

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(технический университет)

В.И. Голубев

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА**

Методическое пособие

по курсу

«Системы гидро- и пневмоавтоматики»

для студентов, обучающихся в ЦП «МЭИ-ФЕСТО»
по направлению «Автоматизация и управление»

Москва

Издательский дом МЭИ

2009

Г 621 Голубев В.И.
Расчет основных параметров гидравлического привода: методическое пособие / В.И. Голубев. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. — 24 с.

Рассмотрена последовательность действий и методические указания при выполнении расчета параметров и выборе оборудования гидравлического привода дроссельного регулирования скорости. Для заданной структуры гидропривода, работающего в цикловом режиме, разрабатывается программа автоматического управления, выполняются расчеты основных параметров гидродвигателей, гидроаппаратуры, насосных установок и трубопроводов.

Работа предназначена для выполнения расчетного задания по курсу «Системы гидро- и пневмоавтоматики» и выпускной бакалаврской работы студентами центра подготовки «Российско-Германский институт МЭИ-ФЕСТО», обучающимися по направлению «Автоматизация и управление». Также может быть полезна и студентам других направлений, учебные планы которых предусматривают изучение гидравлических систем автоматизации различных технологических процессов и машин.

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНОГО ЗАДАНИЯ

Расчетное задание предназначено для закрепления знаний, полученных при изучении лекционного курса «Системы гидро- и пневмоавтоматики», и применения этих знаний для выполнения практических расчетов.

В процессе выполнения расчетного задания приобретаются навыки составления принципиальных гидравлических и электрических схем, обеспечивающих работу гидропривода по заданному циклу, определения основных параметров и выбора оборудования гидравлических систем.

Расчетное задание предусматривает выполнение следующих пунктов.

1. Составление принципиальной гидравлической схемы, обеспечивающей поступательные движения двух исполнительных устройств с заданной последовательностью их совместного действия и регулирования скорости одного из них.

2. Построение циклограммы работы системы автоматического управления исполнительными устройствами с использованием направляющих распределителей с электромагнитным управлением и пусковых выключателей.

3. Разработка электрической схемы управления заданным циклом гидропривода с проверкой ее работоспособности с помощью программы Fluid Sim-Н.

4. Расчет основных параметров и выбор гидродвигателей.

5. Расчет потребного расхода и полезной мощности за цикл работы гидропривода.

6. Расчет диаметров дроссельных шайб для ограничения скорости движения исполнительных устройств.

7. Определение основных параметров и выбор типа насосной установки.

8. Расчет диаметров трубопроводов напорных, сливных и всасывающей гидролиний привода.

9. Составление перечня гидравлических устройств.

10. Формулировка выводов по выполненной работе.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходными данными для составления принципиальной гидравлической схемы, электрической схемы управления заданным циклом и выполнения расчетов являются.

1. Расчетная нагрузка при быстрых перемещениях $R_{б.н.}$; расчетная нагрузка при рабочих перемещениях $R_{р.н.}$ (числовые значения параметров в пп. 1—4 выбираются из приложения 1 по номеру задания).

2. Скорость быстрых холостых перемещений $v_{6, n}$; скорость рабочих перемещений $v_{р, n}$.
3. Номинальное давление в напорной линии насосной установки P_n .
4. Временная циклограмма работы двух исполнительных устройств (I и II), отражающая следующие их состояния:
 - а) исходное положение I и II в течение времени t_1 ;
 - б) быстрый подвод I в течение времени t_2 ;
 - в) рабочее перемещение I в течение времени t_3 ;
 - г) быстрый отвод I до исходного положения;
 - д) быстрый подвод II в течение времени t_4 ;
 - е) быстрый отвод II до исходного положения.
5. Скорость рабочих перемещений I регулируемая.
6. Варианты последовательности движения исполнительных устройств (прил. 2).
7. Варианты комплектования принципиальной гидравлической схемы (прил. 3).
8. Давление настройки клапана в сливной гидролинии $P_{cl} = 0,5 \text{ МПа}$.
9. Пуск гидросистемы осуществляется от кнопки «Пуск».
10. Числовые значения диаметров поршня, штока и хода гидроцилиндров; рабочего объема гидромоторов; условных проходов, наружного диаметра и толщины стенки трубопроводов; подачи насоса; вместимости гидробака должны соответствовать стандартным рядам (прил. 4—8).
11. Вариант расчетного задания определен его номером, в котором:
 - первое число — вариант числовых значений параметров; второе число — вариант последовательности движения исполнительных устройств; две последние буквы — вариант комплектования гидравлической схемы.

3. СОСТАВЛЕНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Схема составляется в соответствии с функциональным назначением гидропривода и в соответствии с заданным вариантом комплектования гидропривода гидроцилиндрами, типом и местом установки аппарата управления расходом. При использовании гидромоторов для преобразования вращательного движения в поступательное применяется винтовая пара и зубчатая передача, согласующая частоту вращения гидромотора и требуемую скорость исполнительного устройства [1].

Для обеспечения реверса гидродвигателей, перекрытия гидролиний или шунтирования аппарата управления расходом используются нап-

дающие распределители с электрическим или с электрогидравлическим управлением [2, 3, 6]. Выбор типа управления проводится после определения максимального расхода рабочей жидкости через него. Распределители с прямым электрическим управлением применяются при расходах не более 80 л/мин [3]. При выборе гидравлической схемы распределителя необходимо обеспечить минимальное потребное число позиций и внешних гидролиний. Двухпозиционные распределители выбираются с одним электромагнитом. Все распределители показываются в отключенном состоянии электромагнитов, что должно соответствовать исходному положению исполнительных устройств.

