

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

# ГИДРАВЛИКА, ГИДРОПРИВОД И ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТИКА. ГИДРАВЛИКА И ПНЕВМАТИКА. ГИДРАВЛИКА И ГИДРОПРИВОД

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальностей 1-37 01 02 «Автомобилестроение»,  
1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,  
1-37 01 07 «Автосервис», 1-36 01 06 «Оборудование  
и технология сварочного производства»  
дневной и заочной форм обучения*

**ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА**



Могилев 2019

УДК 532:621.22  
ББК 31.56:34.447  
Г 46

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Безопасность жизнедеятельности»  
«29» августа 2019 г., протокол № 1

Составитель канд. техн. наук, доц. В. И. Мрочек

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Голушкова

Методические рекомендации предназначены для студентов технических специальностей и используются при выполнении лабораторных работ по дисциплинам «Гидравлика, гидропривод и гидропневмоавтоматика», «Гидравлика и пневматика», «Гидравлика и гидропривод».

Учебно-методическое издание

ГИДРАВЛИКА, ГИДРОПРИВОД И ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТИКА.  
ГИДРАВЛИКА И ПНЕВМАТИКА. ГИДРАВЛИКА И ГИДРОПРИВОД

Ответственный за выпуск	А. В. Щур
Технический редактор	С. Н. Красовская
Компьютерная верстка	П. Н. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2019



## Содержание

Введение.....	4
1 Основные требования по охране труда при работе на стенде.....	5
2 Описание устройства лабораторного стенда.....	5
3 Лабораторная работа № 1. Изучение устройства и определение характеристик напорных гидроклапанов.....	8
4 Лабораторная работа № 2. Изучение устройства и определение характеристик редуционного клапана.....	15
5 Лабораторная работа № 3. Изучение устройства и определение характеристик гидрораспределителей .....	19
6 Лабораторная работа № 4. Изучение устройства и определение характеристик фильтров .....	28
7 Лабораторная работа № 5. Изучение устройства и определение характеристик двухлинейного регулятора расхода .....	33
8 Лабораторная работа № 6. Изучение устройства и определение характеристик трехлинейного регулятора расхода .....	37
Список литературы .....	43



## Введение

Данными методическими указаниями предусмотрено выполнение шести лабораторных работ, относящихся к разделу «Гидравлическая аппаратура», на одном лабораторном стенде.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы на стенде, необходимо изучить основные требования охраны труда, устройство стенда и накануне лабораторного занятия подготовиться к выполнению лабораторной работы. Подготовка к лабораторному занятию требует самостоятельной работы вне лаборатории и предусматривает изучение основных теоретических положений по теме выполняемой работы и оформление разделов отчета, не требующих наличия экспериментальных данных. В бланках отчетов необходимо привести формы таблиц измеряемых и вычисляемых величин.

### **Неподготовленные студенты к занятию не допускаются.**

Структурирование (сборка) гидравлической схемы выполняемой работы осуществляется во время лабораторного занятия.

Отчет по лабораторной работе оформляется каждым студентом в *отдельной тетради*.

### **Содержание отчета:**

- наименование лабораторной работы;
- цель;
- основные теоретические положения;
- схема установки и исследуемых устройств;
- таблицы измеряемых и вычисляемых величин;
- пример обработки результатов эксперимента (с подстановкой числовых значений величин, полученных в ходе выполнения одного опыта);
- графики;
- выводы.

При вычерчивании схемы установки необходимо приводить ту часть схемы стенда, которая задействована в выполняемой лабораторной работе.

Не позже чем на следующем лабораторном занятии отчет по лабораторной работе должен быть защищен.

## 1 Основные требования по охране труда при работе на стенде

Работа на стенде допускается только в присутствии лаборанта или преподавателя.

При выполнении лабораторных работ необходимо руководствоваться требованиями данных методических рекомендаций.

Перед включением стенда следует убедиться (путем внешнего осмотра) в исправности защитного заземления и электрической проводки стенда.

При сборке исследуемой в лабораторной работе гидравлической системы необходимо следить за надежным включением быстроразъемных муфт, используемых совместно с эластичными трубопроводами для соединения в единую схему гидравлических аппаратов и устройств измерения.

Перед включением стенда правильность сборки исследуемой системы должна быть проверена лаборантом или преподавателем.

Максимальное давление в гидравлической системе стенда не должно превышать 6,0...6,3 МПа.

Электрическое питание стенда – 380 В, 50 Гц.

При возникновении нештатных ситуаций необходимо выключить насосную установку и отключить электрическое питание стенда.

К работам по обслуживанию и ремонту стенда допускается лаборант, прошедший все виды инструктажей, обучение и проверку знаний по охране труда в соответствии с действующим законодательством.

## 2 Описание устройства лабораторного стенда

Лабораторный стенд предназначен для экспериментальных исследований:

- напорных гидроклапанов;
- редукционного клапана;
- гидрораспределителя;
- фильтра;
- двухлинейного регулятора расхода;
- трехлинейного регулятора расхода.

Схема гидравлическая принципиальная стенда приведена на рисунке 2.1.

В состав стенда входят: гидробак Б1, гидронасос Н (шестеренный насос НШ10-3), фильтр Ф (напорный), регулятор расхода РР1 (двухлинейный), напорный гидроклапан КП2 (непрямого действия), редукционный клапан КР (непрямого действия), гидрораспределитель Р, регулируемый гидродроссель ДР, трехлинейный регулятор расхода РР2.

Для привода насоса Н используется трехфазный асинхронный двигатель М.

Информационно-измерительная система стенда включает четыре манометра (МН1 – МН4), термометр Т. Для измерения расхода используются расходо-



мер РА (скоростного типа) и расходомер объемного типа, состоящий из мерного резервуара Б2 с указателем уровня УУ и вентиля В.

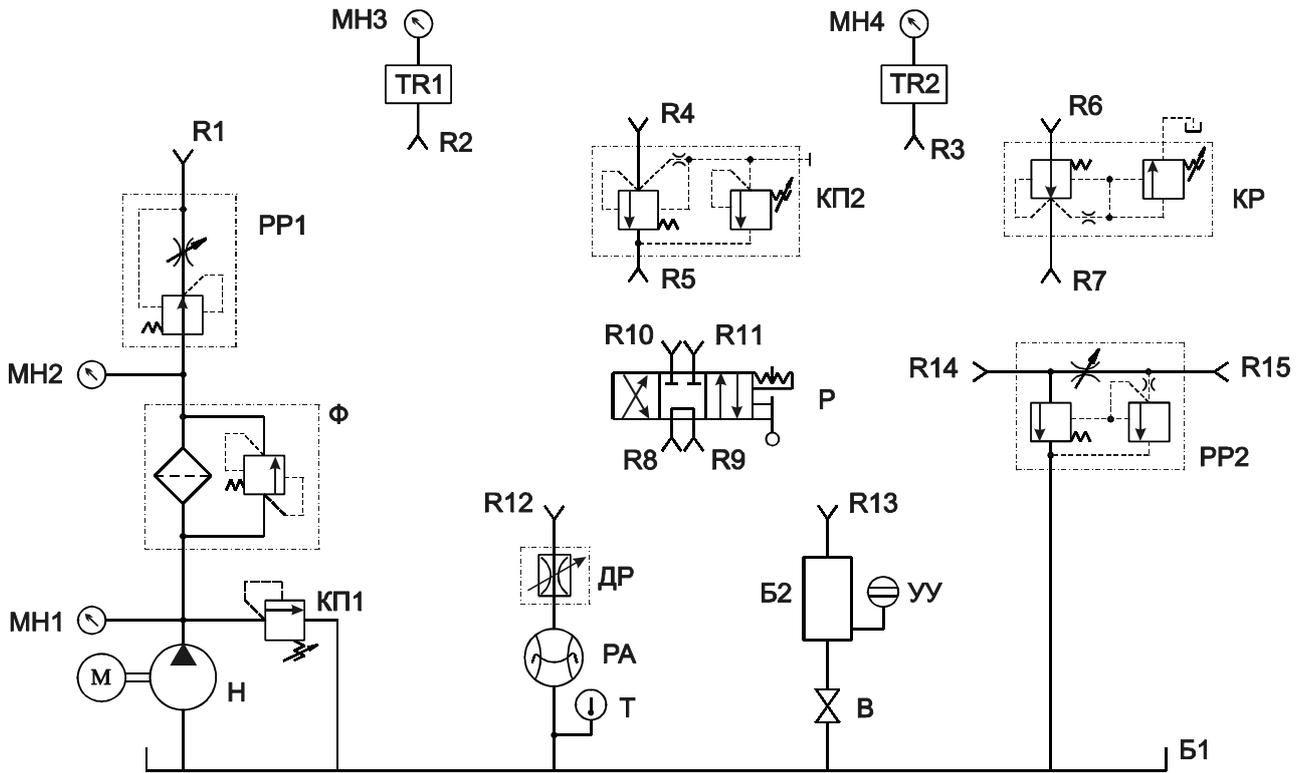


Рисунок 2.1 – Схема гидравлическая принципиальная

Манометры МН3 и МН4 подключены к блокам ТР1 и ТР2.

Для обеспечения возможности сборки схем выполняемых лабораторных работ используются быстроразъемные муфты (БРМ). БРМ состоит из полумуфты с обратным клапаном и полумуфты с фиксатором (замком). На стенде установлено 15 полумуфт с обратными клапанами (R1–R15), называемых ниже разъемами. Полумуфты с фиксаторами установлены на концах эластичных трубопроводов, входящих в комплект стенда и предназначенных для сборки схемы, исследуемой в лабораторной работе системы.

Для измерения времени на стенд установлен электронный секундомер.

В каждой лабораторной работе используется ряд устройств, постоянно связанных друг с другом. Это прежде всего устройства, образующие насосную установку (гидробак Б1, насос Н, электродвигатель М, напорный гидроклапан КП1, фильтр Ф), и регулятор расхода РР1. Остальные исследуемые и измерительные устройства подключаются к разъему R1 с помощью эластичных трубопроводов с БРМ.

Общий вид стенда показан на рисунке 2.2.

В качестве основания стенда используется насосная установка, на котором закреплена рамная конструкция, содержащая две панели, стол и тумбочку с выдвижными ящиками.



Рисунок 2.2 – Общий вид стенда

На верхней панели установлены электрические устройства управления стендом, электронный секундомер. Также здесь расположена схема гидравлическая принципиальная стенда.

На нижней панели установлены объекты исследований: гидрораспределитель Р, редукционный клапан КР, регулируемый дроссель ДР и устройства информационно-измерительной системы.

На столе стенда установлены двухлинейный регулятор расхода РР1, трехлинейный регулятор расхода РР2 и напорный гидроклапан КП2.

Для заправки гидросистемы стенда необходимо 60...65 дм<sup>3</sup> масла. В качестве рабочей жидкости используется минеральное масло МГЕ-46В.

### 3 Лабораторная работа № 1. Изучение устройства и определение характеристик напорных гидроклапанов

**Цель работы:** изучение устройства и экспериментальное определение характеристик напорных гидроклапанов.

#### 3.1 Краткие теоретические сведения

**Напорные гидроклапаны** предназначены для ограничения или поддержания давления на постоянном уровне.

В зависимости от выполняемой функции напорные гидроклапаны часто называют предохранительными или переливными.

**Предохранительный клапан** предназначен для ограничения давления в системе. Вступает в работу эпизодически, чаще всего при давлении, превышающем номинальное давление в системе.

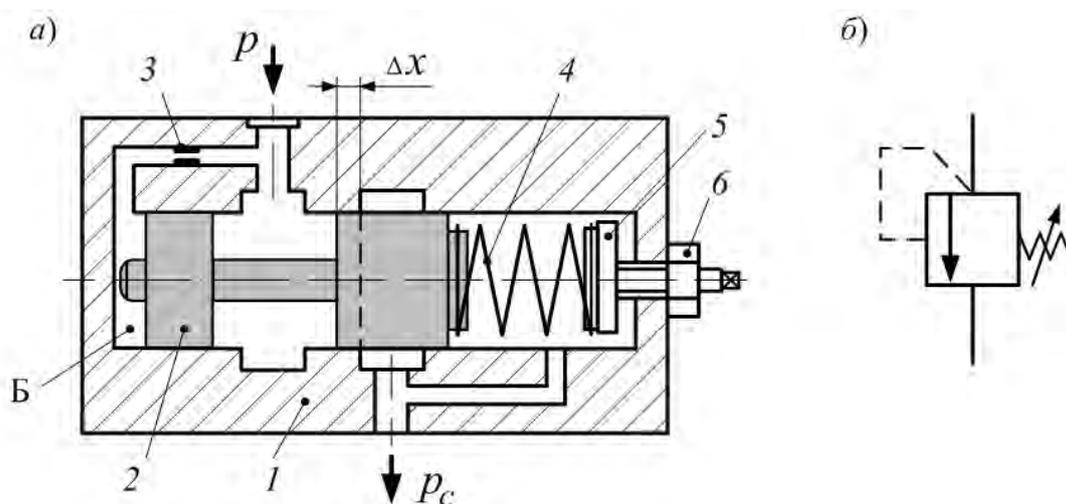
**Переливной клапан** предназначен для поддержания давления в системе на постоянном уровне путем постоянного перепуска части жидкости на слив. Он, по сути, является регулятором системы автоматической стабилизации давления.

