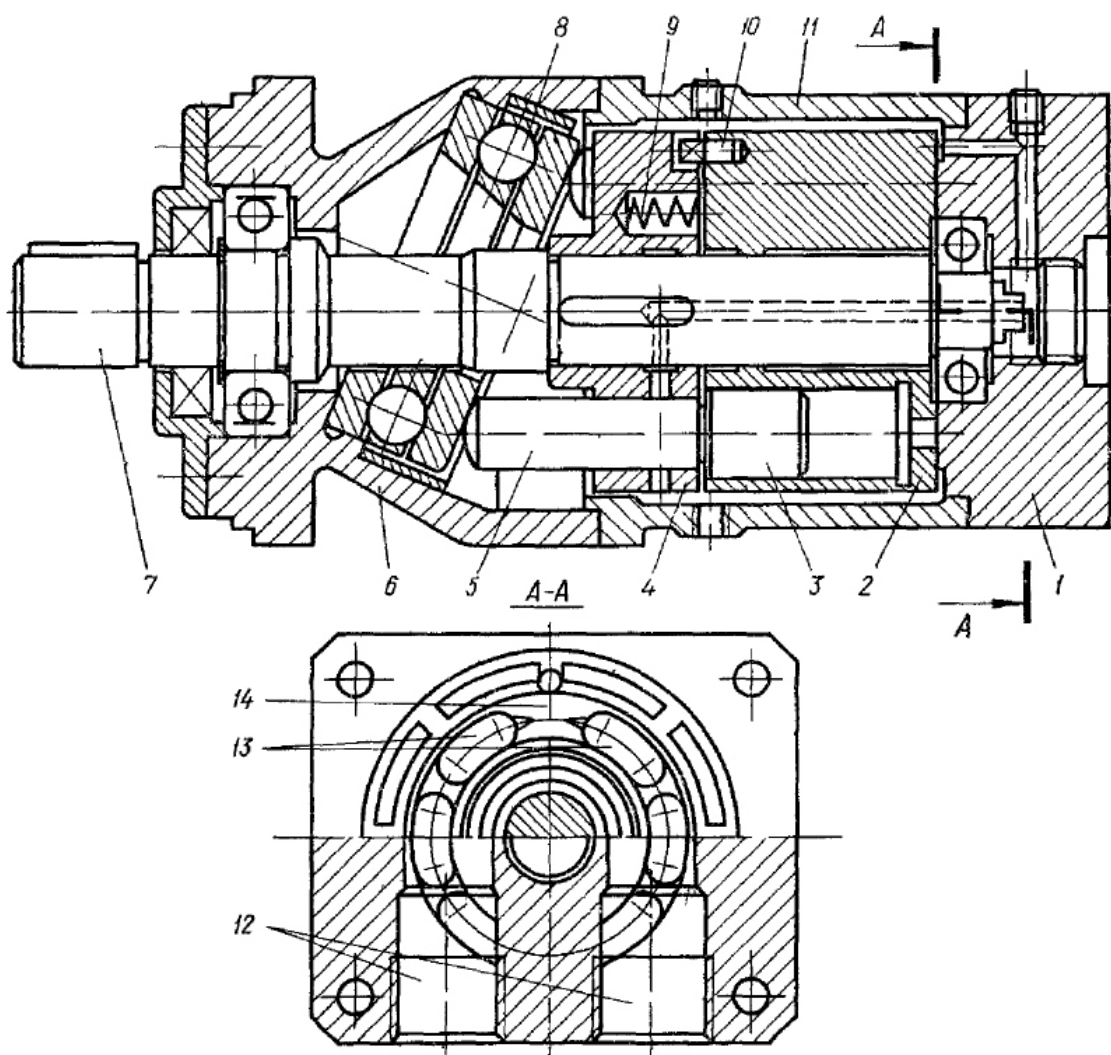


Рис.19. Конструкция аксиально-поршневого гидромотора тип. Г15-2

Когда жидкость через отверстия в задней крышке 13 и узел торцевого распределения подводится под высоким давлением из напорной гидромагистрали в рабочие камеры, на толкателях 5 возникают радиальные силы, которые создают вращающий момент на направляющей 4 и вращают выходной вал 7.

Гидромоторы Г15-2...Р отличаются применением более долговечных подшипников и улучшенных материалов [13, 15], обеспечивающих повышение ресурса. Гидромоторы типа Г15-2...М содержат в конструкции регулятор давления, размещенный непосредственно в корпусе гидромотора и автоматически поддерживающий постоянный перепад давления на дросселе при дроссельном регулировании скорости, а следовательно, и расход масла, поступающий в гидромотор. При этом обеспечивается малая зависимость частоты вращения от нагрузки.

Объемная машина может быть использована в генераторном (насосном) режиме и режиме гидродвигателя.

Характеристики роторных (объемных) машин в их стационарных режимах работы необходимы для определения параметров совместной либо раздельной работы гидромашин при различных кинематических и силовых показателях. Приведем основные из них.

Рабочий объем – изменение объема рабочих камер гидромотора за один оборот ротора:

$$q_m = Vzim, \quad (50)$$

где V , z – объем рабочей камеры, м^3 и их количество соответственно; i – количество рядов рабочих камер; m – количество рабочих циклов, выполняемых камерой за оборот ротора.

Потребляемый гидромотором расход:

$$Q_m = \frac{q_m n_m}{\eta_0} = \frac{q_m \omega}{2\pi\eta_0}. \quad (51)$$

Скоростная характеристика гидромотора определяется частотой вращения его вала:

$$n_m = \frac{Q_{\text{гм}}}{q_m} \eta_0. \quad (52)$$

Важным кинематическим параметром является жесткость скоростной характеристики при постоянном подводимом расходе $Q_{\text{гм}}$ [21]. Из выражения (52) следует, что при постоянном $Q_{\text{гм}}$ жесткость скоростной характеристики зависит от величины и характера изменения объемных потерь гидромотора, учитываемых объемным КПД:

$$\eta_0 = \frac{Q_{\text{т}}}{Q}. \quad (53)$$

Механический КПД при работе гидромотора

$$\eta_{\text{м}} = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{т}}}, \quad (54)$$

где $M_{\text{п}}$ – полезный момент на валу гидромотора, Н·м.

В итоге, потребляемая гидромотором мощность

$$N_{\text{гм}} = \frac{\Delta p Q}{60}, \quad (55)$$

где Δp – перепад давления на гидромоторе, МПа.

Отдаваемая гидромотором мощность

$$N_{\text{п}} = \frac{M_{\text{п}}}{9552,2}. \quad (56)$$

Гидравлические и механические потери энергии характеризуются полным или эффективным КПД. Его рассчитывают по формуле:

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{гм}}} = \frac{M_{\text{п}}}{152,2 \cdot \Delta p Q} = \eta_0 \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{г}}; \quad (57)$$

6.2. Экспериментальная установка

Экспериментальный стенд состоит из насосной установки, исследуемого гидромотора, регулирующей и управляющей гидроаппаратуры, контрольно-измерительного комплекса (рис.20).

При запуске насосной установки рабочая жидкость из бака 1 подается насосом 2 через фильтр 3, пусковой распределитель 6 в напорную полость гидро-

мотора 7. Давление рабочей полости в напорной гидролинии определяется настройкой предохранительного клапана 4 и контролируется манометром 5 (1).

