

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Система рулевых приводов
жидкостных ракетных двигателей
ракеты-носителя «Энергия»**

Электронные методические указания
к лабораторной работе

Издание второе, переработанное и дополненное

Самара

2010

УДК 62 - 50 /075/

**Авторы-составители: Петренко Станислав Александрович,
Гимадиев Асгат Гатьятович,
Варивода Виктор Дмитриевич**

Рецензент: заведующий кафедрой «Теория двигателей летательных аппаратов» Самарского государственного аэрокосмического университета, д.т.н. профессор Матвеев В. Н.

Изложено описание системы рулевых приводов жидкостных ракетных двигателей ракеты-носителя «Энергия». Описаны принципы действия и конструкции основных узлов системы: агрегата гидравлического питания; бака-аккумулятора; турбопривода; гидравлического плунжерного насоса; рулевого привода. Даны основные технические характеристики агрегатов и системы в целом. В конце методических указаний приведены вопросы для контроля полученных знаний.

Методические указания предназначены для магистрантов по курсу «Автоматика и регулирование двигательных установок ракетных и космических систем» в рамках магистерской программы «Энергетика, экология и двигательные установки ракетных и космических систем» по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов», а также для студентов специальности 160302 «Ракетные двигатели» и специальности 150802 «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» и могут быть полезны при выполнении курсовых работ, дипломных проектов и подготовке к экзаменам.

Подготовлено на кафедре автоматических систем энергетических установок.

©Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Цель и задачи проведения лабораторной работы	4
2 НАЗНАЧЕНИЕ, СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ РУЛЕВЫХ ПРИВОДОВ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ "ЭНЕРГИЯ"	4
3 УСТРОЙСТВО И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РУЛЕВЫХ ПРИВОДОВ	8
4 СОСТАВ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АГРЕГАТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ	12
4.1 Состав агрегата гидравлического питания	12
4.2 Бак-аккумулятор	14
4.3 Турбопривод	16
4.4 Гидравлический плунжерный насос НП-113	19
5 СОСТАВ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РУЛЕВОГО ПРИВОДА	21
6 Содержание отчета по лабораторной работе	28
7 Вопросы для проверки знаний по системе рулевых приводов Ракеты-Носителя «Энергия»	28
Список использованных источников	30

1 Цель и задачи проведения лабораторной работы

Цель работы: изучение назначения, основных технических характеристик, состава, устройства и принципа действия системы рулевых приводов (СРП) ракеты-носителя (РН) "Энергия".

Задачи проведения работы: магистранты и студенты должны изучить назначение и основные технические характеристики СРП, принцип действия и конструкцию рулевого привода, агрегата гидравлического питания системы и его основных элементов, проанализировать преимущества и недостатки СРП, ответить на вопросы, приведенные в конце методических указаний.

2 НАЗНАЧЕНИЕ, СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ РУЛЕВЫХ ПРИВОДОВ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ "ЭНЕРГИЯ"

Старт ракеты-носителя "Энергия" с орбитальным кораблем многоразового использования "Буран" состоялся 15 ноября 1988 г. После двухвиткового орбитального полета корабль "Буран" совершил автоматическую посадку на аэродроме. Двухступенчатая РН "Энергия" (рис.1) выполнена по схеме "пакет" с продольным разделением ступеней. Первая ступень состоит из четырех боковых блоков. В качестве второй ступени используется центральный моноблок.

Если полет ракеты происходит с работающими двигателями, то управление движением центра масс возможно рассогласованием тяги двигателей или путем изменения их осевого углового положения относительно вектора скорости РН (рис. 2, 3). Оба эти способа могут использоваться одновременно.

На центральном блоке РН "Энергия" для обеспечения заданной траектории полета в качестве управляющего органа использованы четыре маршевых качающихся ракетных двигателя. Для изменения вектора тяги двигателей применены восемь электрогидравлических рулевых

приводов РП (по два РП на каждый ЖРД) (рис. 4), являющихся исполнительными элементами системы управления полетом РН.

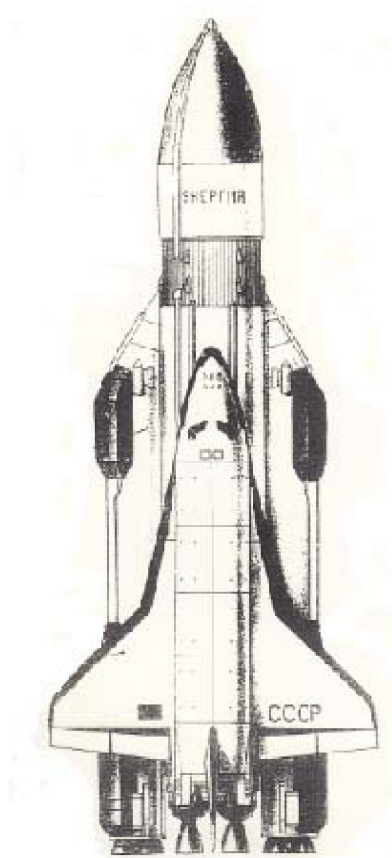


Рис. 1. Внешний вид ракеты-носителя «Энергия»

Стартовая масса РН "Энергия" 2400 т, ее высота около 65 м. РН "Энергия" способна доставить на околоземную орбиту полезный груз массой до 100 т.