Предохранительный и переливной клапаны имеют одинаковую конструкцию.

В зависимости от типа запорно-регулирующего элемента (ЗРЭ) различают клапаны **седельного и золотникового** типа.

По принципу действия различают клапаны прямого и непрямого действия.

На рисунке 3.1, *а* показана конструктивная схема напорного клапана прямого действия золотникового типа, а на рисунке 3.1, *б* – его условное обозначение на схеме гидравлической принципиальной.



*а* – конструктивная схема; *б* – условное обозначение

Рисунок 3.1 – Напорный клапан прямого действия золотникового типа

Клапан состоит из корпуса *1*, золотника *2*, дросселя *3*, пружины *4*, опоры пружины *5*, гайки *6*. Давление на входе клапана  $p$ , а на сливе –  $p_c$ .

При вворачивании опоры 5 увеличивается давление срабатывания напорного клапана. Дроссель 3 выполняет демпфирующие функции, исключая срабатывание клапана при кратковременных изменениях давления на его входе. Штриховой линией показано положение кромки пояска золотника, соответствующее началу срабатывания клапана.

Рассмотренная конструкция относится к клапанам прямого действия, поскольку срабатывание клапана в этом случае происходит в результате воздействия рабочей жидкости непосредственно на ЗРЭ (золотник).

Для определения величины давления срабатывания клапана необходимо составить уравнение равновесия его ЗРЭ:

$$F_{\partial} = F_{np}, \quad (3.1)$$

где  $F_{\partial}$  – сила давления жидкости, действующая на золотник в полости Б;

$F_{np}$  – усилие пружины.

С целью упрощения давление на сливе  $p_c$  (а значит, и в полости пружины 4) принято равным нулю.

Сила давления жидкости

$$F_{\partial} = p A_3, \quad (3.2)$$

где  $A_3$  – площадь торцевой поверхности золотника.

Усилие пружины, соответствующее началу срабатывания клапана:

$$F_{np} = F_0 + c \Delta x, \quad (3.3)$$

где  $F_0$  – усилие преднатяга пружины (в крайнем левом положении золотника);

$c$  – жесткость пружины;

$\Delta x$  – величина перемещения золотника.

Подставив (3.2) и (3.3) в уравнение (3.1), получим

$$p A_3 = F_0 + c \Delta x. \quad (3.4)$$

Отсюда следует, что давление, соответствующее началу срабатывания клапана:

$$p_{кл} = \frac{F_0 + c \Delta x}{A_3}. \quad (3.5)$$

Важнейшей характеристикой напорного клапана, характеризующей качество его функционирования на установившихся режимах работы, является **расходно-перепадная** характеристика



$$p = f(Q_{кл}), \quad (3.6)$$

где  $p$  – давление на входе клапана;

$Q_{кл}$  – расход жидкости, перепускаемой клапаном на слив.

**Недостатками напорных клапанов прямого действия являются:**

– невысокая точность поддержания давления при изменениях в значительных пределах расхода жидкости через клапан на слив, т. е. большой наклон характеристики  $p = f(Q_{кл})$ ;

– невозможность применения в системах с высокими значениями расходов и давлений (более 25 МПа), поскольку в этих случаях пружинами должны создаваться большие усилия, что приводит к увеличению размеров пружины, а следовательно, и габаритов клапана.

На рисунке 3.2 приведены расходно-перепадные характеристики напорных клапанов прямого и непрямого действия. Как видно из приведенного рисунка, клапан непрямого действия обеспечивает более стабильную характеристику регулирования давления.

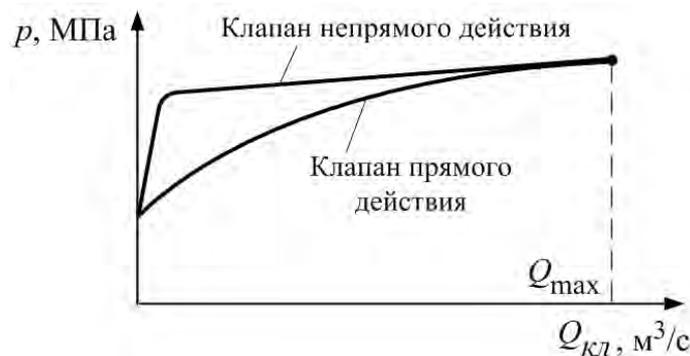


Рисунок 3.2 – Расходно-перепадные характеристики клапанов

На рисунке 3.3 приведены конструктивная схема (а) и условное обозначение (б) напорного клапана непрямого действия седельного типа. Клапаны седельного типа, по сравнению с клапанами золотникового типа, являются герметичными. У последних золотники в корпус устанавливаются с некоторыми зазорами, из-за чего через зазоры возможны утечки рабочей жидкости.

Клапан непрямого действия является двухкаскадным и состоит из двух клапанов: основного (второй каскад) и вспомогательного (первый каскад).

Основной клапан состоит из поршня 3 и пружины 4, установленных в корпус 2.

Вспомогательный клапан состоит из корпуса 5, ЗРЭ 6, пружины 7, регулирующего винта 8. Корпус 5 к корпусу 2 крепится с помощью болтового соединения.

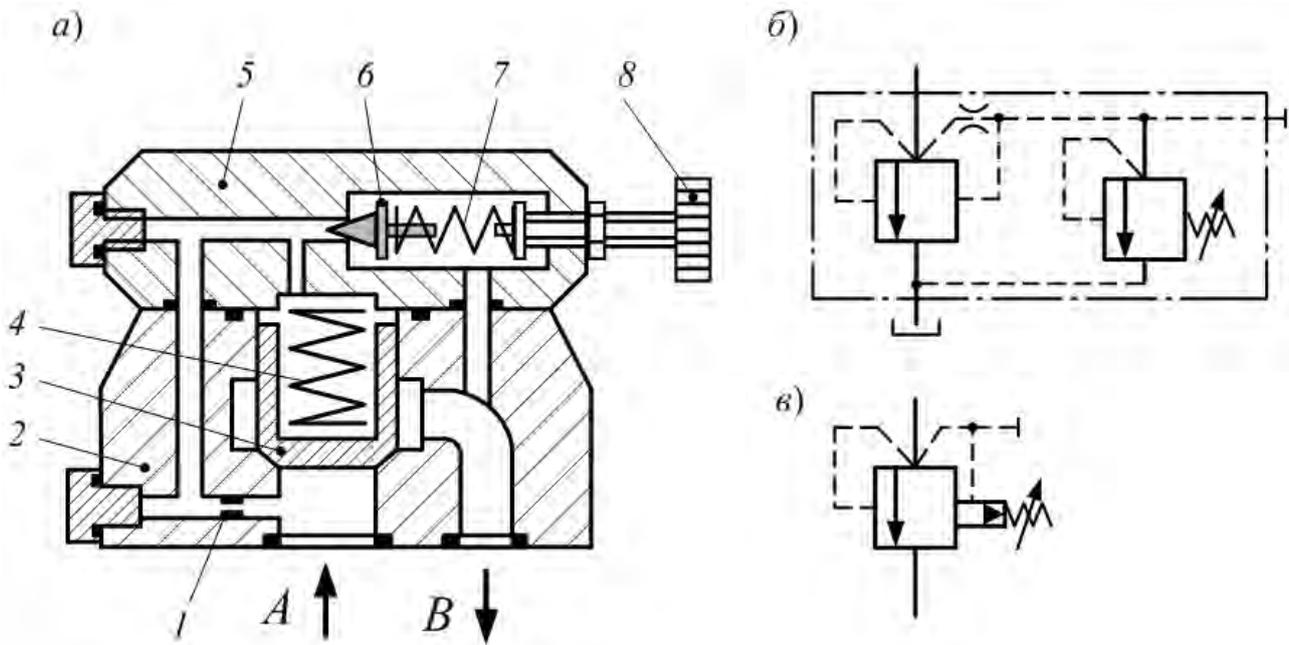
Рабочая жидкость подводится ко входу А и далее через дроссель 1 в полость пружины 4.

Уравнение равновесия поршня 3 имеет следующий вид:

$$F_{дн} = F_{дв} + F_{пр}, \quad (3.7)$$



где  $F_{\text{дн}}$  – сила давления, действующая на поршень снизу (со стороны входа  $A$ );  
 $F_{\text{дв}}$  – сила давления, действующая на поршень сверху (возникает в полости пружины 4);  
 $F_{\text{пр}}$  – усилие пружины.



$a$  – конструктивная схема;  $б$  – условное обозначение детальное;  $в$  – условное обозначение упрощенное

Рисунок 3.3 – Напорный клапан непрямого действия седельного типа

При давлении в системе ниже  $p_{\text{кл}}$  вход  $A$  и выход  $B$  (выход связан со сливом) разобщены, поскольку поршень 3 прижат конической кромкой к гнезду. Это обусловлено тем, что давления с обеих сторон поршня 3 равны, а это значит, что

$$F_{\text{дв}} + F_{\text{пр}} > F_{\text{дн}}. \quad (3.8)$$

При росте давления на входе клапана  $A$  и достижении значения  $p_{\text{кл}}$  ЗРЭ 6 отходит от гнезда и вспомогательный клапан начинает перепускать жидкость на слив. При этом ограничивается величина давления в полости пружины 4, а следовательно, и значение силы  $F_{\text{дв}}$ . Сила же  $F_{\text{дн}}$  с увеличением давления на входе клапана  $A$  продолжает возрастать, что приводит к нарушению условия (3.8). В результате поршень 3 отходит от гнезда, сообщая при этом вход клапана  $A$  со сливом  $B$ .

Давление срабатывания клапана  $p_{\text{кл}}$  определяется настройкой вспомогательного клапана и зависит от диаметра гнезда, на котором установлен ЗРЭ 6, и усилия пружины 7.

Требуемое усилие пружины 4 является сравнительно небольшим – достаточным для надежного перемещения поршня 3.

Важное значение для работы клапана имеет дроссель 1, демпфирующий процессы изменения давления и ограничивающий расход жидкости через вспомогательный клапан.

### 3.2 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить разделы 1 и 2.

**Объектом испытаний** в данной работе являются:

- 1) напорный гидроклапан прямого действия золотникового типа ВГ54-32 (на рисунке 2.1 имеет обозначение КП1, установлен снизу на гидробаке Б1);
- 2) напорный гидроклапан непрямого действия седельного типа МКПВ-10/3С2 Р1 (обозначен на схеме КП2, установлен на столе стенда).

В результате проведения испытаний необходимо определить расходно-перепадные характеристики обоих типов указанных выше напорных клапанов.

*3.2.1 Подготовка установки к работе для испытаний клапана КП1.* Перед включением стенда необходимо собрать гидравлическую схему. При ее сборке следует использовать рисунок 2.1.

Для проведения испытаний клапана КП1 необходимо выход регулятора расхода РР1 (разъем R1) соединить со входом регулируемого дросселя ДР (разъем R12). Для обеспечения указанного соединения следует использовать эластичный трубопровод, имеющий на концах полумуфты с фиксаторами.

Маховики управления регулятором расхода РР1 и регулируемым дросселем ДР необходимо полностью вывернуть по часовой стрелке. При этом РР1 будет настроен на максимальный расход, а ДР будет иметь минимальное сопротивление.

*3.2.2 Определение расходно-перепадной характеристики клапана КП1.* Включить электрическое питание стенда (СЕТЬ), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), электронного секундомера (тумблер «Вкл.»).

Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

При различных настройках регулятора расхода РР1 провести шесть опытов.

Первый опыт провести при настройке РР1 на максимальный расход, при этом клапан КП1 будет закрыт (т. е. расход через клапан на слив  $Q_{кл} = 0$ ).

Последующие пять опытов провести при работающем клапане КП1. При этом от опыта к опыту необходимо уменьшать расход, обеспечиваемый РР1 и проходящий через расходомер РА.

Давление срабатывания клапана  $p_{кл} = 4$  МПа.

В каждом опыте необходимо регистрировать давление  $p_i$  (по манометру МН1) и время  $t_i$  (с помощью секундомера) прохождения через расходомер



объема жидкости  $W_{жс}$ . Величиной  $W_{жс}$  необходимо задаться, приняв, например,  $W_{жс} = 10 \text{ дм}^3$ .

Результаты измерений записать в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты испытаний клапана КП1

Параметры	Номер опыта $i$					
	1	2	3	4	5	6
Давление $p_i$ , МПа						
Время $t_i$ , с						
Объем $W_{жс}$ , $\text{дм}^3$	10					
Расход через расходомер $Q_{р.і}$ , $\text{дм}^3/\text{с}$						
Расход через клапан $Q_{кл.і}$ , $\text{дм}^3/\text{с}$						

После выполнения всех опытов необходимо РР1 настроить на максимальный расход (маховик повернуть до ограничения по часовой стрелке), отключить питание секундомера и электродвигателя.

**3.2.3 Подготовка установки к работе для испытаний клапана КП2.** Вначале следует собрать гидравлическую схему. Для ее сборки необходимо трубопроводом с ответвлением соединить РР1 (разъем R1) с КП2 (разъем R4) и с TR1 (разъем R2), причем измерение давления (по манометру МН3) осуществлять на входе КП2 (т. е. отвод к манометру МН3 должен находиться на входе КП2). Выход КП2 (разъем R5) следует соединить простым трубопроводом с полумуфтами с фиксаторами с ДР (разъем R12).