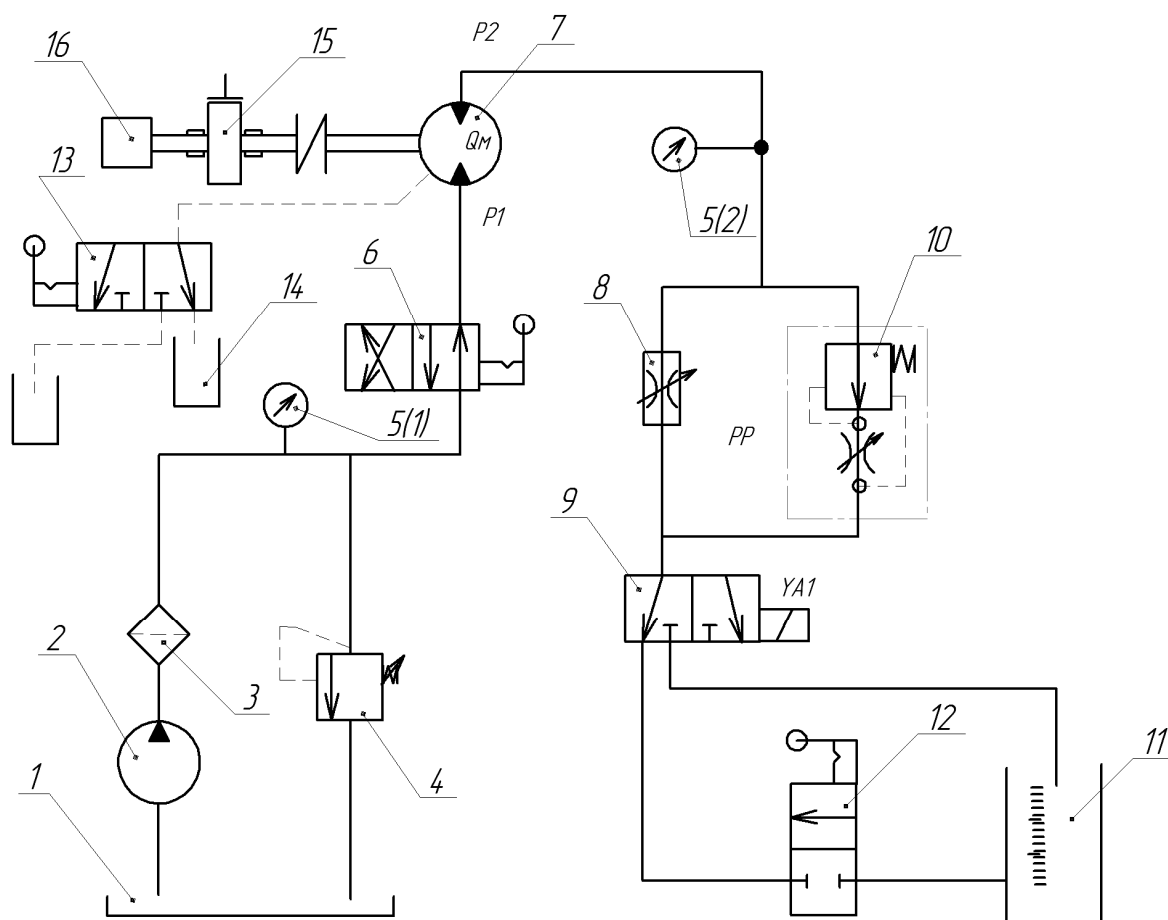


Рис. 20. Гидравлическая схема экспериментального стенда

Слив рабочей жидкости из гидромотора осуществляется через переменный дроссель 8 (Г77-11) или регулятор расхода 10 (Г55-21) (в зависимости от заданного варианта схемы с дросселированием «на выходе»), распределитель 9 в бак 1. При замере расхода гидромотора включением электромагнита YA1 распределителя 9 жидкость поступает в мерную колонку 11. Распределитель 12 обеспечивает сброс рабочей жидкости из мерной колонки. Включением распределителя 13 утечки гидромотора направляются во вторую мерную колонку 14.

Давление на выходе гидромотора контролируется манометром 5 (2). Крутящий момент нагрузки гидромотора создается тормозом 15 за счет изменения усилия натяжения ленты регулировочным винтом.

Частота вращения вала гидромотора n_m изменяется настройкой дросселя 8 или регулятора расхода 10, контролируется датчиком скорости 16, состоящим из тахогенератора, электросхемы и прибора со шкалой для измерения частоты вращения вала гидромотора.

Расход жидкости и объемные потери гидромотора определяются объемным способом с использованием мерных колонок 11, 14 и секундомера:

$$Q_i = \frac{60V_i}{t_3}, \quad (58)$$

где V_i – объем жидкости, заполняющей мерный бак (для бака 11 – $V_1 = 2 \cdot 10^3 \text{ см}^3$, для бака 14 – $V_2 = 50\text{--}100 \text{ см}^3$); t_3 , – время заполнения объема бака V_1 или V_2 .

Регулятор потока – это сложный регулирующий гидроаппарат, предназначенный для поддержания постоянного расхода рабочей жидкости независимо от перепада давления на нем [24].

Конструктивная схема регулятора потока представлена на рис. 21 и состоит из корпуса 1, в который встроены регулируемый дроссель 2 и клапан разности давления 3, поддерживающий постоянный перепад давления на дросселе, а следовательно, и постоянный расход.

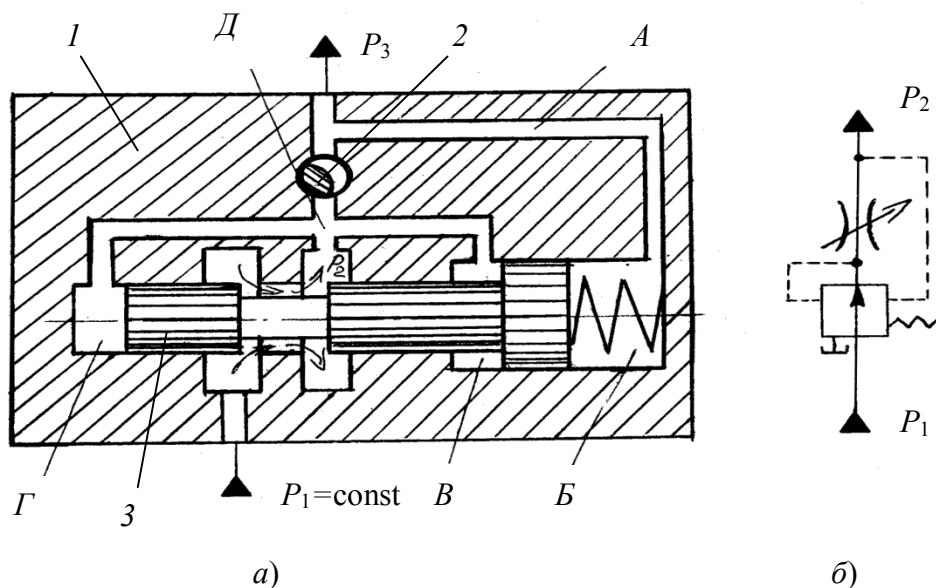


Рис. 21. Регулятор расхода:

а – конструктивная схема; б – условное обозначение

При повышении давления P_3 перепад давления Δp уменьшается, а следовательно, p_2 увеличивается, золотник РП перемещается влево.

$$p_3 \frac{\pi D^2}{4} + f_{\text{пр}} = p_2 \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) + p_1 \frac{\pi d^2}{4}, \quad (59)$$

$$\Delta p = p_2 - p_3 = \frac{4p_{\text{пр}}}{\pi D^2} = \text{const}, \quad (60)$$

где D, d – внешний и внутренний диаметры золотника регулятора расхода соответственно, м.

Если происходит уменьшение p_3 , то Δp повышается и золотник смещается вправо, а следовательно, расход будет поддерживаться на постоянном уровне:

$$Q = \mu f_{\text{др}} u_{\text{др}} \sqrt{\frac{2\Delta p_{\text{др}}}{\rho}} = \text{const}, \quad (61)$$

где μ – коэффициент расхода критичной части регулятора расхода; $f_{\text{др}}$ – площадь дросселируемого канала, м²; $u_{\text{др}}$ – величина открытия, м; ρ – плотность, кг/м³.

6.3. Порядок выполнения работы

В ходе экспериментальных исследований требуется определить характеристики гидромотора при разных режимах нагружения, при задаваемых преподавателем значениях перепадов давления Δp_{mi} на гидромоторе и фиксированной частоте вращения n_m .

Для проведения эксперимента необходимо:

1) Снять показания манометров 5(1) и 5(2), вычислив данные значений перепадов давления $\Delta p_{m1} \dots \Delta p_{m5}$ и частоты вращения n_m .

Таблица 9

Данные эксперимента с дросселем (ДР)

Номер опыта	Давление на нагнетании p_1 , МПа	Давление на сливе p_2 , МПа	$n_{\text{ГМ}}$, мин ⁻¹	Объем жидкости V , см ³	Объем утечек V_y , см ³	Время t_y , с
1						
2						
3						
4						
5						

Данные эксперимента с регулятором расхода (РР)

Номер опыта	Давление на нагнетании p_1 , МПа	Давление на сливе p_2 , МПа	$n_{ГМ, -1}$	Объем жидкости V , см ³	Объем утечек V_y , см ³	Время t_y , с
1						
2						
3						
4						
5						

2) Нагружая гидромотор 7 ленточным тормозом 15 (см. рис. 20), последовательно устанавливая перепады давления Δp_{mi} по исходным данным табл. 9 и 10, определить изменение скоростной характеристики n_m , замерить утечку гидромотора Q_{yi} для двух вариантов гидропривода (с Г77-11 и Г55-21).