Для ограничения расходов рабочей жидкости, с целью удовлетворения требований по максимальной скорости перемещений исполнительных устройств, в сливных линиях гидродвигателей устанавливаются дроссельные шайбы. При необходимости дроссельные шайбы шунтируются обратными клапанами.

На гидравлической схеме показываются датчики положений исполнительных устройств, которые будут использоваться для организации работы гидропривода по заданному циклу.

Насосная установка, в которую должны входить напорный и подпорный клапаны, показывается после выбора её типа. Изображение гидравлической схемы удобно выполнять с помощью программы Fluid Sim-H.

В результате выполнения последующих расчетов может потребоваться корректировка составленной на этом этапе гидравлической схемы.

Приводится описание схемы и работы привода в заданном цикле.

4. РАЗРАБОТКА ЦИКЛОГРАММЫ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА

4.1. Расчет временных и кинематических параметров цикла

В таблице по форме табл. 1 для каждого перехода заданного цикла записываются временные, силовые и кинематические параметры.

№ перехода	Время перехода, с				R_p , кН	v_p , м/с	S_p , м
	10.....	20.....	30.....	40.....			
1			
2			
...			

Таблица 1

В табл. 1 использованы следующие обозначения: t_b, R_b, v_b, S_b — время, нагрузка, скорость и расстояние перемещения исполнительного устройства для каждого перехода цикла. Для определения неучтенных в исходных данных значений t_i и S_i для быстрого отвода исполнительных устройств выполняются необходимые расчеты с учетом заданных параметров быстрого подвода и рабочего перемещения.

4.2. Построение циклограммы работы гидропривода

Циклограмма графически изображает изменение состояния всех гидравлических и электрических устройств, обеспечивающих работу гидропривода в автоматическом режиме по заданному циклу.

Циклограмма составляется по форме, приведенной в табл. 2 [5]. Последовательность движения исполнительных устройств определяется вариантом расчетного задания.

На циклограмме движение выходного звена гидродвигателя изображается наклонной стрелкой, направленной к последующему переходу цикла, а неподвижное — вертикальной. Нажатие кнопки «Пуск», срабатывание датчика с выдчей сигнала управления изображается коротким отрезком прямой с отсечными рисками, показываемым перед последующим переходом. Включенное положение электромагнитов изображается знаком «+», а отключенное — знаком «-».

Таблица 2

№ п/п	Наименование перехода	Гидродвигатель		Кнопка «Пуск»	Датчик положения			Электромагнит		
		ГЦ I	ГМ I		S1	S2	...	Y1	Y2	...
1	Исходное положение							-	-	-
2	Быстрый подвод I IV							+	-	+
...								-	+	-

Состояние всех устройств в конце цикла должно соответствовать исходному (начальному) положению.

5. ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОМ

Электрическая схема управления составляется на основе разработанной циклограммы работы гидропривода. Управление циклом может осуществляться от программируемого контроллера или посредством реле

контактной схемы. В расчетном задании реализуется последний вид управления. Для построения системы автоматического управления заданным циклом и проверки ее работоспособности удобно использовать программу Fluid Sim-H.

В качестве кнопки «Пуск» используется кнопка кратковременного воздействия. Задержку начала движения исполнительного устройства осуществляют с помощью реле с задержкой по времени.

Для обеспечения последовательности срабатывания гидродвигателей может использоваться управление по положению исполнительных устройств или по давлению в гидросистеме. Первый способ имеет преимущество, так как управление по давлению менее надежно с точки зрения ложных срабатываний реле давлений, особенно в условиях возможного заедания исполнительных устройств. Применение реле давления отпицается простотой настройки системы. В качестве датчиков положения могут использоваться конечные выключатели или индуктивные датчики, а при необходимости емкостные или световые датчики.

Разработанная электрическая схема управления может потребовать коррекции принципиальной гидравлической схемы.

В записке приводится распечатка электрической схемы управления с описанием устройств и принципа работы.

6. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР ГИДРОДВИГАТЕЛЕЙ

Расчету и выбору подлежат основные параметры, регламентированные стандартами. Основными параметрами гидродвигателей являются: номинальное давление, диаметры поршня и штока, ход поршня. Основными параметрами гидромоторов являются: номинальное давление, рабочий объем и частота вращения [3].

Номинальное давление гидродвигателей принимается равным номинальному давлению в напорной линии насосной установки — p_n . Ход поршня гидродвигателя s выбирается с учетом максимального расстояния, на которое перемещается данное исполнительное устройство (табл. 1), из ряда, приведенного в прил. 4.

Для выбора диаметров поршня и штока определяется рабочая площадь гидродвигателя. Необходимая рабочая площадь гидродвигателя F_1 исполнительного устройства I рассчитывается из условия преодоления

расчетной нагрузки с максимальным КПД [1]. Для гидродвигателя исполнительного устройства I расчетной нагрузкой является $R_{p.n.}$

При последовательной установке регулируемого дросселя

$$F_1 = \frac{1,5 R_{p.n.}}{P_n - \Delta P_n - k_{шт}(P_{сг} + \Delta P_{сг})}, \quad (1)$$

где ΔP_n , $\Delta P_{сг}$ — потери давления в напорной и сливной гидродлиниях соответственно, $k_{шт}$ — отношение площадей штоковой и поршневой полостей гидроцилиндра.