При сборке схемы использовать рисунок 2.1.

Следует убедиться, что маховики управления РР1 и ДР повернуты до ограничения по часовой стрелке.

**3.2.4 Определение расходно-перепадной характеристики КП2.** Включить питание электродвигателя (кнопка «Пуск») и электронного секундомера (тумблер «Вкл.»).

Повернуть маховик управления РР1 против часовой стрелки до ограничения и клапан КП1 (установлен снизу на гидростанции) настроить на давление 6 МПа (по манометру МН1). Затем повернуть маховик РР1 до ограничения по часовой стрелке и при работающем стенде настроить исследуемый клапан КП2 на давление срабатывания 4 МПа (по манометру МН3).

При различных настройках регулятора расхода РР1 провести шесть опытов.

В каждом опыте необходимо регистрировать те же параметры, что и при испытаниях клапана КП1. Давление регистрировать по манометру МН3. Результаты измерений записать в таблицу 3.2.

После выполнения всех опытов отключить питание секундомера, электродвигателя и стенда.

Таблица 3.2 – Результаты испытаний клапана КП2

Параметры	Номер опыта $i$					
	1	2	3	4	5	6
Время $t_i$ , с						
Объем $W_{ж}$ , дм <sup>3</sup>	10					
Расход через расходомер $Q_{p,i}$ , дм <sup>3</sup> /с						
Расход через клапан $Q_{кл,i}$ , дм <sup>3</sup> /с						

### 3.3 Обработка результатов

Расход жидкости через расходомер

$$Q_p = W_{ж} / t. \quad (3.9)$$

При заполнении таблицы 3.1 расход через клапан КП1 на слив в  $i$ -м опыте

$$Q_{кл,i} = Q_{p,1} - Q_{p,i}, \quad (3.10)$$

где  $Q_{p,1}$  – расход через расходомер в первом опыте.

Так, например, в первом опыте  $Q_{кл,1} = Q_{p,1} - Q_{p,1} = 0$ , во втором опыте  $Q_{кл,2} = Q_{p,1} - Q_{p,2}$  и т. д. То есть при определении расхода через клапан на слив необходимо все время вычитать из  $Q_p$ , определенного в первом опыте.

При определении расхода на слив через клапан КП2 следует учитывать, что расход  $Q_{кл,i}$  равен расходу, определяемому с помощью расходомера РА по формуле (3.9).

Результаты вычислений занести в таблицы 3.1 и 3.2 и построить расходно-перепадные характеристики  $p = f(Q_{кл})$  для клапанов КП1 и КП2.

### Контрольные вопросы

- 1 Устройство стенда.
- 2 Схемы гидравлические принципиальные подсистем для испытаний напорных клапанов.
- 3 Классификация, устройство, основные характеристики напорных клапанов. Обозначение на схемах гидравлических принципиальных.
- 4 Методика испытаний напорных клапанов.
- 5 Анализ результатов исследований.



## 4 Лабораторная работа № 2. Изучение устройства и определение характеристик редукционного клапана

**Цель работы:** изучение устройства и экспериментальное определение характеристик редукционного клапана.

### 4.1 Краткие теоретические сведения

**Редукционный клапан** предназначен для понижения давления на выходе и поддержания этого пониженного давления на постоянном уровне.

Слово «редуцировать» означает понижать. Следовательно, редукционный клапан регулирует давление на выходе и, по сути, является элементом автоматической системы стабилизации давления.

При установке в систему редукционного клапана часто преследуется цель – иметь два уровня давления для питания двух подсистем при использовании одного насоса. Применяется редукционный клапан также и в тех случаях, когда необходимо, чтобы, например, на штоке цилиндра создавалось постоянное усилие.

Условие работоспособности редукционного клапана

$$P_{вых} < P_{вх}, \quad (4.1)$$

где  $P_{вых}$  и  $P_{вх}$  – давления на выходе и входе клапана соответственно.

Как и напорные клапаны, редукционные клапаны бывают **прямого** и **непрямого** действия.

По количеству гидрочленов клапаны разделяют на **двухлинейные** и **трехлинейные**.

На рисунке 4.1 приведены конструктивная схема (а) и условное обозначение (б) двухлинейного золотникового редукционного клапана прямого действия.

Клапан состоит из корпуса 1, золотника 2, пружины 3, подвижной опоры 4.

Редукционные клапаны являются нормально открытыми, т. е. в исходном положении жидкость со входа Р беспрепятственно переходит на выход А. Полость пружины 3 дренажным отверстием L соединена со сливом.

Золотник 2 находится в положении равновесия под действием двух сил: силы давления  $F_{\partial}$ , возникающей в торцевой полости Б, и силы  $F_{пр}$ , создаваемой пружиной 3, т. е.

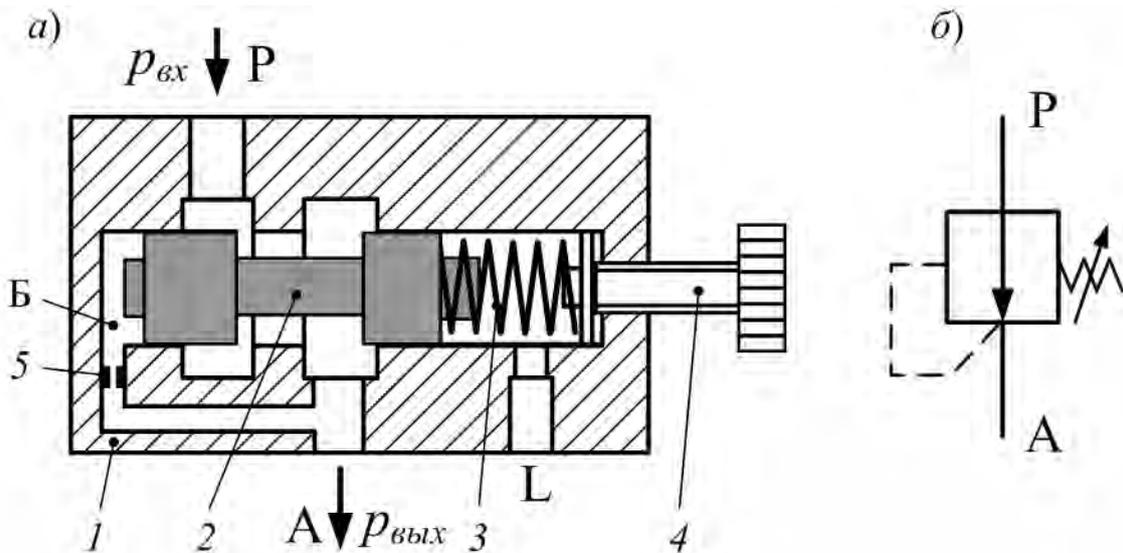
$$F_{\partial} = F_{пр}. \quad (4.2)$$

Учитывая, что  $F_{\partial} = P_{вых} A_3$ , можно записать следующее:

$$P_{вых} = F_{пр} / A_3, \quad (4.3)$$



где  $A_3$  – площадь торцевой поверхности золотника.



*a* – конструктивная схема; *б* – условное обозначение

Рисунок 4.1 – Редукционный клапан прямого действия

При увеличении давления на выходе  $p_{вых}$  по отношению к заданному  $p_{вых.з}$  золотник перемещается вправо, прикрывая проточку, связанную со входом  $P$ . При уменьшении  $p_{вых}$  по отношению к  $p_{вых.з}$  золотник смещается влево, приоткрывая подвод жидкости. Таким образом, редукционный клапан стремится поддерживать  $p_{вых}$  на постоянном уровне.

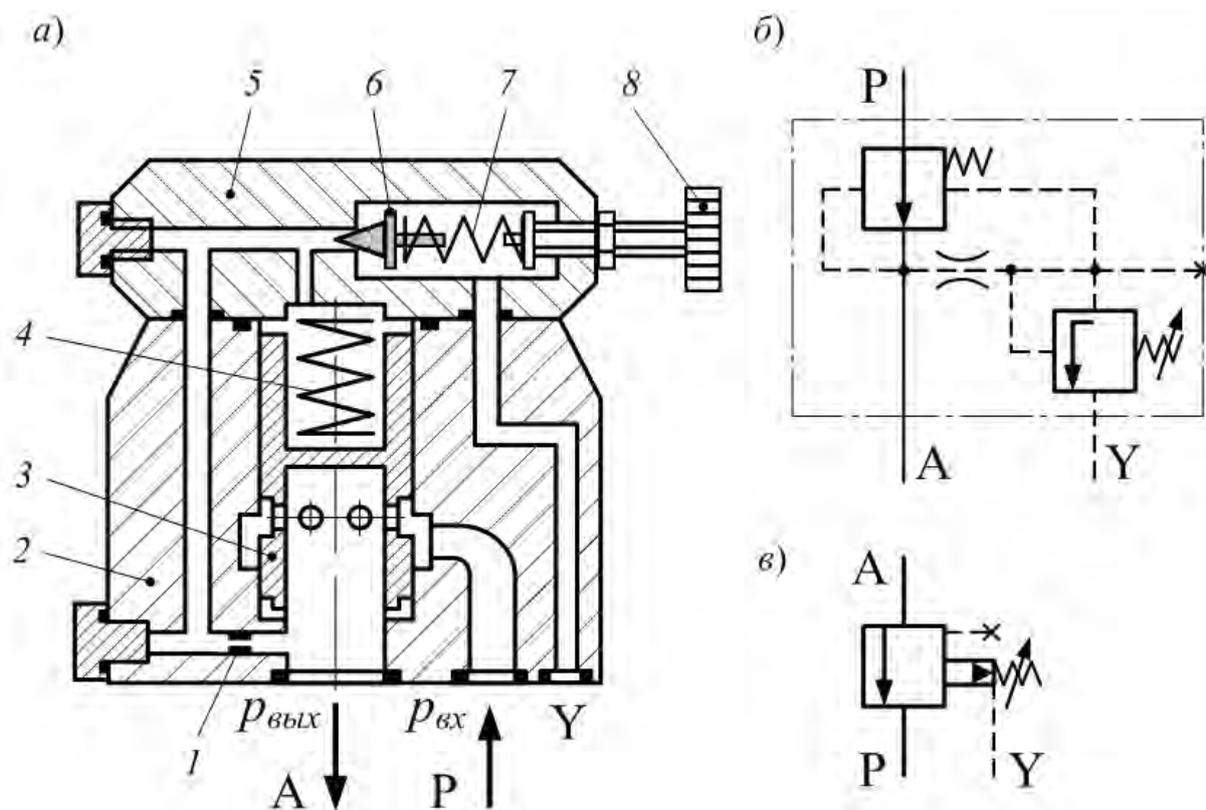
Недостатком двухлинейного редукционного клапана является невозможность поддержания им заданного давления на выходе, если оно по каким-либо причинам превышает заданный уровень  $p_{вых.з}$  (определяемый положением подвижной опоры 4). Для устранения этого недостатка разработаны трехлинейные редукционные клапаны, у которых при  $p_{вых.з} < p_{вых}$  выход  $A$  соединяется со сливом, т. е. в этом случае редукционный клапан начинает работать как предохранительный. У трехлинейного редукционного клапана золотник имеет не два, а три пояска.

Для поддержания пониженного давления в системах с большими расходами применяют редукционные клапаны непрямого действия (рисунок 4.2).

В исходном положении клапан открыт, поскольку подпружиненный золотник 3 основного каскада находится в крайнем нижнем положении и жидкость со входа  $P$  через цилиндрические окна в корпусе 2 и отверстия в золотнике 3 поступает на выход  $A$ . Рабочая жидкость под давлением  $p_{вых}$  через дроссель 1 подводится к пилотному клапану 5 (ЗРЭ 6 которого в исходном положении закрыт) и через канал в полость пружины 4.

Когда давление  $p_{вых}$  достигает заданного уровня, ЗРЭ 6 пилотного клапана 5 поднимается с седла. В результате жидкость пилотным клапаном перепускается в канал  $Y$ . При этом ограничивается дальнейший рост давления в поло-

сти пружины 4. При дальнейшем увеличении  $p_{вых}$  на выходе А золотник 3 перемещается вверх, прикрывая кольцевую щель, соединяющую вход Р с выходом А. Это приводит к стабилизации значения  $p_{вых}$ .



*a* – конструктивная схема; *б* – условное обозначение детальное; *в* – условное обозначение упрощенное

Рисунок 4.2 – Редукционный клапан непрямого действия

При снижении давления на выходе клапана золотник 3 перемещается вниз, увеличивая площадь щели, соединяющей вход Р с выходом А.

Давление, поддерживаемое редукционным клапаном, настраивается с помощью подвижной опоры 8. При вворачивании опоры 8 увеличивается усилие пружины 7, а следовательно, и уровень поддерживаемого клапаном давления.

## 4.2 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить разделы 1 и 2.

Объектом испытаний в данной работе является редукционный клапан КР непрямого действия (тип МКРВ-10/3С2 Р1).

**4.2.1 Подготовка установки к работе.** Перед включением стенда необходимо собрать гидравлическую схему исследуемой подсистемы.