3) Выполнить расчет $Q_{ГМ}$, η_o , $q_{ГМ}$, $M_{ГМ}$ в соответствии с методикой, занести результаты расчетов в табл. 11 и 12.

4) Построить совмещенные графики зависимостей $Q_{ГМ}=f(\Delta p)$, $n_{ГМ}=f(M_{п})$, $q_{ГМ}=f(M_{п})$, $\eta_o=f(M_{п})$ для двух вариантов схем.

5) Проанализировать результаты эксперимента, сравнить полученные характеристики гидромотора с техническими (паспортными) данными [14, 15], определить его типоразмер.

6) Сформулировать выводы, рекомендации по улучшению характеристик гидромотора в исследуемом приводе.

7) Оформить и представить к защите отчет о выполненной работе.

6.4. Обработка результатов эксперимента

Рассчитать характеристики гидродвигателя.

1) Перепад давления в напорной и сливной линиях гидромотора:

$$\Delta p = p_1 - p_2, \quad (62)$$

где p_1 , p_2 – давление в напорной и сливной линии гидромотора соответственно, МПа.

2) Расход аксиально-поршневого гидромотора

$$Q_{\text{ГМ}} = \frac{V}{t}, \quad (63)$$

где V – объем жидкости в мерном резервуаре, м^3 ; t – время заполнения мерного резервуара, с.

3) Расход, затрачиваемый на утечки гидромотора

$$Q_y = \frac{V_y}{t_y}, \quad (64)$$

где V_y – объем жидкости в мерном резервуаре утечек, м^3 ; t_y – время заполнения мерного резервуара утечек, с.

4) Объемный КПД гидромотора

$$\eta_o = 1 - \frac{Q_y}{Q_{\text{ГМ}}}. \quad (65)$$

5) Для аксиально-поршневого гидромотора рабочий объем

$$q_{\text{ГМ}} = \frac{Q_{\text{ГМ}}}{m\eta_o}. \quad (66)$$

6) Крутящий момент на валу гидромотора

$$M_{\text{ГМ}} = \frac{\Delta p q_{\text{ГМ}}}{2\pi}. \quad (67)$$

Таблица 11

Результаты обработки данных эксперимента (ДР)

Номер опыта	Перепад давления $\Delta p_{\text{ГМ}}$, МПа	Расход утечек Q_y , $\text{см}^3/\text{мин}$	Объемный КПД η_o	Рабочий объем ГМ $q_{\text{ГМ}}$, см^3	Момент на валу ГМ $M_{\text{ГМ}}$, Н·м
1					
2					
3					
4					
5					

Результаты обработки данных эксперимента (РР)

Номер опыта	Перепад давления $\Delta p_{ГМ}$, МПа	Расход утечек Q_y , см ³ /мин	Объемный КПД η_o	Рабочий объем ГМ $q_{ГМ}$, см ³	Момент на валу ГМ $M_{ГМ}$, Н·м
1					
2					
3					
4					
5					

По результатам работы, на основании выполненных расчетов (табл.11 и 12) сделать выводы о качестве и целесообразности регулирования дросселем и регулятором расхода в гидроприводе. Построить графики зависимостей $Q_{ГМ}=f(\Delta p)$, $n_{ГМ}=f(M_{П})$, $q_{ГМ}=f(M_{П})$, $\eta_o=f(M_{П})$ для двух рассмотренных способов регулирования.

Контрольные вопросы

1. Объясните устройство и принцип действия ротационных гидродвигателей объемного типа.
2. Назовите отличительные особенности конструкции аксиально-поршневого гидромотора.
3. Для каких целей применяется регулятор расхода? Объясните особенности конструкции и принцип его работы.
4. Насколько эффективно регулирование гидродвигателя при помощи дросселя и регулятора расхода?
5. Сделайте сравнительный анализ по результатам работы о преимуществах способов регулирования гидродвигателя.

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ЦИКЛОМ ГИДРОПРИВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

Цель работы

1. Изучить различные схемы установки реле давления и клапана давления и их влияние на работу прямого и обратного хода штока цилиндра.
2. Приобрести практические навыки по разработке, сборке и макетированию схем с применением гидравлических и электрогидравлических элементов гидропривода.
3. Закрепить теоретические знания по разделу «Устройства и элементы гидропривода».

7.1. Краткие теоретические сведения

В гидравлических системах в качестве элементов автоматики широко применяются электрогидравлические устройства [19, 22], предназначенные для ее регулирования, настройки и предохранения. Наиболее распространены электрогидравлические клапаны, позволяющие быстро и эффективно воздействовать на поток рабочей жидкости и осуществлять рабочие циклы привода. На рис. 22 представлен типовой электрогидравлический распределитель четырехпоточный, двухлинейный [9, 26], который имеет в левой части встроенный электромагнит постоянного тока I , представляющий собой «магнит, работающий в масляной среде», так называемый «мокрый магнит». Якорь работает в масле, чем достигается уменьшение износа, хороший теплоотвод и демпфирование ударов якоря при переключении. Якорное пространство связано со сливной магистралью. В центральной части распределителя 2 расположен четырехкромочный золотник 3 с двумя проточками.

Распределитель имеет два рабочих выхода A и B , канал соединения линии питания P и канал присоединения линии слива T . Якорное пространство и пространство с возвратной пружиной 4 через канал L постоянно связаны со сливной магистралью.

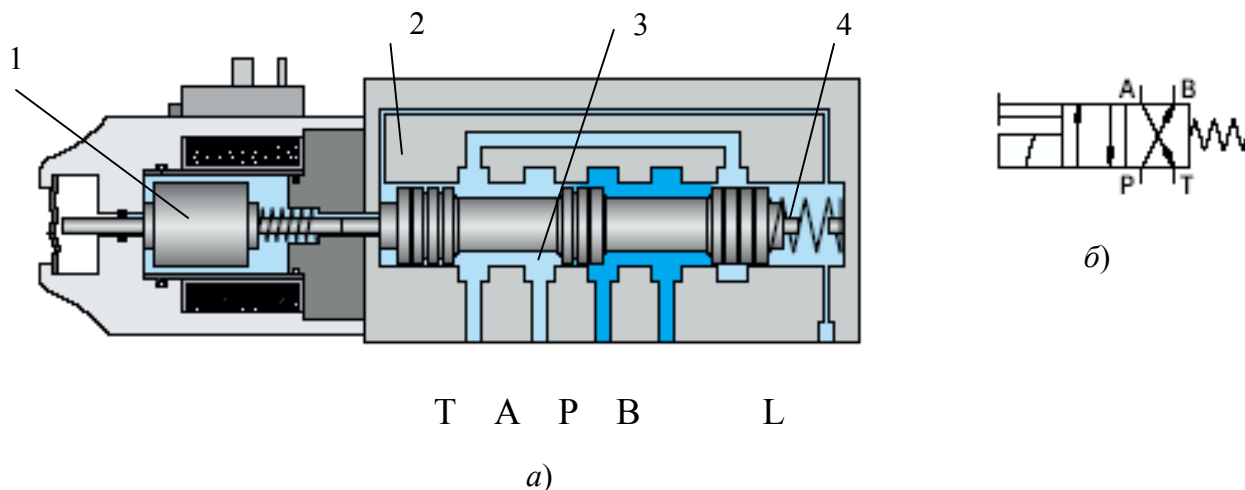


Рис. 22. Распределитель 4/2 с электромагнитным управлением:
 a – конструктивная схема; b – условное обозначение

Довольно часто в гидроприводе применяются реле давления для устройств наблюдения или контроля. Они позволяют размыкать, замыкать или переключать цепь (контакты), когда в точке установки достигается давление настройки. Давление в гидросистеме действует на площадь плунжера реле давления (рис. 23). Возникающая на плунжере сила действует против силы упругости настраиваемой пружины, плунжер начинает двигаться и передвигает контактную группу. В реле давления с механическим приводом контактной группы вместо спиральной пружины могут быть использованы диафрагма, сильфоны или трубка Бурдона [1, 20].

Реле давления позволяет настраивать давление, при достижении которого подается электрический сигнал за счет нормально разомкнутых или нормально замкнутых контактов [9, 22].