При параллельной установке регулируемого дросселя максимальное значение КПД имеет место в области малых давлений в напорной гидродлинии [1]. С другой стороны, расчет рабочей площади гидроцилиндра на такие давления приводит к значительному увеличению его размеров. Поэтому экономически оправданным можно считать выбор рабочей площади гидроцилиндра при эффективном перепаде давления в его полостях, равном примерно половине наибольшего значения:

$$F_1 = \frac{2 R_{p.n.}}{P_n - \Delta P_n - k_{шт}(P_{сг} + \Delta P_{сг})}. \quad (2)$$

Потери давления в напорной и сливной гидродлиниях приближенно могут быть приняты равными 5...7% от давления настройки напорного клапана насосной установки [3]. Отношение диаметра штока к диаметру поршня предварительно принимается равным 0,5. Тогда $k_{шт} = 0,75$.

Необходимая рабочая площадь гидроцилиндра исполнительного устройства II определяется из условия преодоления расчетной нагрузки с коэффициентом запаса по усилию, учитывающим силы механического трения и инерционные силы и принимаемым равным $k_{зп} = 1,1 \dots 1,2$ [3]. Для гидродвигателя исполнительного устройства II расчетной нагрузкой является $R_{б.п.}$

$$F_1 = \frac{k_{зп} R_{б.п.}}{P_n - \Delta P_n - k_{шт}(P_{сг} + \Delta P_{сг})}. \quad (3)$$

Но если для ограничения скорости перемещения исполнительного устройства II устанавливаются дроссельные шайбы, то расчет рабочей площади гидроцилиндра ведется по формуле (1) для последовательной установки дросселя.

По рабочей площади гидроцилиндра с учетом его вида рассчитываются диаметры поршня и штока. Величина диаметра штока должна быть про-

верена на условие потери продольной устойчивости под действием рабочей нагрузки. Максимально допустимая нагрузка на шток гидроцилиндра, $R_{т.м.}$, H , при этом условии равна

$$R_{т.м.} = \frac{\pi^2 E J}{k_y S_{пр}^2}, \quad (4)$$

где E — модуль упругости (для стали он равен $2,1 \cdot 10^5$ Н/мм²); $J = \pi d^4/64$ — момент инерции сечения штока, мм⁴; $k_y = 3 \dots 3,5$ — коэффициент запаса по устойчивости; $S_{пр} = 2S$ — приведенный ход, учитывающий сдвигый неблагоприятный способ закрепления гидроцилиндра [6], мм. При необходимости диаметр штока увеличивается до нужного значения.

Полученные значения диаметров поршня и штока округляются до стандартных значений в соответствии с прил. 4. Для выбранных значений пересчитываются рабочие площади гидроцилиндров.

В случае применения гидромотора расчетный момент на его валу определяется по формуле

$$M = R \frac{i_{х.в.}}{2\pi \cdot \eta_{пер}}, \quad (5)$$

где $i_{х.в.}$ — шаг холодного винта; i — передаточное отношение зубчатой передачи; $\eta_{пер}$ — КПД всей механической передачи.

В расчетном задании принимаются $i_{х.в.} = 10$ мм/об, $\eta_{пер} = 0,9$. Передаточное отношение зубчатой передачи выбирается из условия обеспечения работы гидромотора вблизи номинальной частоты вращения $n_{ном}$ при максимальной скорости перемещения исполнительного устройства v [1]

$$i = \frac{V_{б.п.}}{n_{ном} \cdot i_{х.в.}}. \quad (6)$$

Номинальная частота вращения гидромотора в расчетном задании может быть принята равной 1000 (1500) мин⁻¹.

Рабочий объем гидромотора V_0 определяется по формуле

$$V_0 = 2\pi \frac{k M}{P_n - \Delta P_n - (P_{сг} + \Delta P_{сг})}, \quad (7)$$

где k — коэффициент запаса или коэффициент, учитывающий место установки регулирующего дросселя или ограничителя расхода, как это имелось место при расчете гидроцилиндров. Соответственно в качестве M прини-

мается расчетный момент, соответствующий рабочей нагрузке на исполнительном устройстве, приводимом в движение данным гидромотором.

Расчетные значения рабочих объемов округляются до стандартных значений в соответствии с прил. 5.

7. РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО РАСХОДА И ПОЛЕЗНОЙ МОЩНОСТИ ЗА ЦИКЛ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА

Расчет потребных расходов для каждого i -го перехода цикла осуществляется по формулам:

при использовании гидроцилиндра

$$Q_i = v_i F, \quad (8)$$

при использовании гидромотора

$$Q_i = \frac{v_i}{it_{x,v}} V_0, \quad (9)$$

где v_i — скорость перемещения штока гидроцилиндра на i -м переходе цикла; F и V_0 — рабочая площадь гидроцилиндра и рабочий объем гидромотора, работающих на данном переходе цикла.

Полезная мощность гидропривода N_i на i -м переходе цикла рассчитывается по формуле

$$N_i = R_i V_i, \quad (10)$$

где R_i — нагрузка исполнительного устройства на i -м переходе цикла.

Исходные данные и результаты расчетов помещают в таблицу по форме табл. 3.

По полученным значениям строятся графики изменения потребного расхода $Q_i(t)$ и полезной мощности гидропривода $N_i(t)$ за цикл работы гидропривода.

Таблица 3

№	t, c	$v, m/c$	F, mm^2 V_0, cm^3	R, kH	Q_i		$N_i, кВт$
					m^3/c	$л/мин$	
1							
2							
...							