Для проведения испытаний клапана КР (см. рисунок 2.1) необходимо с по-

мощью эластичных трубопроводов с ответвлениями соединить РР1 (разъем R1) со входом КР (разъем R6) и TR1 (разъем R2), а также выход КР (разъем R7) со входом ДР (разъем R12) и TR2 (разъем R3). Соединения следует обеспечить таким образом, чтобы ответвления к манометрам находились поближе к исследуемому объекту – редукционному клапану КР. Это позволит измерять давления (по манометрам МН3 и МН4) непосредственно на входе и выходе клапана КР.

Регулятор расхода РР1 необходимо настроить на максимальный расход (повернуть маховик до ограничения по часовой стрелке).

Регулируемый дроссель РД должен иметь минимальное сопротивление (это достигается поворотом маховика РД до ограничения по часовой стрелке).

Маховик управления редукционным клапаном КР повернуть до ограничения против часовой стрелки. При этом КР будет настроен на поддержание на выходе минимального давления.

**4.2.2 Определение характеристик редукционного клапана.** Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), электронного секундомера (тумблер «Вкл.»).

Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

Маховик управления КР вернуть на два оборота, при этом редукционный клапан будет настроен на поддержание давления на выходе  $p_{вых.з} \approx 2$  МПа.

При различных настройках регулируемого дросселя ДР провести 6 опытов. В каждом опыте необходимо регистрировать:

- давление на входе редукционного клапана  $p_{вх}$  (по манометру МН3);
- давление на выходе редукционного клапана  $p_{вых}$  (по манометру МН4);
- время  $t$  прохождения через расходомер объема жидкости  $W_{жс}$  (с помощью электронного секундомера).

Величиной  $W_{жс}$  необходимо задаться, приняв, например,  $W_{жс} = 10$  дм<sup>3</sup>.

Результаты измерений записать в таблицу 4.1.

После выполнения всех опытов отключить питание секундомера, электродвигателя и стенда.

Таблица 4.1 – Результаты испытаний редукционного клапана

Параметры	Номер опыта $i$					
	1	2	3	4	5	6
Давление на входе $p_{вх}$ , МПа						
Давление на выходе $p_{вых}$ , МПа						
Время $t$ , с						
Объем $W_{жс}$ , дм <sup>3</sup>	10					
Расход через клапан $Q_{кл}$ , дм <sup>3</sup> /с						



### 4.3 Обработка результатов

Расход жидкости, проходящей со входа на выход редукционного клапана:

$$Q_{кл} = W_{жс} / t.$$

Следует учитывать, что при воздействии на регулируемый дроссель ДР изменяется сопротивление линии, подключенной к выходу редукционного клапана. При увеличении сопротивления ДР редукционным клапаном уменьшается расход жидкости, перепускаемой со входа на выход, и наоборот, при уменьшении сопротивления ДР увеличивается расход перепускаемой на выход жидкости.

По результатам испытаний необходимо построить графические зависимости  $p_{вх} = f_1(Q_{кл})$  и  $p_{вых} = f_2(Q_{кл})$  и оценить качество функционирования редукционного клапана.

#### Контрольные вопросы

- 1 Структура гидравлической подсистемы для испытаний редукционного клапана.
- 2 Назначение редукционных клапанов.
- 3 Классификация, устройство, основные характеристики редукционных клапанов.
- 4 Обозначение редукционных клапанов на схемах гидравлических принципиальных.
- 5 Методика испытаний редукционных клапанов.
- 6 Анализ результатов исследований.

## 5 Лабораторная работа № 3. Изучение устройства и определение характеристик гидрораспределителей

**Цель работы:** изучение устройства и экспериментальное определение характеристик гидрораспределителей.

### 5.1 Краткие теоретические сведения

Гидрораспределители относятся к направляющим гидроаппаратам.

Классификация гидрораспределителей:

- 1) в зависимости от числа рабочих позиций: двух-, трех- и четырех-позиционные;
- 2) в зависимости от числа внешних гидролиний: двух-, трех-, четырех-линейные и т. д.;
- 3) по типу запорно-регулирующего элемента: золотниковые, крановые, клапанные;



- 4) по конструкции золотника: с плоским и цилиндрическим золотником;
- 5) по способу управления – вручную или электрическими, гидравлическими, механическими, пневматическими устройствами.

По характеру открытия рабочего проходного сечения различают гидрораспределители **регулирующие и направляющие**.

**Направляющий гидрораспределитель** – направляющий аппарат, предназначенный для управления пуском, остановкой и направлением потока рабочей жидкости путем **полного открытия** или **полного закрытия** рабочего проходного сечения в двух или более гидролиниях в зависимости от наличия внешнего управляющего воздействия.

**Дросселирующий гидрораспределитель** – регулирующий гидроаппарат, предназначенный для управления давлением, расходом и направлением потока рабочей жидкости в нескольких гидролиниях одновременно путем **частичного открытия** рабочего проходного сечения в соответствии с изменением внешнего управляющего воздействия.

Из этих определений следует, что гидрораспределитель может выполнять функции переключателя и дросселя.

Проектируемые гидроприводы чаще всего содержат несколько гидродвигателей, установленных в различных контурах, управление которыми может осуществляться на основе одной из трех следующих схем: **параллельной, последовательной, индивидуальной**. Основным элементом, обеспечивающим реализацию одной из указанных выше схем управления, является гидрораспределитель. При этом чаще всего используются гидрораспределители с несколькими регулирующими элементами золотникового типа.

При **параллельной схеме** возможна одновременная работа всех гидродвигателей, причем жидкость с выхода каждого гидродвигателя через соответствующий золотник гидрораспределителя поступает на слив.

При **последовательной схеме** управления также обеспечивается возможность одновременной работы всех гидродвигателей. Но в этом случае рабочая жидкость с выхода гидродвигателя первого контура управления поступает через гидрораспределитель не на слив, а к гидродвигателю второго контура. Такая схема используется в том случае, когда необходимо обеспечить синхронное движение выходных звеньев гидродвигателей, установленных в различных контурах управления. Следует отметить, что обе схемы (параллельная и последовательная) позволяют обеспечить также работу каждого отдельно взятого контура управления.

При **индивидуальной схеме** невозможна одновременная работа гидродвигателей, установленных в различных контурах управления. При одновременном включении нескольких контуров вступает в работу только один, причем тот, золотник гидрораспределителя которого расположен ближе к напорной линии насоса.

Вопросы реализации рассмотренных схем управления подробно изучены в [1, 4].

Важным требованием, которое необходимо учитывать при проектировании гидропривода, является обеспечение при установке золотников гидрораспреде-

лителя в позицию «нейтральная» **разгрузки насоса**, что достигается соединением напорной линии насоса со сливом, вследствие чего уменьшается давление в напорной линии насоса, а следовательно, и отбор мощности на привод насоса.

Многозолотниковые гидрораспределители по конструктивному исполнению корпуса разделяют на **моноблочные и секционные**.

Регулирующие элементы в **моноблочном** гидрораспределителе расположены в одном корпусе.

**Секционные** гидрораспределители собирают из секций. Конфигурация гидрораспределителя определяется его функциональным назначением.

**Основными параметрами** гидрораспределителей являются **номинальный расход  $Q_{ном}$ , номинальное давление  $p_{ном}$ , условный проход  $d_y$** .

Гидроаппараты выбирают по условным проходам в соответствии с номинальным давлением в гидросистеме и расходом, проходящим через гидроаппарат.

Структура условного обозначения гидрораспределителей в различных отраслях машиностроения содержит различные параметры. Для гидрораспределителей мобильных машин условные обозначения приведены в [1], для гидрораспределителей станочных гидроприводов – в [3].

Правила построения условных графических обозначений распределителей на схемах устанавливает ГОСТ 2.781–96. В обозначении распределителя указывают следующие элементы: позиции запорно-регулирующего элемента; внешние линии связи, подводимые к распределителю; проходы и элементы управления. Число позиций изображают соответствующим числом квадратов или прямоугольников; проходы – прямыми линиями со стрелками, показывающими направление потоков рабочей жидкости в каждой позиции, а места соединений проходов выделяют точками; закрытый ход – тупиковой линией с поперечным отрезком. Чтобы представить принцип работы распределителя в рабочей позиции, необходимо мысленно на схеме передвинуть соответствующий квадрат обозначения на место нейтральной позиции, оставляя линии связи в прежнем положении. Тогда проходы рабочей позиции укажут истинное направление потока рабочей жидкости. **Гидрораспределитель на схемах изображают всегда в нейтральной позиции, к которой подводят все линии связи.**

На рисунке 5.1 показаны условные обозначения некоторых гидрораспределителей, приведенных в ГОСТ 2.781–96 *ЕСКД. Обозначения условные графические. Аппараты гидравлические и пневматические, устройства управления и приборы контрольно-измерительные*.

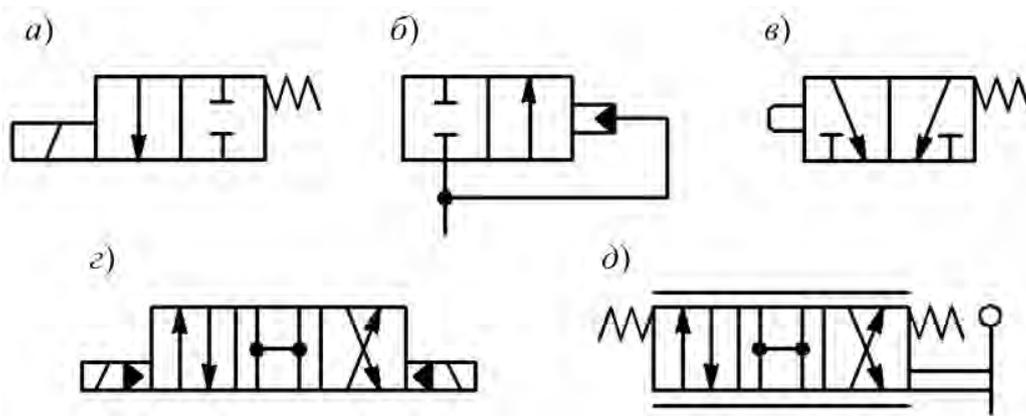
Условные графические обозначения едины для золотниковых, крановых и клапанных гидрораспределителей, т. е. они не отражают конструкцию запорно-регулирующих элементов.

На рисунке 5.2 приведены упрощенная конструктивная схема (*а*) и условное обозначение (*б*) трехпозиционного пятилинейного распределителя с ручным управлением.

Гидрораспределитель состоит из корпуса 1, золотника 2, крышек 3 и 5. Во всех позициях золотник 2 фиксируется подпружиненным шариком 4. Дан-



ный распределитель выполняет функции только переключателя. В нейтральной позиции все линии (подвод Р, выходы А и В, сливы Т<sub>1</sub> и Т<sub>2</sub>) перекрыты.



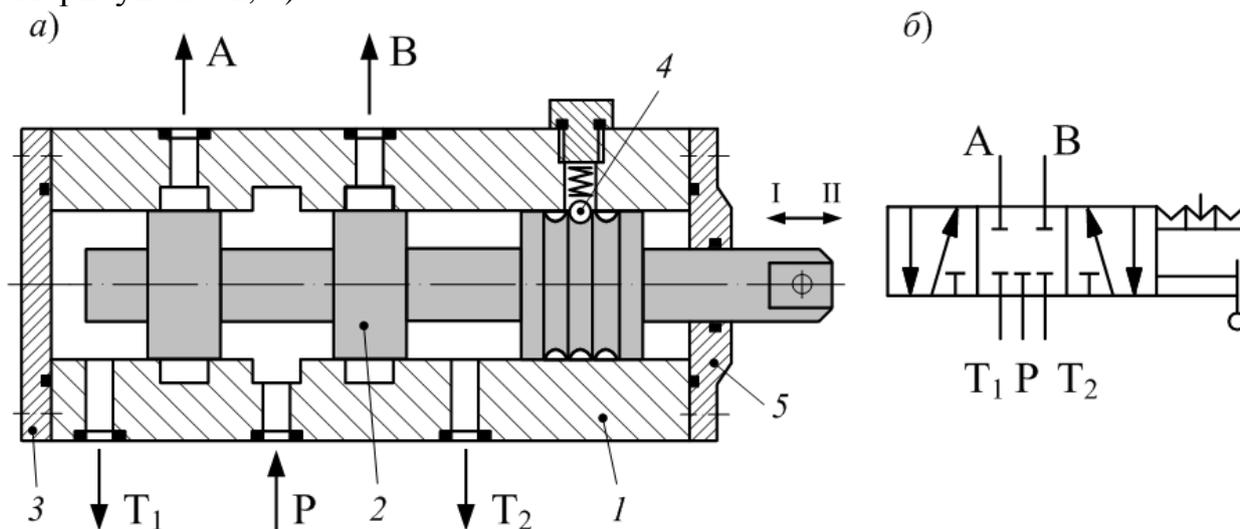
*а* – направляющий двухлинейный двухпозиционный с управлением от электромагнита;  
*б* – направляющий двухлинейный двухпозиционный с гидравлическим управлением;  
*в* – направляющий трехлинейный двухпозиционный с управлением от кулачка и пружинным возвратом;  
*г* – направляющий четырехлинейный трехпозиционный с электрогидравлическим управлением;  
*д* – дросселирующий четырехлинейный трехпозиционный с ручным управлением (выполняет функции дросселя, на что указывают две параллельные линии в изображении гидрораспределителя)

Рисунок 5.1 – Схемы гидрораспределителей

При установке золотника в рабочую позицию I вход Р соединяется с выходом А, выход В подключается к сливу Т<sub>2</sub>, слив Т<sub>1</sub> перекрыт.