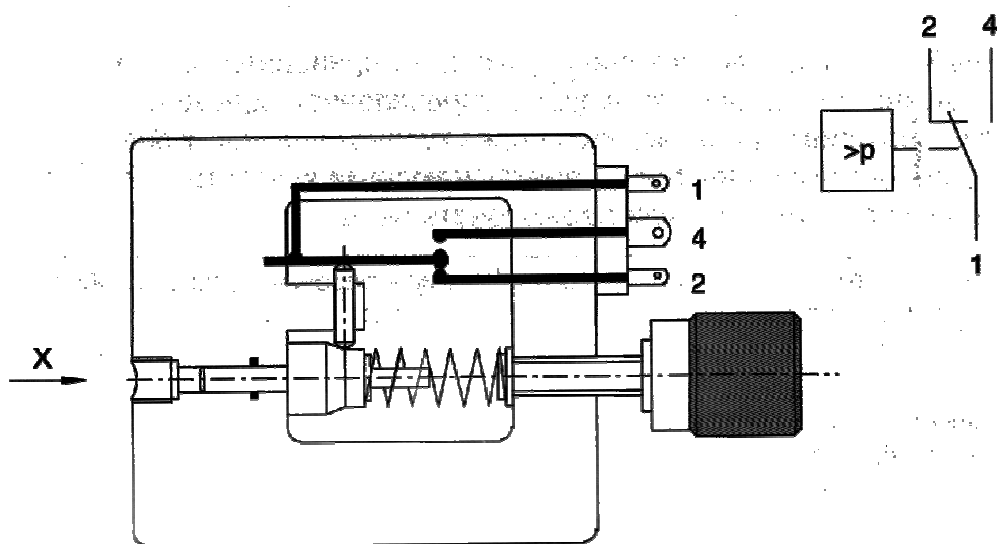


Рис. 23. Электрическое реле давления

Эти элементы электроуправления обозначаются на принципиальных схемах в соответствии с ГОСТ 2.702-2011 ЕСКДН. Некоторые из них представлены на рис. 24.

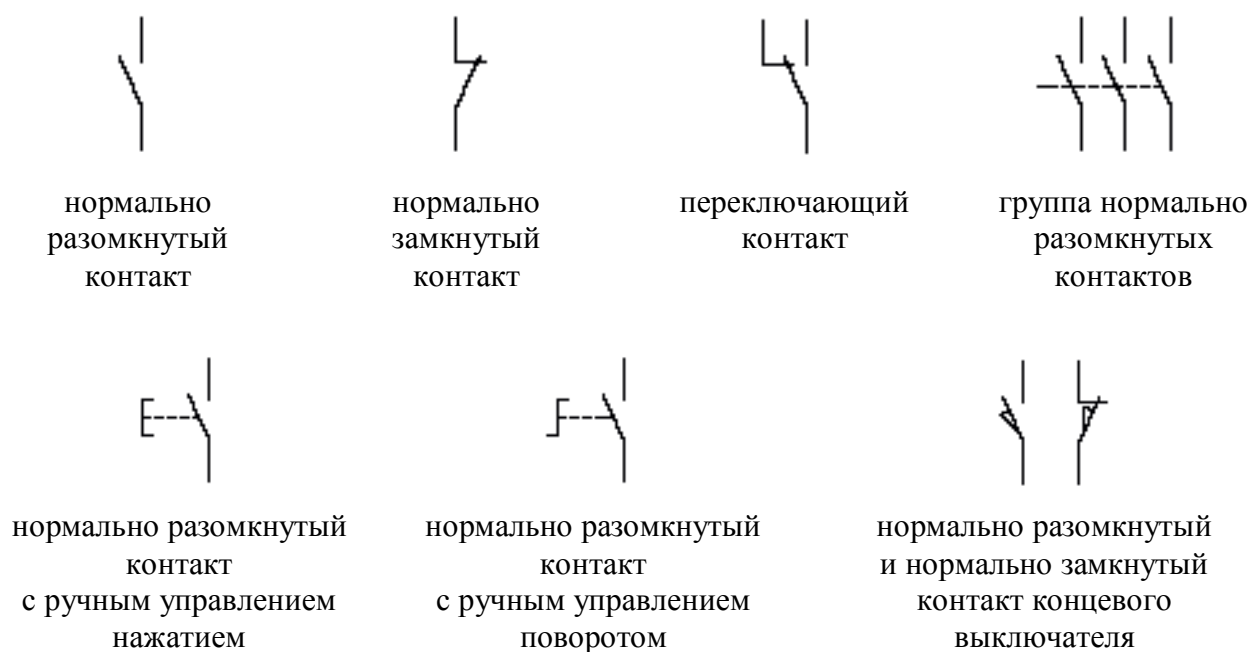


Рис. 24. Условные обозначения электрических элементов управления

Элементы электроавтоматики позволяют автоматизировать рабочий цикл гидропривода и вместе с тем облегчают настройку и эксплуатацию привода [24].

На рис. 25 и 26 соответственно представлены гидравлическая и электрическая схемы привода, предназначенного для перемещения части хода штока гидроцилиндра с одним усилием, а другую часть перемещения – с другим усилием. Перемещение первой и второй части задается установкой конечного переключателя 1S. Управление движением штока гидроцилиндра происходит с помощью 4/2 – распределителя 1Y1 с односторонним электромагнитным управлением.

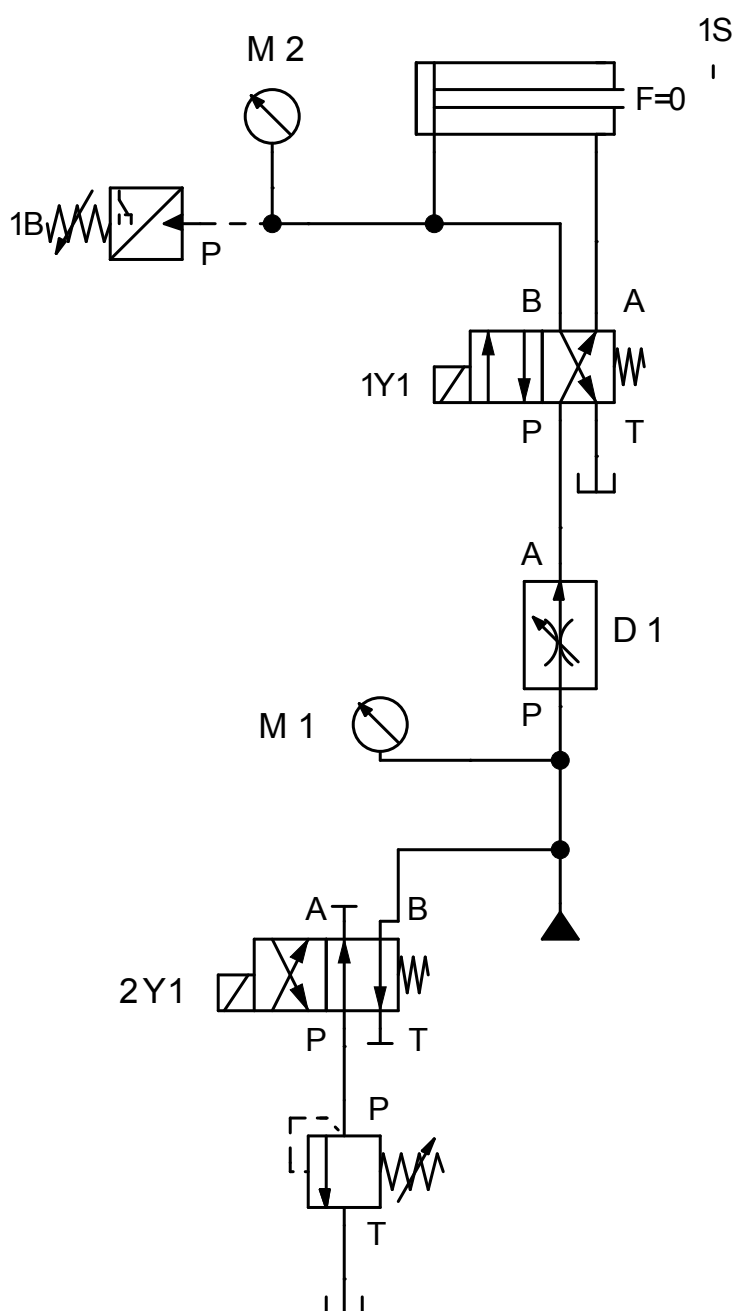


Рис. 25. Гидравлическая принципиальная схема привода

Скорость штока цилиндра регулируется дросселем, установленным на входе. Первый отрезок пути штока с определенным усилием задается распределителем 4/2 – с односторонним электромагнитным управлением 2Y1. Усилие определяется настройкой давления переливного клапана, стоящего за распределителем. Распределитель с управлением 2Y1 работает на сливной магистрали «открыто» или «закрыто». Для управления усилием в конце хода штока установлено реле давления 1В. Реле настраивается на давление и усилие, которое развивает шток гидроцилиндра в конце своего хода.