8. РАСЧЕТ ДРОССЕЛЬНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ РАСХОДОВ

Предварительно по графику $Q_i(t)$ определяется максимальный потребный расход в гидросистеме Q_{max} . Найденное значение округляется до ближайшего большего стандартного значения (приложение 6), что в определенной степени дает возможность учесть наличие утечек рабочей жидкости в насосе и гидродвигателях.

При наличии в гидросистеме дроссельных ограничителей расходов рабочей жидкости, с целью удовлетворения требований по максимальной скорости перемещений исполнительных устройств, производится их расчет. Для дроссельных шайб, установленных в сливной линии штоковой полости гидроцилиндра, площадь рабочего проходного сечения f определяется по формуле

$$f = \frac{k Q_{max}}{\mu \sqrt{\frac{2}{\rho} \left[\frac{1}{k} \left(P_n - \Delta P_n - \frac{1}{F} R_{6n} \right) - P_{cl} - \Delta P_{cl} \right]}}. \quad (11)$$

Для дроссельных шайб, установленных в сливной линии поршневой полости, расчет ведется по формуле

$$f = \frac{Q_{max}}{\mu \sqrt{\frac{2}{\rho} \left[k (P_n - \Delta P_n) - P_{cl} - \Delta P_{cl} - \frac{1}{F} R_{6n} \right]}}. \quad (12)$$

где μ — коэффициент расхода рабочей жидкости через дроссель круглого сечения, принимаемый равным 0,61; ρ — плотность рабочей жидкости, принимаемая равной 900 кг/м³. При использовании в качестве гидродвигателя гидромотора, площадь рабочего проходного сечения дроссельной шайбы определяется по формуле

$$f = \frac{Q_{max}}{\mu \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(P_n - \Delta P_n - P_{cl} - \Delta P_{cl} - 2\pi \frac{M_{6n}}{V_0} \right)}}, \quad (13)$$

где M_{6n} — момент на валу гидромотора при быстрых перемещениях, определяемый по формуле (5).

Затем определяются диаметры дроссельных шайб и округляются с точностью до 0,1 мм.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР ТИПА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

В расчетном задании необходимо рассмотреть два наиболее распространенных типа насосных установок, применяемых в гидроприводах с дроссельным регулированием скорости:

- насосная установка с насосом постоянной подачи;
- насосная установка с насосом переменной подачи, регулируемой по давлению в напорной линии насоса [1, 6].

Желательно также рассмотреть эффективность установок гидропневматического аккумулятора в напорной линии насоса постоянной подачи.

Выбор насосной установки проводится с учетом двух показателей конкурентоспособности гидропривода — стоимости насосной установки и потери электроэнергии за цикл работы привода.

Стоимость насосных установок для перечисленных выше типов можно оценить качественно соотношением 1:4. Более точная оценка проводится по прайс-листам выбранного по каталогам оборудования.

Время использования привода в сутки принимается самостоятельно.

Потери электроэнергии в гидросистеме оцениваются средним КПД гидропривода за цикл работы по формуле

$$\eta = \frac{\sum Q_{ni} t_i}{\sum Q_{ni} P_{ni} t_i} \cdot \eta_n, \quad (14)$$

где Q_{ni} и P_{ni} — подача насоса и давление в напорной линии насоса на i -м переходе цикла; η_n — КПД насоса, который в первом приближении может быть принят равным 0,8 и уточнен после выбора насоса по каталогам.

Подача насоса и давление в напорной линии насоса определяются на основе анализа работы гидросистемы с учетом способа регулирования скорости и места установки дроссельных устройств, включая дроссельные ограничители расходов. Проводится обоснование выбранных значений параметров насосной установки для каждого перехода цикла. В случае расчетного определения значений давлений на отдельных переходах цикла приводятся соответствующие формулы. Определенные или рассчитанные значения t_i , N_i , Q_{ni} и P_{ni} обязательно представляются в табличной форме для каждого типа насосной установки.

Определяется номинальная вместимость гидробака насосной установки, которую при приближенных расчетах принимают равной объему жидкости, перекачиваемому насосом за 1...3 мин [7].

Найденное значение округляется до ближайшего большего стандартного значения (прил. 8). При значительных потребных вместимостях гидробака (более 100...200 л) устанавливаются воздушные или водяные теплообменники [6]. Для обоснования типа теплообменника и его параметров выполняется тепловой расчет, методика которого приведена в [3, 4].

После выбора типа насосной установки указываются её основные параметры: подача, номинальное давление, приводная мощность и вместимость гидробака.

10. РАСЧЕТ ДИАМЕТРОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Рассчитываются внутренние диаметры всасывающей, всех напорных и сливных гидролиний системы. Нумерация гидролиний наносится на принципиальной гидравлической схеме. Определяются максимальные расходы рабочей жидкости в каждой гидролинии $Q_{\max i}$. Внутренние диаметры $d_{тр}$ рассчитываются по допустимым скоростям течения жидкости

$$d_{тр} = 4,6 \sqrt{\frac{Q_{\max i}}{[v]}}, \quad (15)$$

где $Q_{\max i}$ — в л/мин, v в м/с и $d_{тр}$ в мм.

Рекомендуется принимать следующие значения допустимых скоростей:

- для всасывающей гидролинии $[v_{вс}] = 1...1,5$ м/с;
- для сливных гидролиний $[v_{сл}] = 2...2,5$ м/с;
- для напорных гидролиний $[v_n] = 3...7$ м/с в зависимости от максимального давления в них в соответствии с табл. 3.