При установке золотника в рабочую позицию II вход Р соединяется с выходом В, выход А соединяется со сливом Т<sub>1</sub>, слив Т<sub>2</sub> перекрыт.

Все указанные соединения показаны на условном обозначении (см. рисунок 5.2, б).



*а* – конструктивная схема; *б* – условное обозначение

Рисунок 5.2 – Гидрораспределитель с ручным управлением

Распределитель представляет собой сложное гидравлическое сопротивление. При прохождении через распределитель рабочей жидкости имеют место потери энергии, т. е. часть переносимой жидкостью механической энергии переходит в тепловую. В связи с этим при выполнении расчетов гидравлических систем необходимо знать **гидравлические характеристики** распределителя, к которым относятся:

– расходно-перепадные характеристики, представляющие собой зависимости  $\Delta p = f(Q)$  ( $\Delta p$  – перепад (потери) давления на распределителе,  $Q$  – расход жидкости);

– характеристики утечек рабочей жидкости на распределителе  $Q_{ут} = f(p)$  ( $Q_{ут}$  – расход утечек рабочей жидкости на слив).

Рабочая жидкость через распределитель чаще всего проходит дважды: в направлении к исполнительному устройству и от исполнительного устройства в гидробак. В связи с этим расходно-перепадные характеристики могут определяться как при одиночном прохождении жидкости через распределитель (например, со входа Р на выход А), так и при двойном прохождении, например, со входа Р на выход А и с выхода В на слив Т<sub>2</sub>. Величина  $\Delta p$  зависит от вязкости рабочей жидкости  $\nu$ . Поэтому расходно-перепадные характеристики определяют при фиксированных значениях вязкости (температуре) рабочей жидкости.

На рисунке 5.3 показан примерный вид расходно-перепадных характеристик распределителя.

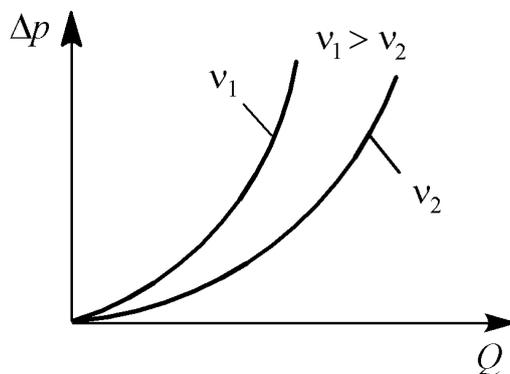


Рисунок 5.3 – Расходно-перепадные характеристики распределителя

Иногда при выполнении расчетов потери давления на гидрораспределителях учитываются не на основе использования их гидравлических характеристик, а считают эти устройства местными гидравлическими сопротивлениями. При этом необходимо знать коэффициенты местного сопротивления этих устройств.

Коэффициент местного сопротивления  $\zeta$  любого устройства (в нашем случае распределителя) равен:

$$\zeta = \frac{\Delta p \pi^2 d^4}{8 \rho Q^2}, \quad (5.1)$$

где  $\Delta p$  – перепад давления на распределителе;

$d$  – диаметр гидролинии, в которой установлен исследуемый распределитель;

$\rho$  – плотность жидкости;

$Q$  – расход жидкости через распределитель.

Выражение (5.1) получено из уравнения Вейсбаха.

Обычно в гидравлических расчетах пользуются понятием «потери давления», но иногда необходимо знать потери мощности в гидросистеме.

Потери мощности на гидрораспределителе можно рассчитать по формуле

$$N_{nom} = \Delta p Q. \quad (5.2)$$

Что касается утечек рабочей жидкости, то следует иметь в виду, что золотник распределителя в корпусе установлен с зазором, причем этот зазор в процессе эксплуатации увеличивается из-за износа поверхностей трения. Проходящая к исполнительному устройству жидкость находится под высоким давлением. Поэтому, если, например золотник 2 (см. рисунок 5.2) переместить в рабочую позицию I, то жидкость, проходящая со входа Р на выход А и находящаяся под высоким давлением, будет перетекать через зазоры между поясками золотника 2 и корпусом 1 на сливы Т<sub>1</sub> и Т<sub>2</sub>. Расходы утечек зависят от вязкости рабочей жидкости. При уменьшении  $\nu$  происходит увеличение  $Q_{ym}$ . Расходы утечек  $Q_{ym}$  в процессе эксплуатации из-за увеличения зазоров могут увеличиться настолько, что это приведет к изменениям характеристик перемещения выходных звеньев гидравлического привода и нарушению его работоспособности.

Характеристики  $Q_{ym} = f(p)$  могут определяться как при установке золотника в рабочие позиции (эти характеристики чаще всего наиболее важны), так и при нахождении его в нейтральной позиции.

При определении характеристик  $Q_{ym} = f(p)$  на стенде выходы распределителя А и В (см. рисунок 5.2) необходимо перекрыть, ко входу Р подключить насосную установку, а сливы Т<sub>1</sub> и Т<sub>2</sub> подключить к расходомеру. Расходы утечек могут быть определены в трех положениях (позициях) золотника (две из них рабочие). Измерение величины  $Q_{ym}$  осуществляется при фиксированных значениях давления  $p$  и температуры (вязкости) рабочей жидкости.

## 5.2 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить разделы 1 и 2.

**Объектом испытаний** в данной работе является трехпозиционный пятилинейный распределитель с ручным управлением. Условный проход его  $d_y = 6$  мм. По схеме испытываемый распределитель в основном соответствует представленному на рисунке 5.2. Единственное важное отличие заключается в том, что у испытываемого распределителя в нейтральной позиции золотника вход Р соединен со сливом.



*5.2.1 Подготовка установки к испытаниям по определению расходно-перепадной характеристики.* Перед включением стенда необходимо собрать гидравлическую схему исследуемой подсистемы. Для этого следует (см. рисунок 2.1), используя эластичный трубопровод с ответвлением, соединить выход регулятора расхода PP1 (разъем R1) со входом распределителя P (разъем R8), а ответвление подключить к блоку TR1 (разъем R2). Выход распределителя (разъем R10) вторым эластичным трубопроводом с ответвлением соединить с регулируемым дросселем ДР (разъем RK12), ответвление подключить к блоку TR2 (разъем R3). Соединение необходимо обеспечить таким образом, чтобы ответвления к манометрам находились со стороны распределителя P, что позволит более точно измерять давления на его входе и выходе.

Распределитель необходимо переключить в рабочую позицию, в которой обеспечивается прохождение жидкости со входа (разъем R8) на выход (разъем R10).

Регулятор расхода PP1 следует настроить на минимальный расход (повернуть маховик управления до ограничения против часовой стрелки).

*5.2.2 Определение расходно-перепадной характеристики распределителя.* Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), электронного секундомера (тумблер «Вкл.»).

Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

При различных настройках регулятора расхода PP1 провести шесть опытов.

В каждом опыте необходимо регистрировать:

- давление на входе распределителя  $p_{вх}$  (по манометру МН3);
- давление на выходе распределителя  $p_{вых}$  (по манометру МН4);
- время  $t$  прохождения через расходомер РА заданного объема жидкости  $W_{жс}$  (с помощью электронного секундомера);
- температуру рабочей жидкости  $t_{жс}$  (по термометру Т).

Величиной объема  $W_{жс}$  необходимо задаться, приняв, например,  $W_{жс} = 10 \text{ дм}^3$ .

Результаты измерений записать в таблицу 5.1.

Следует иметь в виду, что значения  $\Delta p$ ,  $\zeta$  и  $N_{ном}$  определяются в рассматриваемом случае лишь при одиночном прохождении рабочей жидкости через распределитель – со входа P на выход А.

После выполнения всех опытов необходимо отключить питание секундомера и электродвигателя.

*5.2.3 Подготовка установки к испытаниям по определению утечек в распределителе.* При сборке схемы исследуемой подсистемы необходимо трубопроводом с ответвлением соединить регулятор расхода PP1 (разъем R1) со входом распределителя P (разъем R8), а ответвление подключить к блоку TR1 (разъем R2). Ответвление к блоку TR1 (манометру МН3) должно находиться у распределителя P.



Таблица 5.1 – Результаты исследований по определению расходно-перепадной характеристики распределителя

Параметры	Номер опыта $i$					
	1	2	3	4	5	6
Давление на входе $p_{вх}$ , МПа						
Давление на выходе $p_{вых}$ , МПа						
Время $t$ , с						
Объем $W_{ж}$ , дм <sup>3</sup>	10					
Температура жидкости $t_{ж}$ , °С						
Расход через распределитель $Q$ , дм <sup>3</sup> /с						
Перепад давления на распределителе $\Delta p$ , МПа						
Кинематическая вязкость жидкости $\nu$ , мм <sup>2</sup> /с						
Коэффициент местного сопротивления распределителя $\zeta$						
Потери мощности на распределителе $N_{ном}$ , Вт						

Слив с распределителя (разъем R9) необходимо простым трубопроводом соединить с разъемом R13 мерного бака Б2.

Регулятор расхода РР1 следует настроить на максимальный расход (повернуть маховик управления до ограничителя по часовой стрелке).

Переключить распределитель в рабочую позицию.

**5.2.4 Определение характеристики утечки в распределителе.** Включить электродвигатель и питание электронного секундомера.

Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

При различных настройках напорного клапана КП1 провести пять опытов.

В каждом опыте необходимо регистрировать:

- величину давления  $p$  (по манометру МН3);
- время  $t$  поступления в мерный бак объема  $W_{ж}$ ;
- температуру рабочей жидкости  $t_{ж}$ .

Давление  $p$  изменять в пределах 2...6 МПа. Величину  $W_{ж}$  принять равной 10 дм<sup>3</sup>.

Результаты измерений записать в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты исследований по определению утечек в распределителе

Параметры	Номер опыта $i$					
	1	2	3	4	5	6
Давление $p$ , МПа						
Время $t$ , с						
Температура жидкости $t_{ж}$ , °С						
Объем $W_{ж}$ , см <sup>3</sup>	10					
Расход утечек $Q_{ут}$ , см <sup>3</sup> /с						
Кинематическая вязкость жидкости $\nu$ , мм <sup>2</sup> /с						



После выполнения всех опытов отключить питание секундомера, электродвигателя и стенда.

### 5.3 Обработка результатов

Расход жидкости через распределитель

$$Q = \frac{W_{жс}}{t}. \quad (5.3)$$

Расход утечек  $Q_{ум}$  (таблица 5.2) определяется также по формуле (5.3).

Кинематическая вязкость жидкости определяется по графику  $\nu = f(t_{жс})$ , имеющемуся в лаборатории (в гидравлической системе стенда используется минеральное масло для гидрообъемных передач МГЕ-46 В).

Перепад давления на распределителе

$$\Delta p = p_{вх} - p_{вых}.$$

Коэффициент местного сопротивления распределителя определяется по формуле (5.1), а величина  $N_{ном}$  – по формуле (5.2).

По результатам испытаний необходимо построить расходно-перепадную характеристику  $\Delta p = f(Q)$  и характеристики  $\zeta = f(Q)$ ,  $N_{ном} = f(Q)$  и  $Q_{ум} = f(p)$ .

#### Контрольные вопросы

- 1 Устройство лабораторного стенда.
- 2 Классификация и устройство гидрораспределителей.
- 3 Условные графические обозначения гидрораспределителей.
- 4 Основные параметры гидрораспределителей.
- 5 Методика определения гидравлических характеристик гидрораспределителей.
- 6 Анализ экспериментальных гидравлических характеристик распределителя.



## 6 Лабораторная работа № 4. Изучение устройства и определение характеристик фильтров

**Цель работы:** изучение устройства и определение расходно-перепадных характеристик фильтров.

### 6.1 Краткие теоретические сведения

**Кондиционерами рабочей жидкости** называются устройства, предназначенные для получения необходимых качественных показателей и состояния рабочей жидкости.

В машиностроительных гидравлических приводах применяются два вида кондиционеров: теплообменники и отделители твердых частиц.

**Теплообменники** – устройства, предназначенные для обеспечения заданной температуры рабочей жидкости.

**Отделитель твердых частиц** – это устройство для отделения от рабочей жидкости твердых загрязняющих примесей. Отделители характеризуются качеством (тонкостью) фильтрации, под которым понимают способность задерживать (отделять) из рабочей жидкости частицы соответствующих размеров. По качеству фильтрации отделители твердых частиц бывают грубой, задерживающие частицы с размером более 100 мкм; нормальной – более 10 мкм; тонкой – более 5 мкм и особо тонкой очистки – более 1 мкм.

По принципу действия отделители твердых частиц делятся на сепараторы и фильтры.

**Сепараторы** – это отделители твердых частиц, в которых очистка рабочей жидкости происходит под воздействием каких-либо сил. В зависимости от физической природы действующей силы сепараторы разделяются на магнитные, центробежные, электростатические, вибрационные.

**Фильтр** – это отделитель твердых частиц, в котором очистка происходит при прохождении рабочей жидкости через фильтрующий элемент.