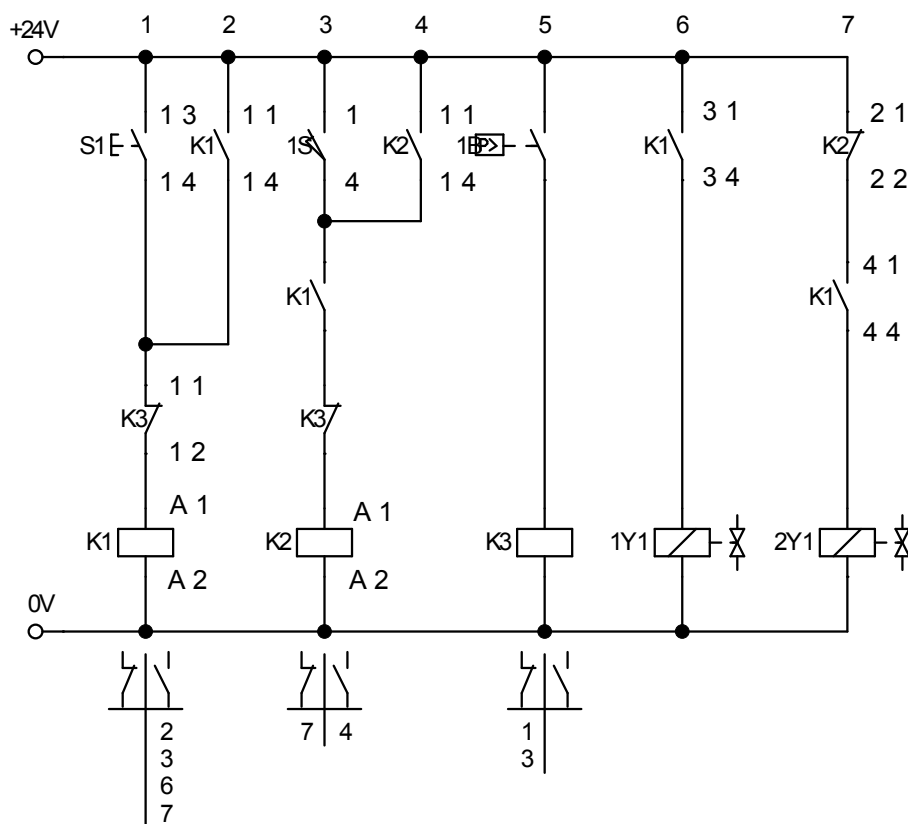


Рис. 26. Электрическая принципиальная схема привода

Элементы автоматики электрической схемы работают в такой последовательности. При нажатии кнопки S1 питание подается на катушку реле K1, при этом замыкаются три контактные группы реле. Одни контакты замыкают контур кнопки S1, обеспечивая тем самым самоудержание кнопки, а два других обеспечивают питание катушек 1Y1, 2Y1 соответствующих распределителей. Распределитель с катушкой 1Y1 переключается, масло под давлением подается в бесштоковую полость цилиндра, шток при этом начнет выдвигаться. Вторая

катушка 2Y1 переключает распределитель, соединяя каналы *A* и *P* на слив через переливной клапан. Так как переливной клапан настроен на определенное давление, то это же давление будет в сети питания. В полость цилиндра при движении штока будет подаваться то же давление и на штоке будет заданное усилие привода. Как только шток цилиндра достигнет конечного переключателя 1S, его контакты замкнутся, питание поступит на катушку реле K2, нормально замкнутый контакт которого разомкнется и обесточит катушку 2Y1 распределителя.

Распределитель под действием пружины вернется в свое начальное положение, при этом закроет слив в напорной магистрали через переливной клапан. В напорной магистрали будет давление, развиваемое насосом гидравлической станции. Шток цилиндра будет продолжать выдвигаться, но с другим (большим) усилием за счет другого давления питания. Как только шток достигнет своего конечного положения, давление в полости цилиндра будет расти (стремится до давления питания), при этом срабатывают контакты реле давления 1B, настроенного на технологическую задачу (необходимое усилие прессования). Эти контакты реле давления подают питание на катушку реле K3, при этом ее нормально замкнутые контакты размыкаются, и снимается питание с катушек реле K1, K2. Контакты реле K1 размыкаются, питание с катушки распределителя 1Y1 снимается, он под действием пружины переключается, при этом шток цилиндра втягивается.

7.2. Порядок выполнения работы

- 1) Собрать на экспериментальном стенде (см. рис.15) из гидроэлементов (см. прил. 3) гидравлическую схему (рис. 25).
- 2) Собрать на стенде из электрических элементов электрическую схему (рис. 26) управления гидравлическим приводом.
- 3) Включить гидростанцию и настроить ее на $4 \cdot 10^6$ Па, настроить переливной клапан на $2 \cdot 10^6$ Па.

4) Закрывать дроссель, полностью нажать кнопку 1S, шток цилиндра не должен двигаться. Открывая дроссель, добиться медленного, но устойчивого перемещения штока цилиндра.

5) После вышеуказанных настроек, нажатием кнопки 1S обеспечить автоматический цикл работы и зафиксировать время нарастания давления и срабатывания реле давления при $p_{\text{реле}} = 2 \cdot 10^6, 2,5 \cdot 10^6, 3 \cdot 10^6$ Па. Данные записать в табл.13. Время нарастания давления измерять три раза.

Таблица 13

Результаты эксперимента

№ п.п.	$p_{\text{реле}}, \text{Па}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$T_{\text{ср}}, \text{с}$
1					
2					
3					

6) Разобрать данную схему. По заданной гидравлической схеме (рис. 27) и постановке задачи разработать электрическую схему управления приводом, промоделировать ее с помощью программного продукта «Fluid SIM Hydraulics» и собрать на стенде.

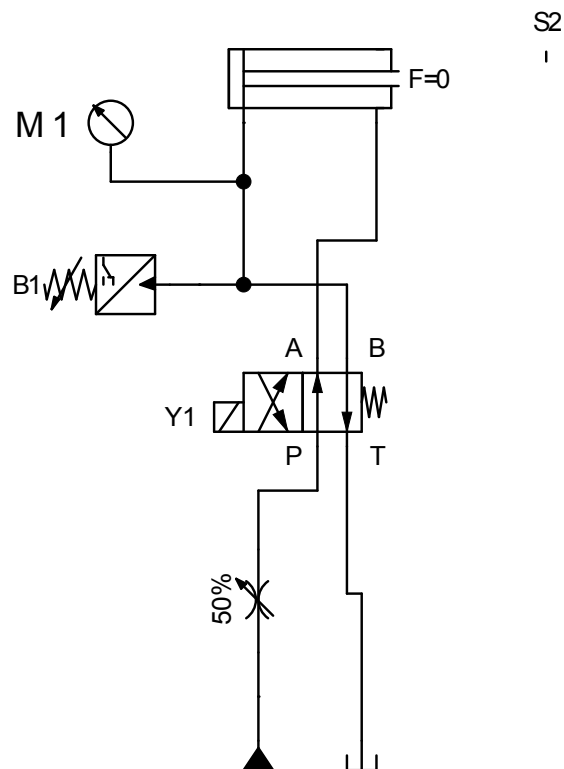


Рис. 27. Схема гидравлическая с фиксированным усилием в конце хода штока цилиндра

7) Рассчитать необходимое давление на реле давления и настроить его.

Построить экспериментальную характеристику реально получившегося времени задержки от нарастания давления в полости цилиндра в конце хода его штока [26].

8) Решить поставленную задачу.

Привод должен обеспечить автоматический цикл работы при кратковременном нажатии кнопки 1S, т. е. должна быть запитана катушка Y1 распределителя. В конце хода штока установить конечный выключатель S2, который должен подавать сигнал на отключение питания катушки Y1 распределителя только при срабатывании реле давления. В конце хода необходимо, чтобы на штоке цилиндра было гарантировано усилие 402 Н, необходимое для прессования. Диаметр поршня цилиндра $D = 0,016$ м.

Контрольные вопросы

1. Для решения каких задач в гидроприводе используется реле давления?
2. Поясните устройство и работу гидравлического реле давления.
3. Поясните функциональное назначение в электрической схеме распределителя 2Y1.
4. Как реализована функция управления циклом гидропривода при помощи реле давления?
5. Объяснить задержку времени, необходимую на наполнение полости цилиндра в конце хода.