Таблица 3

P_n , МПа	2,5	5	6,3	10	16	20	Более 20
v_n , м/с	3	4	4,5	5	5,5	6	7

Полученные значения округляются до стандартных значений условий проходов, приведенных в прил. 6, и унифицируются.

Чаше всего гидролинии представляют собой жесткие металлические трубопроводы. Минимально допустимая толщина стенки трубы напорных гидролиний определяется по формуле Ляме для толстостенных труб, к которым они относятся, так как обычно отношение наружного диаметра d_n трубы к толщине стенки $s_{тр}$ удовлетворяет условию $d_n / s_{тр} \geq 16$.

$$S_{\text{гп}} = \frac{P_n d_{\text{гп}}}{2\sigma_v} K_{\sigma}, \quad (16)$$

где σ_v — временное сопротивление растяжению материала трубопровода, которое для обычной марки стали 20 равно 410 МПа, для стали 30ХГСА равно 1200 МПа; K_{σ} — коэффициент запаса прочности, который при значительных пиках давления в гидросистеме принимается равным 4...6, при плавном характере изменения давления может быть снижен до 2,5...3 [3].

Расчетные значения толщины стенки и наружного диаметра труб округляются до ближайших больших значений из стандартного ряда (прил. 9). Толщины стенок сливных и всасывающей труб принимаются равными 1...3 мм.

Гибкие рукава выбираются по условному проходу и максимальному давлению в гидролинии [4].

11. СОСТАВЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Данные о гидравлических устройствах, показанных на принципиальной схеме, записывают в перечень устройств в виде таблицы (табл. 4) [5].

В графах перечня указывают следующие данные:

- в графе «Позиционное обозначение» — позиционное обозначение (прил. 10) устройства или функциональной группы на схеме;
- в графе «Наименование» — наименование устройства или функциональной группы и его обозначение в соответствии с документом, на основании которого оно применено (для выбранных по каталогам);
- в графе «Количество» — количество устройств или функциональных групп;
- в графе «Примечание» при необходимости указывают технические данные устройства, не содержащиеся в его наименовании.

Таблица 4

Позиционное обозначение	Наименование	15	Количество	Примечание
		8		
20			10	
110				
185				

Устройства записываются в перечень в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений, а в пределах каждой группы — в порядке возрастания номеров. Допускается оставлять незаполненными несколько строк для облегчения внесения изменений.

Устройства одного типа с одинаковыми параметрами допускается записывать в одну строку. В этом случае в графе «Позиционное обозначение» вписывают только обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, а графе «Количество» — общее количество устройств.

Запись устройств, входящих в функциональные группы, начинают с заголовка группы, помещаемого в графе «Наименование». Заголовок подчеркивают. Затем вписывают сами устройства.

Пример оформления перечня устройств приведен в табл. 5. В графе «Примечание» приняты следующие обозначения параметров: V — вместимость гидробака; Q — подача насоса; p — давление; D , d — диаметры поршня и штока гидроцилиндра; s — ход поршня гидроцилиндра.

Таблица 5

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание
B1	Гидробак	1	$V = 63$ л
НП1	Насос пластинчатый 6 БГ 12-42	1	$Q = 18$ л/мин
КО1	Клапан обратный	1	—
КН1	Клапан напорный	1	—
КС1	Клапан последовательности	1	—
P1...P3	Распределитель В 10	3	$Q = 20$ л/мин; $p = 32$ МПа
РР1	Регулятор расхода МПР 55-2М	1	$Q = 25$ л/мин; $p = 20$ МПа
Ц1	Гидроцилиндр	1	$D = 40$ мм; $d = 20$ мм; $s = 400$ мм

12. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Результаты выполненной работы оформляются в виде расчетно-пояснительной записки, составляемой в соответствии с требованиями к виду данных документов (ГОСТ 2.105—95. Общие требования к текстовым документам). Текстовая часть записки выполняется на компьютере (текстовый редактор Word, шрифт 14 или 12 через полуторный или оди-нарный межстрочный интервал, нумерация страниц сквозная, титульный лист не нумеруется, поля: слева 30 мм, справа 15 мм, сверху и снизу по 20 мм) на листах бумаги формата А4.

Структура расчетно-пояснительной записки:

- титульный лист с названием университета, центра подготовки, названием расчетного задания, номера варианта, номера студенческой группы, ФИО студента и преподавателя, а также датой сдачи записки;
- содержание, включающее номера, названия разделов и номера страниц, с которых они начинаются;
- исходные данные к расчетному заданию;
- введение, содержащее сведения о цели работы;
- основная часть, включающая разделы, перечисленные в пп. 3—11 содержания данного методического пособия, внутри раздела выделяются параграфы;
- выводы, в которых дается оценка полученных результатов;
- список использованных источников.

Расчетно-пояснительная записка излагается в виде текста и должна пояснять приводимые в ней процедуры. Каждый раздел и параграф начинаются с текстовой части. В качестве примера оформления смотри разд. 4 данного методического пособия.

Все рисунки и таблицы должны иметь номера и названия, помещаемые для рисунка под ним по центру, а для таблицы — над ней по правому краю. Названия таблиц допускаются опускать. Учитывая небольшой объем записки, нумерацию рисунков, а также таблиц, рекомендуется делать сквозными. На каждый рисунок и таблицу должна быть ссылка в тексте. Рисунок и таблица размещаются сразу после их упоминания в тексте записки так, чтобы их можно было рассматривать без поворота листа. Если такое размещение невозможно, то их располагают так, чтобы для их рассмотрения надо было повернуть записку по часовой стрелке.