Различают фильтры **линейные и встроенные**. **Линейные** фильтры устанавливают в трубопроводы; **встроенные** – в крышки гидробаков.

В зависимости от формы фильтрующих отверстий фильтры бывают: **щелевые, сетчатые и пористые**.

В общем машиностроении в основном необходима грубая или нормальная фильтрация, реже – тонкая. Поэтому пористые фильтры, обеспечивающие тонкую и особо тонкую фильтрацию, используются редко, а наиболее широко применяют щелевые и сетчатые.

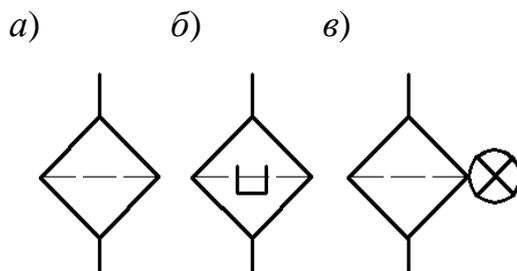
К основным параметрам фильтров относят номинальную тонкость фильтрации  $\delta$ , мкм; номинальное давление жидкости  $P_{ном}$ ; номинальный расход жидкости; условный проход; допустимый перепад давлений на фильтроэлементе; ресурс работы фильтроэлемента.

Выбор фильтра осуществляется по номинальному расходу рабочей жидкости в месте установки, а также необходимой для данного гидропривода тонко-



сти фильтрации. Следует учитывать также номинальное давление, на которое рассчитан фильтр.

Условные графические изображения фильтров приведены на рисунке 6.1.



*a* – фильтр; *б* – фильтр с магнитным сепаратором; *в* – фильтр с индикатором загрязненности

Рисунок 6.1 – Условные графические изображения фильтров

Включение фильтров (сепараторов) в гидросистему производится по двум схемам:

- 1) последовательное включение – через фильтр проходит вся рабочая жидкость;
- 2) параллельное – происходит фильтрация только части потока, направляемого к наиболее ответственным агрегатам.

В большинстве случаев целесообразно использовать в гидросистеме обе схемы фильтрации, включая последовательно фильтр грубой (нормальной) очистки, а перед ответственными агрегатами в соответствующем потоке – фильтр тонкой очистки.

По назначению различают фильтры **всасывающие, напорные, сливные** (т. е. установленные соответственно во всасывающей, напорной, сливной гидролиниях).

На рисунке 6.2 показаны возможные схемы установки фильтра.

На рисунке 6.2, *a* фильтр установлен на всасывании насоса. С точки зрения качества фильтрации – это наиболее предпочтительное место его установки. Вторым достоинством такой схемы является то, что фильтр находится под действием небольших давлений. В большинстве случаев давление на входе в насос, а следовательно, и на фильтре, ниже атмосферного, что позволяет корпус фильтра выполнять тонкостенным, имеющим небольшую массу. Недостатком рассматриваемой схемы является то, что в процессе эксплуатации фильтроэлемент засоряется, при этом увеличивается сопротивление фильтра и снижается давление на входе в насос, что может приводить к возникновению кавитации и срыву подачи насоса. Поэтому при такой установке фильтра необходимо постоянно контролировать степень засоренности фильтроэлемента и производить его своевременную замену.

При установке фильтра в напорную линию (рисунок 6.2, *б*) не так надежно защищен от загрязнителя насос, корпус фильтра находится под действием высоких давлений и имеет сравнительно большую массу.

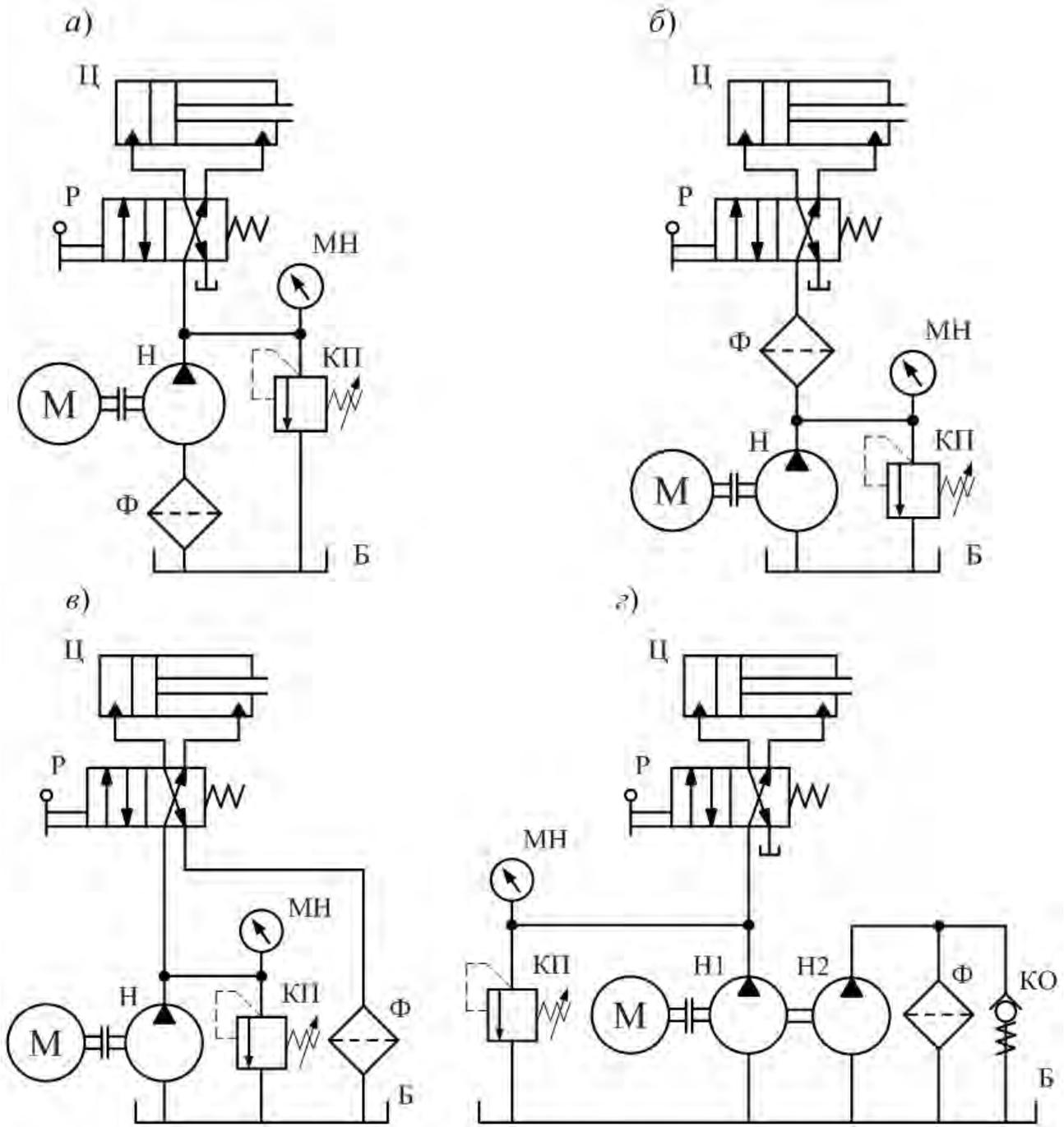


Рисунок 6.2 – Схемы установки фильтров

На мобильных машинах в гидроприводах с разомкнутой циркуляцией чаще всего применяется полнопоточная фильтрация рабочей жидкости на сливе (рисунок 6.2, в).

Давление в трубопроводе на сливе низкое, поэтому корпус фильтра имеет небольшую массу.

На рисунке 6.2, г фильтр установлен в линию рециркуляции. Достоинствами такой схемы являются автономность функционирования подсистемы очистки жидкости и независимость от циклов работы основной системы.

Для контроля степени загрязненности фильтроэлемента часто применяют оптические или электрические индикаторы, реагирующие на перепад

давления на фильтре.

Для исключения перебоев в работе гидравлической системы иногда параллельно фильтроэлементу устанавливают перепускной клапан так, как это показано, например, на рисунке 6.2, з. При этом перепускной клапан часто встраивают в корпус фильтра. Перебои в работе гидросистем могут возникать при работе в условиях отрицательных температур (при большой вязкости жидкости), а также при высокой степени засоренности фильтроэлемента.

Фильтр представляет собой гидравлическое сопротивление. Поэтому при проектировании гидравлических систем необходимо знать **гидравлические характеристики фильтров**. Важнейшей из гидравлических характеристик фильтра является его расходно-перепадная характеристика

$$\Delta p = f(Q),$$

где  $\Delta p$  – перепад давления на фильтре;

$Q$  – расход жидкости через фильтр.

Перепад (потери) давления на фильтре зависит от вязкости рабочей жидкости. Поэтому характеристики  $\Delta p = f(Q)$  определяют при различных значениях кинематической вязкости жидкости  $\nu$ . Примерный вид расходно-перепадных характеристик у фильтра такой же, как и у распределителя (см. рисунок 5.3).

## 6.2 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить разделы 1 и 2.

**Объектом испытаний** в данной работе является напорный полнопоточный фильтр типа ФГИ 12/3-25КВ нормальной очистки с номинальной толщиной фильтрации  $\delta = 25$  мкм (установлен в напорной линии насоса Н).

**6.2.1 Подготовка установки к испытаниям.** Перед включением стенда необходимо собрать гидравлическую схему исследуемой подсистемы. Для этого следует (см. рисунок 2.1) выход регулятора расхода РР1 (разъем R1) простым трубопроводом соединить со входом регулируемого дросселя ДР (разъем R12).

Маховики управления регулятором расхода РР1 и регулируемым дросселем ДР необходимо повернуть до ограничения по часовой стрелке.

**6.2.2 Определение расходно-перепадных характеристик фильтра.** Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), электронного секундомера (тумблер «Вкл.»).

Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

При различных настройках регулятора расхода РР1 провести шесть опытов.

В каждом опыте необходимо регистрировать:

– давление на входе фильтра  $p_1$  (по манометру МН1);



- давление на выходе фильтра  $p_2$  (по манометру МН2);
- время  $t$  прохождения через расходомер объема жидкости  $W_{жс}$ ;
- температуру рабочей жидкости  $t_{жс}$ .

Величиной объема  $W_{жс}$  необходимо задаться, приняв, например,  $W_{жс} = 10 \text{ дм}^3$ .

Результаты измерений записать в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты исследований фильтра

Параметры	Номер опыта $i$					
	1	2	3	4	5	6
Давление $p_1$ , МПа						
Давление $p_2$ , МПа						
Время $t$ , с						
Температура жидкости $t_{жс}$ , °С						
Объем $W_{жс}$ , дм <sup>3</sup>	10					
Перепад давления на фильтре $\Delta p$ , МПа						
Расход через фильтр $Q$ , дм <sup>3</sup> /с						
Кинематическая вязкость жидкости $\nu$ , мм <sup>2</sup> /с						
Коэффициент местного сопротивления фильтра $\zeta$						

После выполнения всех опытов необходимо отключить питание секундомера, электродвигателя и стенда.

### 6.3 Обработка результатов

Перепад давления на фильтре

$$\Delta p = p_1 - p_2.$$

Расход жидкости через фильтр

$$Q = \frac{W_{жс}}{t}.$$

Расход через расходомер равен расходу через исследуемый фильтр.

В первом опыте при указанных выше настройках РР1 и ДР вся жидкость, подаваемая насосом, проходит через фильтр и расходомер РА. При этом напорный клапан КП1 закрыт и не перепускает жидкость на слив. Начиная со второго опыта регулятор РР1 обеспечивает расход на выходе меньше, чем подача насоса. При этом часть подачи насоса клапаном КП1 перепускается на слив.

Кинематическая вязкость жидкости определяется по графику  $\nu = f(t_{жс})$ , имеющемуся в лаборатории.



Коэффициент местного сопротивления  $\zeta$  определяется по формуле (5.1) (диаметр трубопровода в месте установки фильтра  $d = 8$  мм, плотность масла  $\rho = 890$  кг/м<sup>3</sup>).

По результатам испытаний необходимо построить расходно-перепадную характеристику фильтра  $\Delta p = f(Q)$  и зависимость  $\zeta = f(Q)$ .

### **Контрольные вопросы**

- 1 Схема лабораторной установки.
- 2 Классификация, устройство, основные параметры и характеристики фильтров.
- 3 Обозначение фильтров на схемах.
- 4 Место установки фильтра (достоинства и недостатки).
- 5 Методика экспериментального определения гидравлической характеристики фильтра.
- 6 Анализ результатов исследований.

## **7 Лабораторная работа № 5. Изучение устройства и определение характеристик двухлинейного регулятора расхода**

**Цель работы:** изучение устройства и экспериментальное определение характеристик двухлинейного регулятора расхода.

### **7.1 Краткие теоретические сведения**

**Двухлинейный регулятор расхода** предназначен для поддержания расхода на выходе на постоянном заданном уровне при изменениях давления на входе и на выходе.