Библиографический список

1. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов. – М., 1982. – 432 с.
2. Вильнер Я.М. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я.М. Вильнер [и др.]. — Минск: Вышэйш. шк., 1976.
3. Гойдо М.Е. Проектирование объемных гидроприводов. Библиотека конструктора / М.Е. Гойдо. – М.: Машиностроение, 2009. – 305 с.
4. ГОСТ 2.782–96. Обозначения условные графические. Машины гидравлические и пневматические. – 1997. – Взамен ГОСТ 2.782-68 Введ. 01.01.98. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – Межгосударственный стандарт.
5. ГОСТ 2.701–84. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – Переизд. Окт. 1986. – Взамен ГОСТ 2.701-76. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 17 с.:– (Единая система конструкторской документации). УДК 62: 002: 006.354 Группа Т52.
6. ГОСТ 17752–81. Гидропривод объемный и пневмопривод. Термины и определения. – 1981. – Взамен ГОСТ 17752-72. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – Межгосударственный стандарт.
7. Данилов Ю.А. Аппаратура объемных гидроприводов: рабочие процессы и характеристики / Ю.А. Данилов, Ю.Л. Кириловский, Ю.Г. Колпаков. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.
8. Домогаров А.Ю. Рабочие жидкости и смазки: учеб. пособие / А.Ю. Домогаров, А.И. Степаков, И.С. Леладзе. – М., 2005. – 102 с.
9. Меркле Д. Гидравлика, основной курс TP501: учеб. пособие. Т.1 / Д. Меркле, Б. Шрадер, М. Томес. – Киев: Изд-во ДП «Фесто», 2002. – 130 с.

10. Сидоренко В.С. Изучение и разработка схмотехнических решений промышленного гидропривода: учеб. пособие / В.С. Сидоренко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2006. – 104 с.
11. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем: учебник для вузов / Д.Н. Попов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 464 с.
12. Попов Д.Н. Гидромеханика: учеб. для вузов / Д.Н. Попов, С.С. Панайотти, М.В. Рябинин; под ред. Д.Н. Попова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 384 с.
13. Сидоренко В.С. Элементы и системы гидрофицированного технологического оборудования: учеб. пособие / В.С. Сидоренко, М.С. Полешкин, В.И. Грищенко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012. – 172 с.
14. Свешников В.К. Станочные гидроприводы: справочник. Библиотека конструктора / В.К. Свешников. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2008. – 640 с.
15. Свешников В.К. Гидрооборудование: междунар. справочник. Кн. 1. Насосы и гидродвигатели: номенклатура, параметры, размеры, взаимозаменяемость / В.К. Свешников. – М.: Издат. центр «Техинформ» МАИ, 2001. – 360 с.
16. Свешников В.К. Гидрооборудование: междунар. справочник. Кн. 2. Гидроаппаратура: номенклатура, параметры, размеры, взаимозаменяемость / В.К. Свешников. – М.: Издат. центр «Техинформ» МАИ, 2002. – 508 с.
17. Свешников В.К. Гидрооборудование: междунар. справочник. Кн. 3. Вспомогательные элементы гидропривода: номенклатура, параметры, размеры, взаимозаменяемость / В.К. Свешников. – М.: Издат. центр «Техинформ» МАИ, 2003. – 445 с.
18. Сидоренко В.С. Курсовое и дипломное проектирование гидрофицированной техники: учеб. пособие / В.С. Сидоренко, В.Н. Абрамова, А.Т. Рыбак, Р.А. Фридрих. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2014. – 121 с.

19. Схиртладзе А.Г. Станочные гидравлические системы: учеб. пособие / А.Г. Схиртладзе, В.П. Борискин, В.И. Иванов и др. – Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2007. – 276 с.
20. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1975. – 326 с.
21. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов: учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / К.Л. Навроцкий. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.
22. Наземцев А.С. Гидравлические и пневматические приводы. Ч. 2. Гидравлические приводы и системы. Основы: учеб. пособие / А.С. Наземцев, Д.Е. Рыбальченко. – М.: ФОРУМ, 2007. – 304 с.
23. Богданович Л.Б. Гидравлические приводы: учеб. пособие для вузов / Л.Б. Богданович. – Киев: Вища шк., 1980. – 232 с.
24. Трифонов О.Н. Приводы автоматизированного оборудования / О.Н. Трифонов, В.И. Иванов, Г.О. Трифонова. – М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.
25. Иванов Г.М. Проектирование гидравлических систем машин / Г.М. Иванов, С.А. Ермаков, Б.Л. Коробочкин, Р.М. Пасынков. – М.: Машиностроение, 1992. – 224 с.
26. Экснер Х. Гидропривод. Основы и компоненты / Х. Экснер, Р. Фрейнтаг, Х. Гайс и др. – 2-е изд. на рус. яз., перераб. и доп. – Эрбах: Изд-во Бош Рексрот АГ Сервис Автоматизация Дидактика, 2003. – 323 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Формы для лабораторной работы № 1

1. Объемный гидродвигатель _____

Тип, завод-изготовитель	
Назначение, принцип действия	
Диаметр поршня, мм	
Диаметр штока, мм	
Длина хода штока, мм	
Номинальное давление, МПа	
Номинальная толкающая сила, Н	
Номинальная тянущая сила, Н	
Скорость выдвижения, м/с	
Скорость задвижения м/с	

Уравнение	Расходно-перепадная характеристика
Назначение и область применения устройства ()::	
Принцип действия устройства ():	

Формы для лабораторной работы № 1

2. Регулирующее устройство: _____

Тип, завод-изготовитель	
Назначение, область применения	
Тип монтажа устройства	
Назначение пружин в клапане	
Назначение шарикового и поршневого клапанов	
Диаметр золотника, мм	
Диапазоны регулирования, МПа	
Номинальный расход, м ³ /с	
Номинальное давление, МПа	
Уравнение	Расходно-перепадная характеристика
Назначение и область применения устройства ()::	
Принцип действия устройства ()::	

Формы для лабораторной работы № 1

3. Направляющее устройство: _____

Тип, завод-изготовитель	
Назначение, область применения	
Исполнение гидрораспределителя по схеме	
Тип монтажа устройства	
Тип элементов управления	
Назначение золотниковой пары	
Диаметр золотника, мм	
Условный проход, мм	
Номинальный расход, м ³ /с	
Номинальное давление, МПа	
Уравнение	Расходно-перепадная характеристика
Назначение и область применения устройства ()::	
Принцип действия устройства ()::	