Формулы выносятся в отдельную строку. Номер формулы заключается в круглые скобки и помещается справа от неё. Латинские буквенные обозначения в формулах и тексте набираются курсивом одинаковым размером шрифта. Перечни значений символов и числовых коэффициентов приводятся непосредственно под формулой, первую строку начинают со слова «где». Символ, употребляемый вторично, не расшифровывается.

При изложении расчетов сначала в общем виде приводятся расчетные формулы, а затем проводится подстановка числовых значений параметров в той же последовательности, что и в формуле, и результат вычисления. Результаты вычислений по одной формуле сводятся в таблицу. Расчеты, выполненные с использованием MathCAD, являются вспомогательным материалом, не заменяющим изложение расчетов в текстовом редакторе. При

желании автор может включить расчеты, выполненные с использованием MathCAD, в отчет в качестве приложения.

Точность представления результатов расчета должна соответствовать точности определения используемых параметров. Числовые значения расчетов рабочей жидкости приводятся в л/мин, давлений — в МПа, диаметров и других линейных размеров — в м, см и мм в зависимости от их абсолютной величины.

Графические схемы могут составляться с помощью программы Fluid Sim-H.

Графики оформляются в виде рисунков. Они должны иметь равномерные шкалы, начинающиеся, как правило, от нулевых значений, с указанием параметров и их размерностей.

Список использованных источников должен включать фамилию и инициалы автора (авторов), название, место издания, издательство, год издания. На каждый источник должна быть ссылка (ссылки) в тексте записки, помещаемая в квадратных скобках с указанием порядкового номера по списку.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1
Варианты числовых значений параметров

Вариант	Номинальное давление, МПа	Нагрузка на шток при рабочих перемещениях, кН	Нагрузка на шток при быстрых перемещениях, кН	Скорость рабочих перемещ., м/с	Скорость быстрых перемещ., м/с	Время отдельных переходов, с			
						t ₁	t ₂	t ₃	t ₄
1	2,5	3	0,5	0,10	0,5	6	1	10	3
2	2,5	4	1	0,09	0,4	5	1	9	2
3	2,5	5	1,5	0,08	0,4	5	1	8	4
4	2,5	6	2	0,07	0,3	4	1	10	2
5	2,5	7	2	0,06	0,3	6	2	12	1
6	2,5	8	2,5	0,05	0,3	6	3	9	4
7	2,5	9	2,5	0,09	0,4	6	2	8	3
8	2,5	10	2,5	0,04	0,2	4	3	7	1
9	6,3	10	3	0,08	0,3	6	2	7	2
10	6,3	11	4	0,07	0,3	4	5	8	5
11	6,3	12	3	0,06	0,3	7	2	11	4
12	6,3	13	4	0,05	0,3	1	1	12	5
13	6,3	14	5	0,04	0,3	5	3	15	2
14	6,3	15	3	0,08	0,2	4	1	9	3
15	6,3	19	2	0,07	0,3	5	1	8	3
16	6,3	16	2	0,06	0,2	3	4	10	4
17	10,0	15	4	0,06	0,3	3	2	12	3
18	10,0	25	6	0,05	0,4	5	2	10	5
19	10,0	40	4	0,04	0,4	7	1	18	3
20	10,0	35	7	0,03	0,5	8	1	21	6
21	10,0	45	5	0,04	0,5	5	4	11	6
22	10,0	45	6	0,06	0,5	4	1	9	5
23	10,0	50	5	0,05	0,4	5	4	16	6
24	10,0	55	6	0,03	0,3	4	2	12	5
25	12,5	30	8	0,07	0,4	7	2	10	1
26	12,5	35	9	0,06	0,4	2	4	15	5
27	12,5	40	8	0,05	0,3	1	2	18	2
28	12,5	45	7	0,04	0,3	4	2	12	5
29	12,5	50	9	0,08	0,3	2	1	8	7
30	12,5	55	5	0,09	0,2	8	4	6	8
31	12,5	60	7	0,05	0,2	7	3	10	4
32	12,5	65	10	0,04	0,2	2	1	6	7
33	16,0	50	6	0,05	0,2	1	4	15	8
34	16,0	55	7	0,07	0,2	4	3	12	8
35	16,0	60	8	0,02	0,2	5	5	16	5
36	16,0	65	4	0,05	0,2	2	4	12	8
37	16,0	70	8	0,04	0,2	4	3	20	5
38	16,0	75	5	0,02	0,3	8	4	15	5
39	16,0	80	9	0,04	0,4	5	5	18	6
40	16,0	45	5	0,03	0,3	3	2	10	7