На центральном блоке устанавливается 4 поворотных жидкостных кислородно-водородных ЖРД, отклонение которых осуществляется системой рулевых приводов. Управление движением РН сводится к управлению движением ее центра массы в плоскостях тангажа и рыскания, а движением вокруг центра массы по углу крена - при помощи специальных органов управления (рис.3).

Для отработки командных сигналов, поступающих на цифро-аналоговые преобразователи СРП от системы управления РН, использована электро-пневмогидравлическая система рулевых приводов закрытого типа (рис. 4), включающая в себя следующие основные узлы и элементы: агрегаты гидравлического питания (АГП1 ... АГП3); блок гидравлических аккумуляторов (БГА); блоки рулевых приводов (БРП, РП111 ... РП412); приборы контроля частоты вращения (ПКО1 ... ПКО3); арматуру; датчик

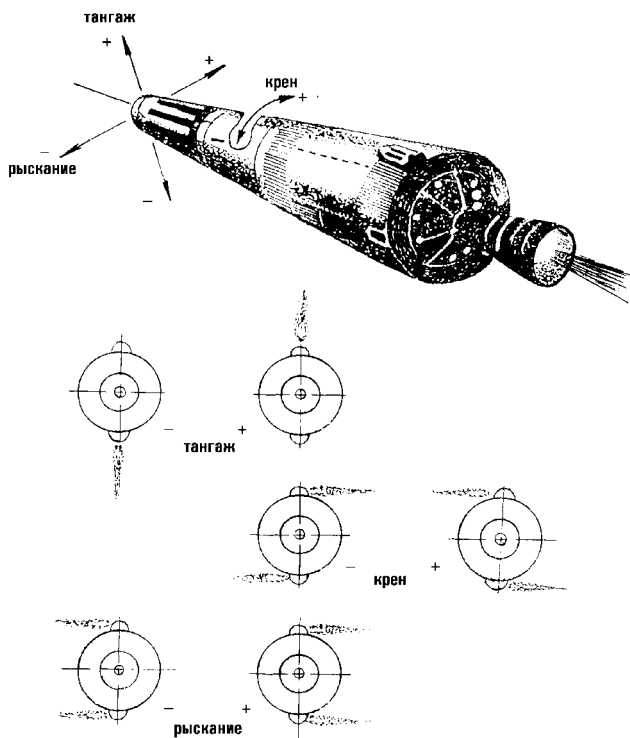


Рис. 2. Управление ракетой-носителем в плоскостях тангажа, рыскания и по оси крена

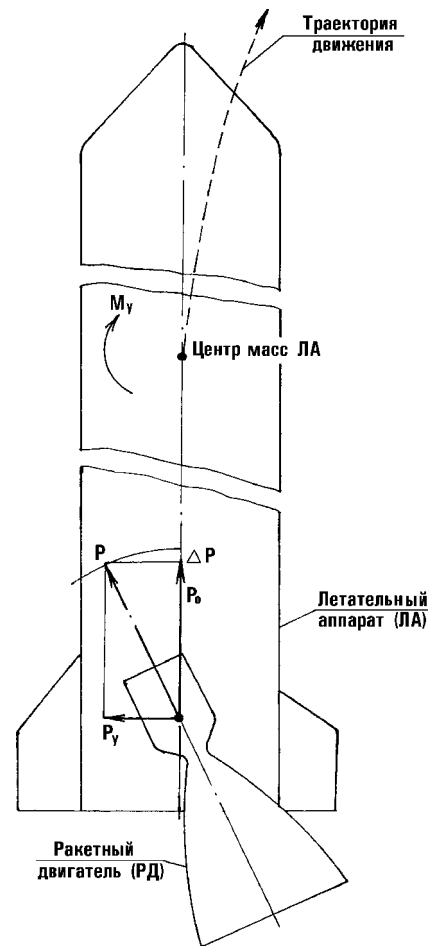


Рис. 3. Создание управляющего момента путем поворота ЖРД:

P – тяга; P_0 – продольная составляющая тяги, обеспечивающая разгон ЛА; P_y – управляющая сила; M_y – управляющий момент; ΔP – потеря тяги на управление

контроля параметров СРП; коллектор подачи газа на турбопривод (ТП) АГП; коллектор подачи газа в газовые полости бака-аккумулятора (БА) АГП; трубопроводы утилизации газа из ТП АГП; трубопроводы нагнетания и слива рабочей жидкости, соединяющие АГП с рулевыми приводами.