Формы для лабораторной работы № 1

№ п.п.	Конструктивный эскиз элемента	Изображение по ЕСКД
1	2	3
1		
2		
3		

Структура и элементы интерфейса FluidSim Hydraulics

Панель управления масштабом

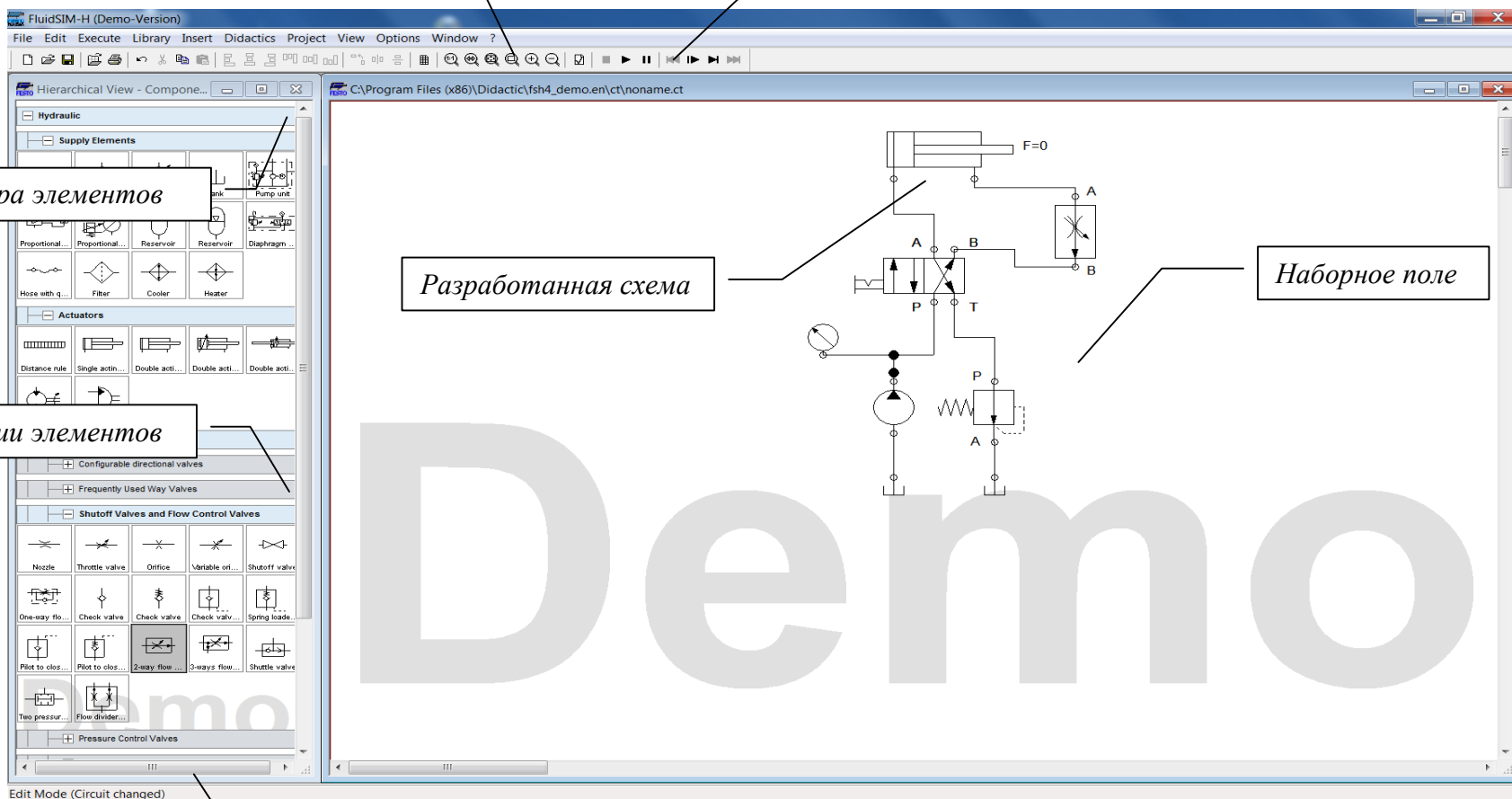
Панель управления пуском гидروпривода

Окно выбора элементов

Разработанная схема

Наборное поле

Категории элементов



Строка состояния

Условные обозначения элементов ГП

№ п.п.	Условное изображение	Описание
1	2	3
Лабораторная работа № 4		
1		Гидроцилиндр (ГЦ) двухстороннего действия, без демпфирования в конце хода
2		Гидрораспределитель (Р) четырехлинейный, трехпозиционный с ручным (мускульным) управлением и открытым сливом
3		Насосно-энергетическая станция, включающая: предохранительный клапан; манометр; насос; приводной двигатель
4		Регулируемый дроссель с обратным клапаном
5		Манометр
Лабораторная работа № 5		
6		Гидроцилиндр (ГЦ) двухстороннего действия, с двухсторонним штоком и демпфированием в конце хода
7		Гидравлический клапан давления, предохранительный
8		Гидрораспределитель (Р) четырехлинейный, трехпозиционный с электромагнитным управлением и перекрытым центром
9		Регулируемый дроссель
10		Манометр
11		Клапан обратный с пружинным возвратом

1	2	3
12		Насосно-энергетическая станция включающая: предохранительный клапан; манометр; насос; приводной двигатель
Лабораторная работа № 7		
13		Гидроцилиндр (ГЦ) двухстороннего действия, с демпфированием в конце хода
14		Гидравлическое реле давления
15		Расходомер
16		Гидрораспределитель (P) четырехлинейный, двухпозиционный с электромагнитным управлением и перекрытым центром
17		Гидравлический клапан давления, предохранительный
18		Манометр
19		Насосно-энергетическая станция, включающая: предохранительный клапан; манометр; насос; приводной двигатель

Описание и управление универсального измерителя-регулятора

ОВЕН ТРМ138

На лицевой панели прибора расположены цифровые и единичные светодиодные индикаторы, служащие для отображения текущей информации о параметрах и режимах работы прибора, а также шесть кнопок, предназначенных для управления прибором.

1 – Четырехразрядный цифровой индикатор ЦИ-1 отображает измеренное или вычисленное значение параметра в выбранном канале контроля; при аварии индикатор отображает порядковый номер неисправного датчика. Возможны два режима индикации:

- *статический режим* – выбор канала индикации производится оператором при помощи кнопок управления, расположенных на лицевой панели прибора, и контролируется по засветке соответствующего светодиода «КАНАЛ»;
- *циклический режим* – информация о каждом канале контроля выводится по замкнутому циклу на заданное пользователем время.

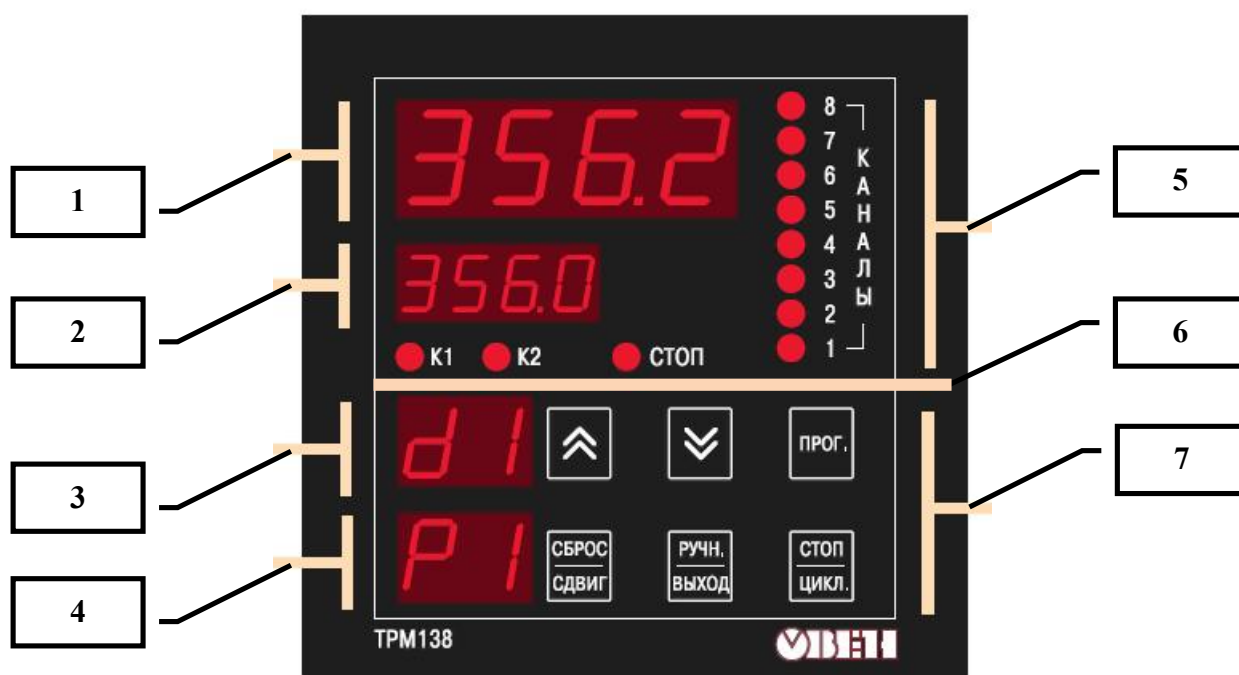
2 – Четырехразрядный цифровой индикатор ЦИ-2 отображает уставку выводимого на индикацию канала контроля; при аварии индикатор отображает причину неисправности датчика в символьном виде.



3 – Двухразрядный цифровой индикатор ЦИ-3 отображает информацию о подключенном к данному каналу входном параметре (например, датчик «d1»).


4 – Двухразрядный цифровой индикатор ЦИ-4 цифровой индикатор № 4 отображает в режиме РАБОТА номер подключенного к данному каналу выходного устройства; мигающей засветкой сигнализирует о переводе ВУ в режим РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ.


5 – Светодиоды «КАНАЛ 1...8» постоянной засветкой показывают номер ЛУ, параметры которого в данный момент выводятся на индикацию, мигающей засветкой сигнализируют о возникновении аварийной ситуации в данном канале контроля или срабатывании в нем предупредительной сигнализации.