Окончание приложения 1

Вариант	Номинальное давление, МПа	Нагрузка на шток при рабочих перемещениях, кН	Нагрузка на шток при быстрых перемещениях, кН	Скорость рабочих перемещ., м/с	Скорость быстрых перемещ., м/с	Время отдельных переходов, с			
						t ₁	t ₂	t ₃	t ₄
41	20,0	70	8	0,09	0,4	3	2	22	3
42	20,0	75	9	0,01	0,4	2	3	12	3
43	20,0	80	5	0,08	0,3	8	4	23	5
44	20,0	90	4	0,05	0,3	6	6	22	4
45	20,0	100	7	0,02	0,2	9	3	10	3
46	20,0	110	4	0,03	0,2	6	5	16	3
47	20,0	120	9	0,04	0,2	1	1	7	3
48	20,0	85	6	0,06	0,1	5	2	8	4
49	25,0	100	6	0,03	0,3	5	6	10	5
50	25,0	110	7	0,02	0,3	6	3	12	5
51	25,0	120	8	0,01	0,1	5	6	25	3
52	25,0	130	9	0,02	0,2	2	2	15	4
53	25,0	140	6	0,01	0,1	2	1	14	1
54	25,0	150	7	0,01	0,2	5	4	13	4
55	25,0	80	10	0,03	0,15	4	5	16	2
56	25,0	90	8	0,02	0,25	3	1	11	2
57	28,0	130	12	0,035	0,35	5	7	11	6
58	28,0	140	8	0,025	0,25	5	5	12	5
59	28,0	150	9	0,02	0,2	4	6	20	4
60	28,0	160	11	0,015	0,3	3	3	13	3
61	28,0	170	10	0,01	0,1	2	2	10	2
62	28,0	180	13	0,005	0,15	3	4	14	1
63	28,0	120	14	0,03	0,25	4	8	9	3
64	28,0	110	7	0,04	0,3	5	1	8	4
65	30,0	170	18	0,04	0,4	6	8	12	6
66	30,0	180	8	0,03	0,2	5	7	10	5
67	30,0	190	10	0,025	0,3	4	5	15	4
68	30,0	200	12	0,02	0,25	3	4	8	3
69	30,0	210	14	0,01	0,1	2	3	9	2
70	30,0	220	15	0,005	0,15	1	2	11	1
71	30,0	160	11	0,015	0,2	3	6	7	3
72	30,0	150	9	0,035	0,35	4	1	13	4
73	32,0	170	10	0,01	0,15	2	6	12	6
74	32,0	180	11	0,025	0,2	3	5	11	6
75	32,0	190	12	0,02	0,15	4	4	10	5
76	32,0	200	17	0,015	0,1	5	3	9	1
77	32,0	210	14	0,01	0,15	6	2	8	4
78	32,0	220	15	0,005	0,05	7	1	7	3
79	32,0	160	16	0,035	0,1	7	8	14	2
80	32,0	150	13	0,04	0,3	8	7	13	5

Варианты последовательности движения исполнительных устройств

1. а-б-в-г-д-е.	11. а-в-б-г-д-е.
2. а-б-в-д-г-е.	12. а-в-б-д-г-е.
3. а-б-в-д-е-г.	13. а-в-д-б-г-е.
4. а-б-д-в-г-е.	14. а-д-в-б-г-е.
5. а-б-д-в-е-г.	15. а-в-б-д-е-г.
6. а-б-д-е-в-г.	16. а-в-д-б-е-г.
7. а-д-б-в-г-е.	17. а-в-д-е-б-г.
8. а-д-б-е-в-г.	18. а-д-в-е-б-г.
9. а-д-б-в-е-г.	19. а-д-в-б-е-г.
10. а-д-е-б-в-г.	20. а-д-е-в-б-г.

Приложение 3

Варианты комплектования принципиальной гидравлической схемы:

- гидроцилиндры I и II с односторонними штоками;
- гидроцилиндры I и II с двухсторонними штоками;
- гидроцилиндр I с односторонним штоком и гидроцилиндр II с двухсторонним штоком;
- гидроцилиндр I с двухсторонним штоком и гидроцилиндр II с односторонним штоком;
- гидромоторы I и II;
- гидромотор I и гидроцилиндр II с односторонним штоком;
- гидромотор I и гидроцилиндр II с двухсторонним штоком;
- гидроцилиндр I с односторонним штоком и гидромотор 2;
- гидроцилиндр I с двухсторонним штоком и гидромотор 2;
- регулируемый дроссель на входе в гидроцилиндр;
- регулируемый дроссель на выходе из гидроцилиндра;
- регулируемый дроссель параллелен гидроцилиндру;
- двухлинейный регулятор расхода на входе в гидроцилиндр;
- двухлинейный регулятор расхода на выходе из гидроцилиндра;
- трехлинейный регулятор расхода на входе в гидроцилиндр.

Основные параметры гидроцилиндров (ГОСТ 6540—68)

(В скобках приведены значения дополнительного ряда)

Ряд диаметров поршня D , мм: 10; 12; 16; 20; 25; 32; (36); 40; (45); 50; (56); 63; (70); 80; (90); 100; (110); 125; (140); 160; (180); 200; (220); 250; (280); 320; (360); 400; (450); 500; (560); 630; (710); 800; (900).

Ряд диаметров штока d , мм: 4; 5; 6; 8; 10; 12; (14); 16; (18); 20; (22); 25; (28); 32; (36); 40; (45); 50; (56); 63; (70); 80; (90); 100; (110); 125; (140); 160; (180); 200; (220); 250; (280); 320; (360); 400; (450); 500; (560); 630; (710); 800; (900).

Ряд хода поршня s , мм: 4; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; (56); 63; (70); 80; (90); 100; (110); 125; (140); 160; (180); 200; (220); 250; (280); 320; (360); 400; (450); 500; (560); 630; (710); 800; (900); 1000; (1120); 1250; (1400); 1600; (1800); 2000; (2240); 2500; (2800); (3000); 3150; (3350); (3750); 4000; (4250); (4500); (4750); 5000; (5300); (5600); (6000); 6300; (6700); (7100); (7500); 8000; (8500); (9000); (9500).