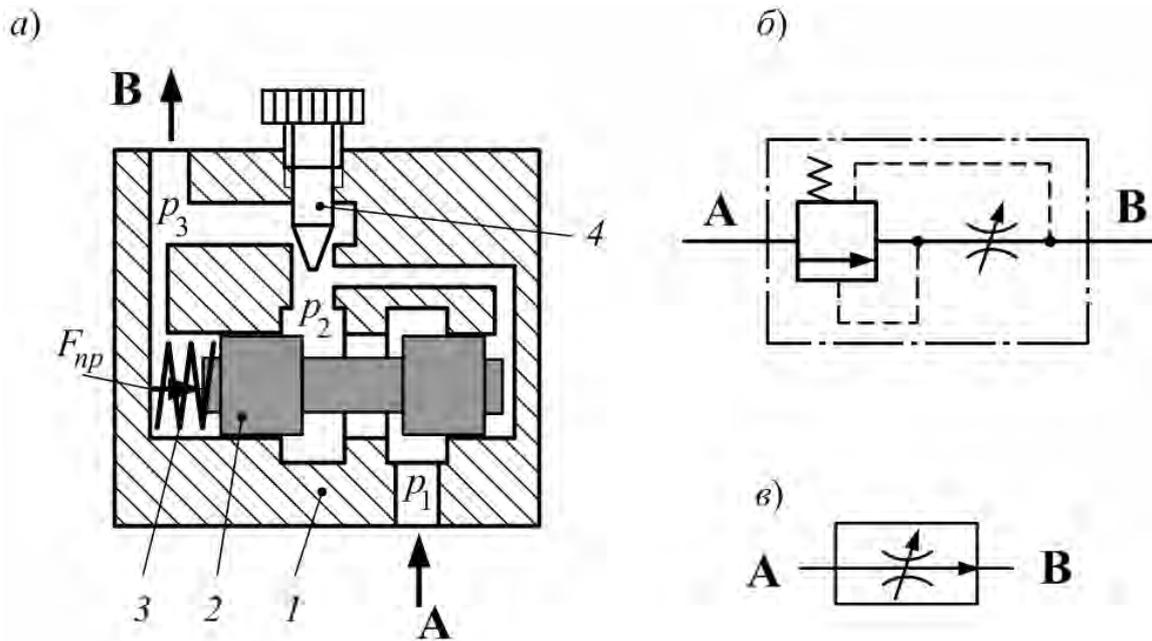
Применяют двухлинейные регуляторы расхода для обеспечения заданной скорости движения выходного звена гидропривода (например, штока гидроцилиндра) при действии на него переменной нагрузки.

На рисунке 7.1 приведены конструктивная схема двухлинейного регулятора расхода (*a*), а также его детальное (*b*) и упрощенное (*в*) обозначения на схемах гидравлических принципиальных.

Регулятор расхода (см. рисунок 7.1, *a*) состоит из корпуса *1* с установленным в нем клапаном разности давления (состоит из золотника *2* и пружины *3*) и регулируемым дросселем (регулируемый дроссель представляет собой кольцевую щель, образованную между гнездом корпуса *1* и иглой *4*). Клапаном разности давлений обеспечивается постоянный перепад давления на регулируемом дросселе. Известно, что расход через дроссель зависит от перепада давления на дросселе и площади его проходного сечения. Поэтому, если на дросселе поддерживать постоянный перепад давления (а это обеспечивает клапан раз-



сти давлений), то расход через дроссель будет зависеть только от его площади, определяемой в рассматриваемой конструкции положением иглы 4.



*a* – конструктивная схема; *б* – условное обозначение детальное; *в* – условное обозначение упрощенное

Рисунок 7.1 – Двухлинейный регулятор расхода

Регулятор двухлинейный, т. к. он связан с другими устройствами только двумя линиями (из них А – вход, а В – выход).

На схеме обозначены:

- $p_1$  – давление на входе;
- $p_2$  – давление перед регулируемым дросселем;
- $p_3$  – давление на выходе.

Уравнение равновесия золотника 2 имеет вид:

$$F_{np} + p_3 A_3 = p_2 A_3, \quad (7.1)$$

где  $F_{np}$  – усилие пружины;

$A_3$  – площадь торцевой поверхности золотника.

Выполнив преобразования, получим

$$F_{np} = p_2 A_3 - p_3 A_3.$$

Откуда

$$p_2 - p_3 = \frac{F_{np}}{A_3}.$$

Перепад давлений  $p_2 - p_3$  и есть перепад давлений на регулируемом дросселе (для каждой конкретной конструкции эту величину можно считать постоянной).

Предположим, что величина давления  $p_3$  на выходе регулятора расхода возросла. Это приведет к перемещению золотника 2 вправо. При этом увеличится площадь регулируемого дросселя, образованного между передней кромкой правого пояска золотника 2 и корпусом 1. В результате давление  $p_2$  повысится, что приведет к уменьшению величины  $p_2 - p_3$ , а следовательно, и величины расхода на выходе регулятора.

При снижении  $p_3$  золотник 2 переместится влево, площадь сечения дросселя, образованного между корпусом и передней кромкой правого пояска золотника, уменьшится, что приведет к уменьшению давления  $p_2$  и восстановлению разности давлений  $p_2 - p_3$ , а следовательно, и расхода.

Регулятор обеспечивает регулирование расхода при условии, что  $p_3 < (p_1 - \Delta p)$ , где  $\Delta p = p_2 - p_3$ .

Следует отметить, что дозирование расхода двухлинейным регулятором на многих режимах работы сопровождается значительными потерями энергии. В отдельных случаях КПД гидропривода может составлять несколько процентов (1...5 %). Это объясняется тем, что избыток подачи насоса по отношению к расходу, обеспечиваемому на выходе В, перепускается через предохранительный клапан, установленный на выходе насоса, на слив. Производство расхода через предохранительный клапан на слив на давление срабатывания предохранительного клапана равно потерям мощности (энергии, которая переходит в тепловую). Таким образом, чем меньше величина задаваемого расхода и давления на выходе регулятора, тем ниже КПД гидропривода.

Важнейшей статической характеристикой регулятора расхода является зависимость  $Q_p = f(p_{вых})$ , где  $Q_p$  и  $p_{вых}$  – соответственно расход и давление на выходе регулятора (на рисунке 7.1, а давление на выходе обозначено как  $p_3$ ).

## 7.2 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить разделы 1 и 2.

**Объектом испытаний** в данной работе является двухлинейный регулятор расхода РР1 типа МПГ 55-22.

В результате проведения испытаний необходимо получить характеристику  $Q_p = f(p_{вых})$ , а также характеристики, позволяющие оценить энергетические потери, обусловленные работой регулятора расхода.

**7.2.1 Подготовка установки к работе.** Перед включением стенда необходимо собрать гидравлическую схему, используя рисунок 2.1. Для этого необходимо трубопроводом с ответвлением соединить выход регулятора расхода РР1



(разъем R1) со входом дросселя ДР (разъем R12), ответвление, которое должно находиться со стороны РР1, подключить к блоку TR1 (разъем R2).

Маховики управления РР1 и ДР необходимо повернуть до ограничителя по часовой стрелке.

**7.2.2 Определение характеристик регулятора расхода.** Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), электронного секундомера (тумблер «Вкл.»).

Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

Вначале необходимо определить подачу насоса  $Q_H$ . Для этого при указанных выше настройках РР1 и ДР измерить время  $t$  прохождения через расходомер РА объема  $W_{жс} = 10 \text{ дм}^3$ . Тогда  $Q_H = W_{жс} / t$  (на исследуемом режиме расход через расходомер РА равен подаче насоса). Далее определенное значение  $Q_H$  на всех режимах работы системы будем считать постоянным, что допустимо, т. к. подача объемного насоса при изменениях давления на его выходе изменяется незначительно.

Исследования необходимо провести на двух режимах (при двух настройках регулятора расхода РР1).

Вначале маховик управления РР1 следует установить в позицию «1» и на этом режиме при различных настройках регулируемого дросселя ДР провести шесть опытов.

В каждом опыте необходимо регистрировать:

- давление  $p_1$  (по манометру МН1);
- давление  $p_2$  (по манометру МН2);
- давление  $p_{вых}$  (по манометру МН3);
- время  $t$  прохождения через расходомер РА объема  $W_{жс}$ .

Результаты измерений записать в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты исследований двухлинейного регулятора расхода

Параметры	Режим исследования						Режим исследования					
	I						II					
	Номер опыта $i$						Номер опыта $i$					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Давление $p_1$ , МПа												
Давление $p_2$ , МПа												
Давление $p_{вых}$ , МПа												
Время $t$ , с												
Объем $W_{жс}$ , дм <sup>3</sup>	10						10					
Расход $Q_p$ , дм <sup>3</sup> /с												
Мощность на выходе насоса $N_H$ , Вт												
Мощность на входе регулятора $N_{вх}$ , Вт												
Мощность на выходе регулятора $N_{вых}$ , Вт												



После выполнения опытов на режиме I необходимо по такой же методике провести исследования на режиме II (при установленном маховике управления РР1 в позицию «2»).

После выполнения всех опытов следует отключить питание секундомера, электродвигателя и стенда.

### 7.3 Обработка результатов

Расход на выходе регулятора (равен расходу на входе регулятора)

$$Q = W_{жс} / t.$$

Мощность на выходе насоса  $N_n = p_1 Q_n$  (расход определен в начале испытаний, на всех режимах  $Q_n = \text{const}$ ).

Мощность на входе регулятора  $N_{вх} = p_2 Q$ .

Мощность на выходе регулятора  $N_{вых} = p_{вых} Q$ .

По результатам испытаний для двух режимов необходимо построить следующие графические зависимости:  $Q_{вых} = f_1(p)$ ,  $N_n = f_2(p)$ ,  $N_{вх} = f_3(p)$  и  $N_{вых} = f_4(p)$ .

#### Контрольные вопросы

- 1 Схема лабораторной установки.
- 2 Назначение, устройство и обозначение на схемах двухлинейного регулятора расхода.
- 3 Методика экспериментальных исследований двухлинейного регулятора расхода.
- 4 Анализ результатов экспериментальных исследований.
- 5 Оценка энергетических характеристик регулятора расхода.

## 8 Лабораторная работа № 6. Изучение устройства и определение характеристик трехлинейного регулятора расхода

**Цель работы:** изучение устройства и экспериментальное исследование характеристик трехлинейного регулятора расхода.

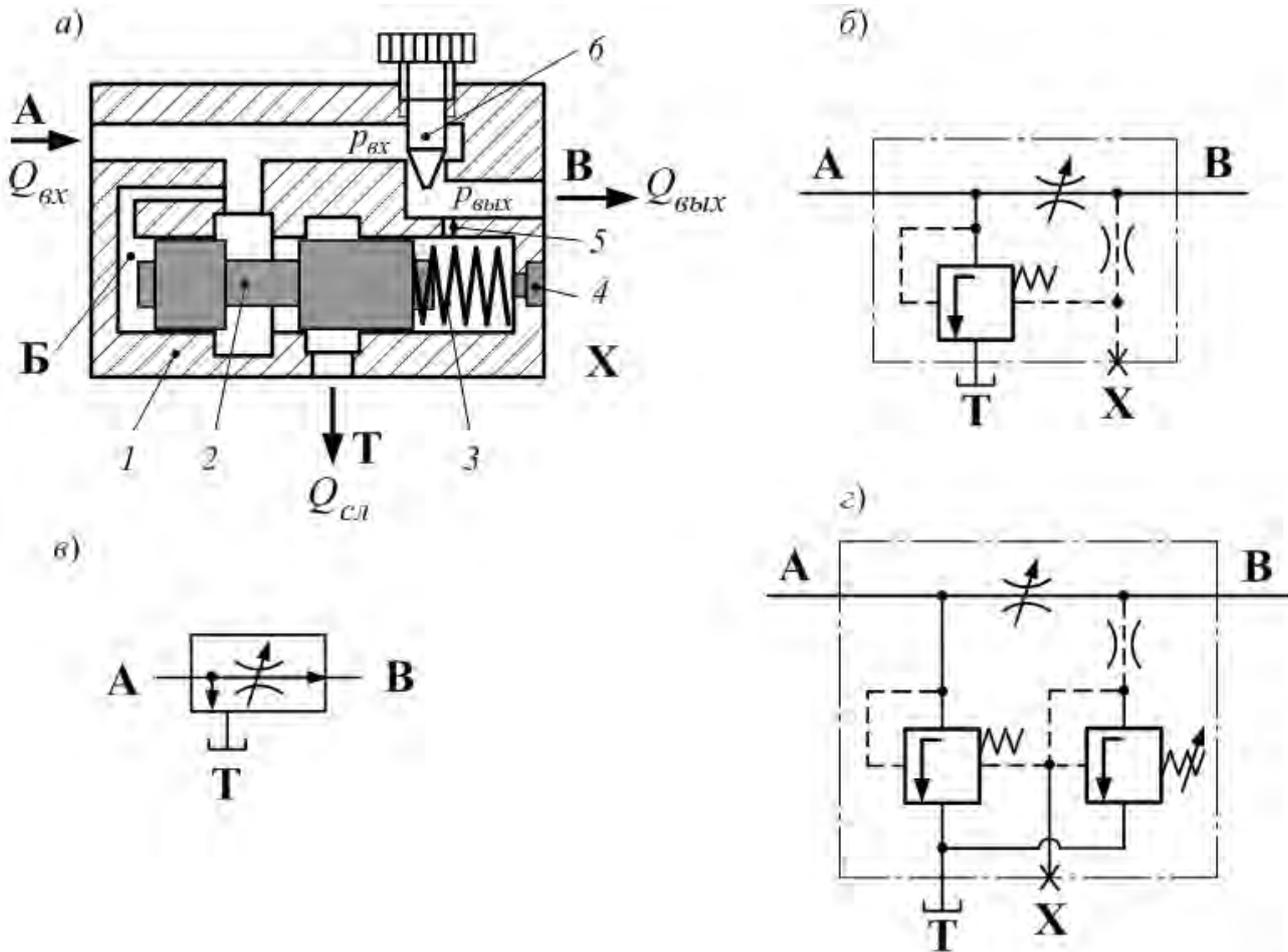
### 8.1 Краткие теоретические сведения

Назначение трехлинейного регулятора расхода такое, как и двухлинейного: регулирование (поддержание на постоянном уровне) расхода на выходе независимо от значения давлений на входе и выходе этого устройства. Используется трехлинейный регулятор для обеспечения постоянных скоростей движе-



ния выходных звеньев гидроприводов, работающих в условиях действия внешних переменных нагрузок.