6 – Светодиод «К1» («К2») засвечивается при включении ВУ канала контроля, выводимого на индикацию (только для ключевых ВУ). Светодиод «СТОП» светится при работе в статическом режиме индикации.




7 – Кнопки  и  служат для выбора канала индикации в статическом режиме работы, а также для управления ВУ в ручном режиме.

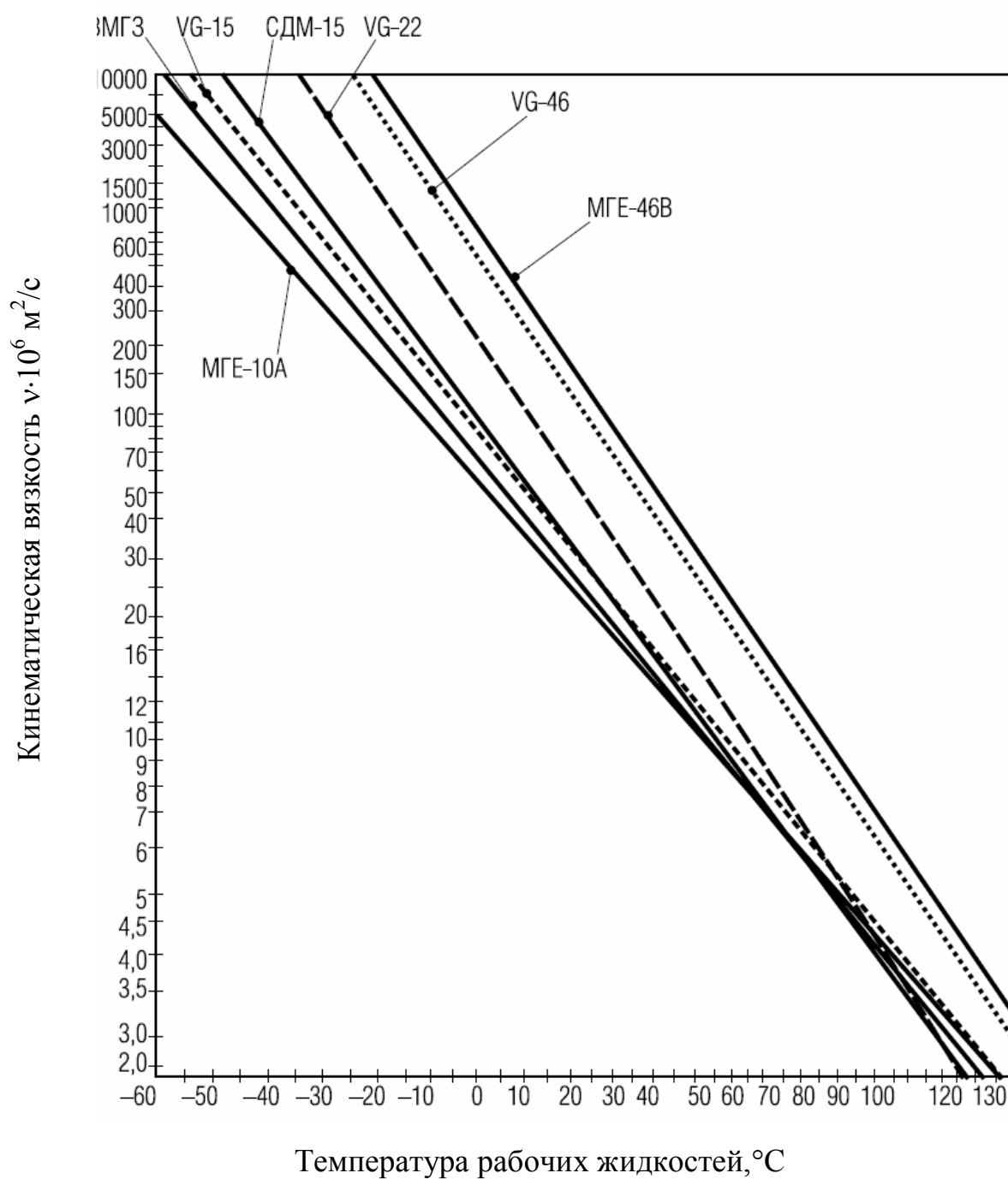
Кнопка  предназначена для перевода прибора в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ.

Кнопка  предназначена для остановки работы аварийного ВУ, а также для сдвига информации на верхнем индикаторе при его переполнении.

Кнопка  предназначена для перевода выбранного оператором ЛУ в режим «РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ», а также для возврата прибора из режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ в режим РАБОТА.

Кнопка  предназначена для переключения режима индикации прибора со статического на циклический, и обратно.

Зависимость кинематической вязкости рабочих жидкостей от температуры



РЕКОМЕНДАЦИИ
для выполнения лабораторного практикума
по дисциплине «Гидропривод и средства автоматики»

К занятиям допускаются студенты, имеющие оформленный протокол отчета лабораторных работ и прошедшие инструктаж по технике безопасности (см. инструкцию в прил.7) работы в лабораториях на экспериментальных установках.

Для успешного выполнения и допуска к защите лабораторного практикума необходимо:

1. Ознакомиться с целями и задачами выполняемой лабораторной работы.
2. Записать основные теоретические положения в виде ключевых выражений и определений, предварительно ознакомившись с ними в соответствующем пункте данного практикума.
3. Изучить схему лабораторной установки и выполнить ее эскиз в протоколе с пояснением состава и принципа действия элементов.
4. Установить какие входные и выходные данные требуется получить в ходе выполнения лабораторной работы.
5. Под руководством преподавателя и в сопровождении ассистирующего инженера, провести серию экспериментов, занеся в таблицу полученные данные исследования.
6. Выполнить расчетную часть работы согласно методике, приведенной в данном практикуме.
7. По завершении расчета, занести полученные данные в таблицу, построив графики зависимостей, если это необходимо.
8. Сделать вывод по результатам работы, согласно поставленным целям и задачам.

ИНСТРУКЦИЯ
по технике безопасности для преподавателей, ассистентов и
студентов при выполнении лабораторных работ

1. К работе на лабораторной установке допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности и ознакомившиеся с ее устройством и особенностями.
2. Все необходимые операции на лабораторной установке студенты выполняют под контролем преподавателя или лаборанта.
3. После включения установки необходимо убедиться в правильности ее работы.
4. Во время проведения лабораторных работ во избежание несчастных случаев и травмирования запрещается:
 - касаться руками токоведущих проводов, клемм, деталей;
 - перепоручать наблюдение за работой установки лицам, не прошедшим инструктаж;
 - самостоятельно перемещать измерительные приборы, что может вызвать их поломку.
5. При обнаружении опасности или неисправности оборудования лабораторной установки необходимо немедленно ее отключить от сети.
6. После выполнения лабораторной работы или на время перерыва лабораторная установка отключается и выключается рубильник силового шкафа.
7. При несчастном случае необходимо оказать пострадавшему первую медицинскую помощь.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Методические рекомендации к лабораторному практикуму	5
Лабораторная работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА И СРЕДСТВ ГИДРОАВТОМАТИКИ	7
Лабораторная работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПИТАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ	21
Лабораторная работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА РЕГУЛИРУЕМОГО ДРОССЕЛЯ	30
Лабораторная работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОПРИВОДА ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ДРОССЕЛИРОВАНИИ	38
Лабораторная работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОПРИВОДА ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ ДРОССЕЛИРОВАНИИ	47
Лабораторная работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРОМОТОРА	54
Лабораторная работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ЦИКЛОМ ГИДРОПРИВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ	64
Библиографический список	72
ПРИЛОЖЕНИЯ	75
Приложение 1 Формы для лабораторной работы № 1	75
Приложение 2 Структура и элементы интерфейса FluidSim Hydraulics	79
Приложение 3 Условные обозначения элементов ГП	80
Приложение 4 Описание и управление универсального измерителя-регулятора ОВЕН ТРМ138	82
Приложение 5 Зависимость кинематической вязкости рабочих жидкостей от температуры	84
Приложение 6 Рекомендации для выполнения лабораторного практикума по дисциплине «Гидропривод и средства автоматики»	85
Приложение 7 Инструкция по технике безопасности для преподавателей, ассистентов и студентов при выполнении лабораторных работ	86

Учебное издание

Сидоренко Валентин Сергеевич,
Полешкин Максим Сергеевич,
Грищенко Вячеслав Игоревич

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по дисциплине
«Гидропривод и средства автоматики»

Редактор Т.С. Колоскова
Компьютерная обработка: И.В. Кикичева

Тем. план 2015 г.