Номинальные рабочие объемы насосов, насосов-моторов и гидромоторов

V_0 , см³ (ГОСТ 13824—80)

1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; (11,2); 12,5; (14); 16; (18); 20; (22,4); 25; (28); 32; (36); 40; (45); 50; (56); 63; (71); 80; (90); 100; (112); 125; (140); 160; (180); 200; (224); 250; (280); 320; (360); 400; (450); 500; (560); 630; (710); 800; (900); 1000; (1120); 1250; (1400); 1600; (1800); 2000; (2240); 2500; (2800); 3200; (3600); 4000; (4500); 5000; (5600); 6300; (7100); 8000; (9000).

Примечание. Значения, указанные в скобках, не являются предпочтительными.

Номинальные расходы $Q_{ном}$ (л/мин) (ГОСТ 13825—80)

1; 1,6; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500.

Условные проходы D_s (мм) (ГОСТ 16516—80)

1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250.

Номинальные вместимости гидробаков, гидроккумуляторов, ресиверов

и других емкостей $V_{ном}$, л³ (ГОСТ 12448—80)

0,4; 0,63; 1; 1,6; 2,5; 3,2; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3200; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000; 12500; 16000; 20000; 25000.

Основные размеры стальных бесшовных холоднодеформированных труб, мм (ГОСТ 8734—75)

Номинальный наружный диаметр d_n^*	5	6	7...9	10...12	13...15	16...19	20	21...23
Толщина стенки s^{**}	0,3...1,5	0,3...2	0,3...2,5	0,3...3,5	0,3...4	0,3...5	0,3...6	0,4...6

Номинальный наружный диаметр d_n^*	24	25...28	30...36	38...40	42	45...48	50...51...76	80...95
Толщина стенки s^{**}	0,4...6	0,4...7	0,4...8	0,4...9	1...9	1...10	1...12	1,2...12

* В указанных пределах брать из следующего ряда: 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 21; 22; 23; 25; 26; 27; 28; 30; 32; 34; 35; 36; 51; 53; 54; 56; 57; 60; 63; 65; 68; 70; 73; 75; 76; 80; 83; 85; 89; 90; 95 мм.

** В указанных пределах брать из следующего ряда: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,1; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,5; 2,8; 3; 3,2; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24 мм.

Приложение 10

Буквенные позиционные обозначения основных гидравлических устройств

гидроаккумулятор.....	АК
аппарат теплообменный.....	АТ
гидробак.....	Б
вентиль.....	ВН
гидродвигатель поворотный.....	Д
делитель потока.....	ДП
дрозсель.....	ДР
гидрозамок.....	ЗМ
клапан выдержки времени.....	КВ
клапан обратный.....	КО
клапан напорный.....	КН
клапан реуляционный.....	КР
клапан последовательности.....	КС
гидромотор.....	М
манометр.....	МН
насос.....	Н
гидропреобразователь.....	НМ
распределитель.....	ПР
реле давления.....	Р
регулятор расхода.....	РД
сумматор потоков.....	РР
гидроусилитель.....	СП
фильтр.....	УС
гидроцилиндр.....	Ф
гидроцилиндр.....	Ц

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голубев В.И. Силовой регулируемый гидропривод в энергомашиностроении: учебное пособие. — М.: Моск. энерг. ин-т, 1989.
2. Голубев В.И. Устройства гидроавтоматики в энергомашиностроении: учебное пособие. — М.: Моск. энерг. ин-т, 1987.
3. Свешников В.К. Станочные гидроприводы: Справочник. — М.: Машиностроение, 2004.
4. Васильченко В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: Справочник. — М.: Машиностроение, 1983.
5. Голубев В.И. Правила выполнения гидравлических и пневматических схем: методическое пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2004.
6. Гидропривод. Основы и компоненты: Учебный курс по гидравлике, Т. 1. г. Эрбах Германия: Издатель Боц Рексрот AG, 2003.
7. Чураков Ю.И. Гидропривод и средства гидроавтоматики: учебное пособие. — М.: Машиностроение, 1979.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНОГО ЗАДАНИЯ	3
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	3
3. СОСТАВЛЕНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХЕМЫ	4
4. РАЗРАБОТКА ЦИКЛОГРАММЫ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА	5
5. ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОМ	6
6. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР ГИДРОДВИГАТЕЛЕЙ	7
7. РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО РАСХОДА И ПОЛЕЗНОЙ МОЩНОСТИ ЗА ЦИКЛ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА	10
8. РАСЧЕТ ДРОССЕЛЬНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ РАСХОДОВ	11
9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР ТИПА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ	12
10. РАСЧЕТ ДИАМЕТРОВ ТРУБОПРОВОДОВ	13
11. СОСТАВЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ	14
12. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ ..	15
ПРИЛОЖЕНИЯ	18
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	23

Учебное издание
Голубев Владимир Иванович

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Методическое пособие
по курсу

«Системы гидро- и пневмоавтоматики»
для студентов, обучающихся по направлению
«Автоматизация и управление»

Редактор издательства В.Я. Горская

Темплан издания МЭИ 2008 (П), метод.

Печать офсетная

Тираж 300 экз.

Формат 60×84/16

Изд. № 8

Подписано к печати 14.06.09

Физ. печ. л. 1,5

Заказ № 257Г

ЗАО «Издательский дом МЭИ», 111250, Москва, Красноказарменная, д. 14

Отпечатано в типографии ФКП «НИИ «Геодезия», 141292,
Московская обл. г. Красноармейск, просп. Испытателей, д. 14