На рисунке 8.1 приведены конструктивная схема (а) и условные обозначения (б–г) трехлинейных регуляторов расхода.



а – конструктивная схема; б – условное обозначение детальное; в – условное обозначение упрощенное; г – условное обозначение детальное трехлинейного регулятора расхода с предохранительным клапаном

Рисунок 8.1 – Трехлинейный регулятор расхода

Регулятор расхода (рисунок 8.1, а) состоит из следующих основных элементов: корпуса 1, клапана разности давлений и регулируемого дросселя. Клапан разности давлений содержит установленные в корпусе золотник 2 и пружину 3. Регулируемый дроссель представляет собой кольцевую щель, образованную между конической поверхностью иглы 6 и корпусом 1.

**Основное преимущество** трехлинейного регулятора расхода перед двухлинейным заключается в том, что дозирование расхода жидкости трехлинейным регулятором расхода осуществляется при значительно меньших затратах энергии.

На вход трехлинейного регулятора А поступает расход  $Q_{вх}$ , который практически равен подаче насоса. Расход на выходе В регулятора  $Q_{вых}$  составляет

только часть расхода  $Q_{вх}$ . Регулирование расхода на выходе  $Q_{вых}$  осуществляется регулятором при условии  $Q_{вх} > Q_{вых}$ . Избыточный расход золотником 2 регулятора перепускается на слив, т. е.

$$Q_{вх} - Q_{вых} = Q_{сл}.$$

Условие равновесия золотника 2 имеет вид:

$$F_1 = F_{пр} + F_2, \quad (8.1)$$

где  $F_1$  – сила, действующая на золотник в полости Б;

$F_{пр}$  – усилие пружины;

$F_2$  – сила давления, действующая на золотник в полости пружины.

Учитывая, что  $F_1 = p_{вх} A_3$ , а  $F_2 = p_{вых} A_3$ , получим

$$p_{вх} A_3 = F_{пр} + p_{вых} A_3. \quad (8.2)$$

Выполнив простейшие преобразования, из уравнения (8.2) получим

$$p_{вх} - p_{вых} = \frac{F_{пр}}{A_3}. \quad (8.3)$$

При проектировании трехлинейных регуляторов расхода пружину обычно выбирают с наибольшими жесткостью и усилием. Поэтому перепад давления ( $p_{вх} - p_{вых}$ ) на регуляторе обычно находится в пределах 0,1...0,2 МПа, т. е. давление на входе трехлинейного регулятора  $p_{вх}$  очень мало отличается от давления на его выходе  $p_{вых}$ .

Работает трехлинейный регулятор расхода следующим образом. Предположим, что давление  $p_{вых}$  снизилось. Это приведет к перемещению золотника 2 вправо. При этом увеличится площадь проходного сечения щели, образованной между корпусом 1 и левой кромкой правой пояски золотника 2. В результате увеличится расход на слив  $Q_{сл}$ , что приведет к снижению  $p_{вх}$  и восстановлению перепада давлений на дросселе ( $p_{вх} - p_{вых}$ ). При этом стабилизируется расход на выходе регулятора.

При увеличении  $p_{вых}$  золотник 2 переместится влево, при этом уменьшается  $Q_{сл}$ , а следовательно, увеличивается  $p_{вх}$ . В результате перепад давления ( $p_{вх} - p_{вых}$ ) на дросселе восстанавливается и стабилизируется  $Q_{вых}$ .

Для лучшего понимания преимуществ трехлинейного регулятора расхода по отношению к двухлинейному рассмотрим следующий пример.

Предположим, что в гидравлическом приводе номинальное давление 16 МПа. Предохранительный клапан, установленный на выходе насоса,



в такой системе настроен на давление срабатывания, равное 18 МПа. Для преодоления нагрузки на выходном звене гидропривода необходимо, чтобы давление на выходе регулятора было, например, 6 МПа, а для получения требуемой скорости выходного звена – расход на выходе регулятора должен составлять 20 дм<sup>3</sup>/мин.

Подача насоса, предположим, равна 40 дм<sup>3</sup>/мин.

Если в рассматриваемом примере в гидроприводе для дозирования расхода установить двухлинейный регулятор расхода, то для достижения цели регулирования (обеспечения на выходе регулятора расхода, равного 20 дм<sup>3</sup>/мин, и давления 6 МПа) давление на выходе насоса регулятором будет повышено до 18 МПа. Избыток подачи насоса 20 дм<sup>3</sup>/мин через предохранительный клапан будет перепускаться на слив.

При использовании трехлинейного регулятора расхода давление на выходе насоса будет превышать требуемое давление на выходе регулятора (6 МПа) на относительно небольшую величину, примерно равную величине потерь давления на участке между насосом и регулятором расхода, т. е. давление на выходе насоса будет находиться в пределах 7 МПа. При этом предохранительный клапан, установленный на выходе насоса, будет закрыт. Избыток подачи насоса, равный 20 дм<sup>3</sup>/мин, золотником 2 (см. рисунок 8.1, а) регулятора расхода будет направляться на слив.

Таким образом, как следует из приведенных рассуждений, для обеспечения одной и той же цели регулирования в случае использования двухлинейного регулятора расхода насос будет работать при давлении 18 МПа. В случае же использования трехлинейного регулятора расхода давление на выходе насоса будет примерно равным 7 МПа. Если учесть, что произведение расхода на давление – это мощность, то становится очевидным преимущество трехлинейного регулятора расхода.

Важным элементом в конструкции регулятора расхода (см. рисунок 8.1, а) является дроссель 5, через который жидкость с выхода (где давление  $p_{вых}$ ) поступает в полость пружины 3. Дроссель 5 предназначен для демпфирования процессов перемещения золотника 2 и улучшения качества функционирования регулятора расхода.

В ряде конструкций регуляторов расхода предусмотрена возможность дистанционного управления. Сигнал управления X подается через отверстие 4.

Во многие конструкции трехлинейного регулятора расхода устанавливается предохранительный клапан непрямого действия. Такой регулятор установлен и на стенде. Его условное обозначение показано на рисунке 8.1, з. На режимах, на которых будут проводиться испытания, предохранительный клапан в работу не вступает. Поэтому при рассмотрении конструкции регулятора (см. рисунок 8.1, а) с целью упрощения предохранительный клапан не показан.

Важнейшей статической характеристикой трехлинейного регулятора расхода является зависимость  $Q_p = f(p_{вых})$ , где  $Q_p$  и  $p_{вых}$  – расход и давление на выходе регулятора соответственно.



## 8.2 Проведение испытаний

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо изучить разделы 1 и 2.

**Объектом испытаний** в данной работе является трехлинейный регулятор расхода РР2 типа МПГ 55-12.

В результате проведения испытаний необходимо получить характеристику  $Q_p = f(p_{вых})$ , а также характеристики, позволяющие оценить энергетические потери, обусловленные работой регулятора расхода.

**8.2.1 Подготовка установки к работе.** Перед включением стенда необходимо собрать гидравлическую схему, используя рисунок 2.1. Для этого необходимо одним трубопроводом с ответвлением соединить выход регулятора расхода РР1 (разъем R1) со входом регулятора расхода РР2 (разъем R14), а ответвление подключить к блоку TR1 (разъем R2), причем ответвление должно находиться со стороны РР2.

Вторым трубопроводом с ответвлением необходимо соединить выход РР2 (разъем R15) со входом ДР (разъем R12), а ответвление подключить к блоку TR2. Ответвление также должно находиться со стороны РР2.

Маховики управления РР1, РР2 и ДР следует повернуть до ограничения по часовой стрелке.

**8.2.2 Определение характеристик регулятора расхода.** Включить электрическое питание стенда («Сеть»), электродвигателя М (кнопка «Пуск»), электронного секундомера (тумблер «Вкл.»).

Дать возможность поработать стенду в течение 3...5 мин.

Вначале необходимо определить подачу насоса  $Q_n$ . Для этого при указанных выше настройках РР1, РР2 и ДР следует измерить время  $t$  прохождения через расходомер РА объема  $W_{жс} = 10 \text{ дм}^3$ . Тогда  $Q_n = W_{жс} / t$  (на исследуемом режиме расход через расходомер РА равен подаче насоса). Далее определенное значение  $Q_n$  на всех режимах работы системы будем считать постоянным, что допустимо, т. к. подача объемного насоса при изменениях давления на его выходе изменяется незначительно.

Исследования необходимо провести на двух режимах (при двух настройках регулятора расхода РР2).

Вначале маховик управления РР2 следует установить в позицию «1» и на этом режиме при различных настройках регулируемого дросселя ДР провести шесть опытов.

В каждом опыте необходимо регистрировать:

- давление  $p_1$  (по манометру МН1);
- давление  $p_{вх}$  (по манометру МН3);
- давление  $p_{вых}$  (по манометру МН4);
- время  $t$  прохождения через расходомер РА объема  $W_{жс}$ .



Результаты измерений записать в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Результаты исследований трехлинейного регулятора расхода

Параметры	Режим исследования I						Режим исследования II					
	I						II					
	Номер опыта $i$						Номер опыта $i$					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Давление $p_1$ , МПа												
Давление $p_{вх}$ , МПа												
Давление $p_{вых}$ , МПа												
Время $t$ , с												
Объем $W_{жс}$ , дм <sup>3</sup>	10						10					
Расход $Q_{вых}$ , дм <sup>3</sup> /с												
Мощность на выходе насоса $N_H$ , Вт												
Мощность на входе регулятора $N_{вх}$ , Вт												
Мощность на выходе регулятора $N_{вых}$ , Вт												

После выполнения опытов на режиме I необходимо по такой же методике провести исследования на режиме II (при установленном маховике управления РР2 в позицию «2»).

После выполнения всех опытов следует отключить питание секундомера, электродвигателя и стенда.

### 8.3 Обработка результатов

Расход на входе регулятора

$$Q_{вх} = Q_H,$$

где  $Q_H$  – подача насоса, принимается во всех опытах постоянной.

Расход на выходе регулятора

$$Q_{вых} = \frac{W_{жс}}{t}.$$

Мощность на выходе насоса  $N_H = p_1 Q_H$ .

Мощность на входе регулятора  $N_{вх} = p_{вх} Q_H$ .

Мощность на выходе регулятора  $N_{вых} = p_{вых} Q_H$ .

По результатам испытаний для двух режимов необходимо построить следующие графические зависимости:  $Q_{вых} = f_1(p_{вых})$ ,  $N_H = f_2(p_{вых})$ ,  $N_{вх} = f_3(p_{вых})$  и  $N_{вых} = f_4(p_{вых})$ .



### **Контрольные вопросы**

- 1 Схема лабораторной установки.
- 2 Назначение, устройство и обозначение на схемах трехлинейного регулятора расхода.
- 3 Достоинства трехлинейного регулятора расхода.
- 4 Методика экспериментальных исследований трехлинейного регулятора расхода.
- 5 Анализ результатов экспериментальных исследований.
- 6 Оценка энергетических характеристик трехлинейного регулятора расхода.

### **Список литературы**

- 1 **Ивановский, Ю. К.** Основы теории гидропривода: учебное пособие / Ю. К. Ивановский, К. П. Моргунов. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2018. – 200 с.
- 2 **Наземцев, А. С.** Пневматические и гидравлические приводы и системы. Ч. 2: Гидравлические приводы и системы. Основы: учебное пособие / А. С. Наземцев, Д. Е. Рыбальченко. – Москва: ФОРУМ, 2017. – 304 с.: ил.
- 3 Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод: учебное пособие для вузов / Под ред. С. П. Стесина. – 3-е изд., стер. – Москва: Академия, 2007. – 336 с.
- 4 **Медведев, В. Ф.** Гидравлика и гидравлические машины: учебное пособие / В. Ф. Медведев. – Минск: Вышэйшая школа, 1998. – 311 с.
- 5 Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Под общ. ред. Б. Б. Некрасова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Вышэйшая школа, 1985. – 382 с. : ил.
- 6 **Васильченко, В. А.** Гидравлическое оборудование мобильных машин: справочник / В. А. Васильченко. – Москва: Машиностроение, 1983. – 301 с. : ил.
- 7 Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта [и др.]; под. ред. Т. М. Башта. – 2-е изд, перераб. – Москва: Машиностроение, 1982. – 423 с. : ил.