Арматура включает в себя: клапаны обратные (КО 1 ... КО6); пневмоклапаны зарядки (ПЗС1 ... ПЗС5); клапаны обратные (КОП ... КОГЗ);

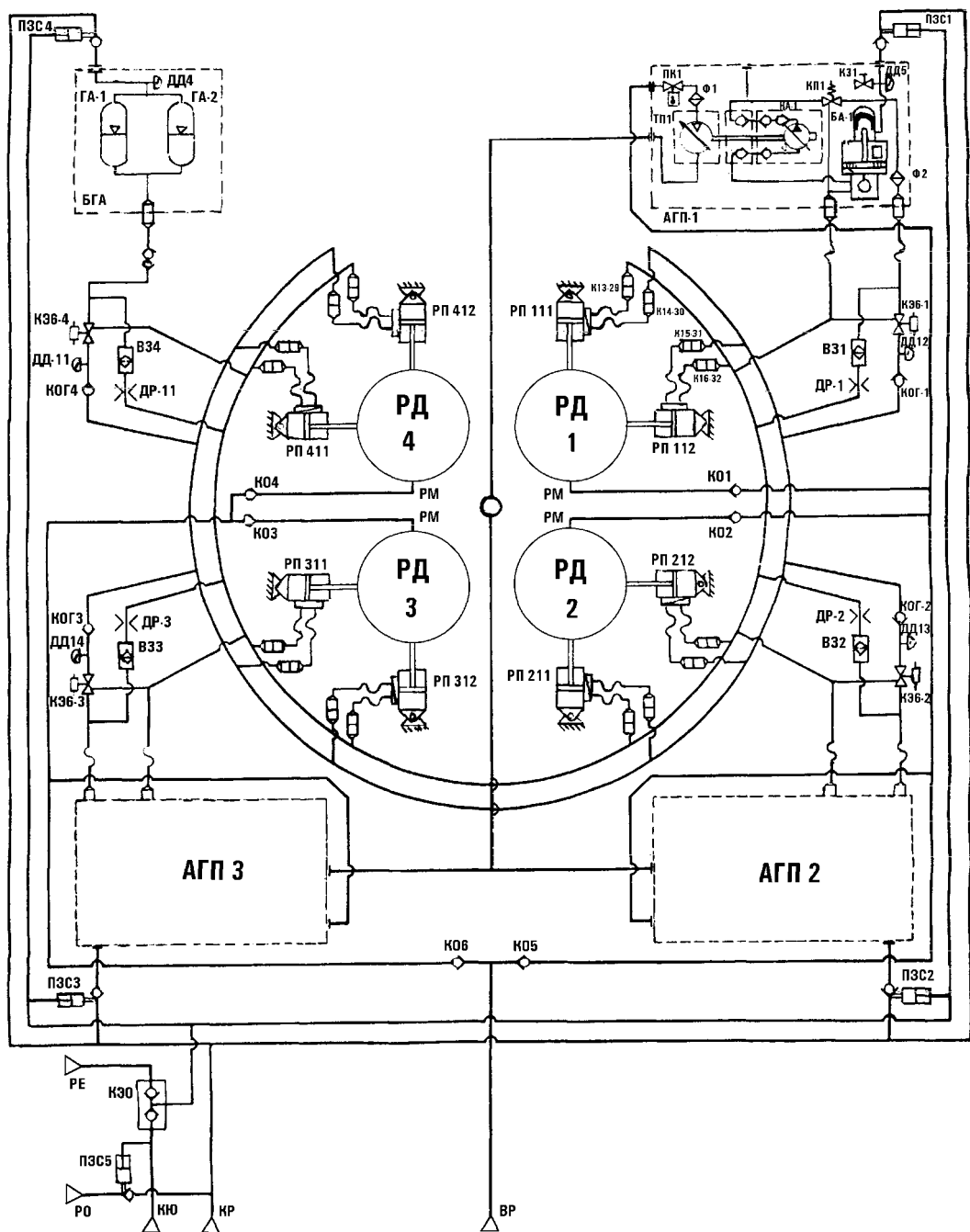


Рис. 4. Пневмогидравлическая схема системы рулевых приводов (СРП)

электрогидроклапаны (КЭ6 ... КЭ9); клапан переключения управляющего газа (КЗС); клапаны отжимные (К13 ... К28); клапаны отжимные (К29 ... К44).

Исполнительными элементами СРП являются 8 рулевых приводов, обеспечивающих отклонения 4-х двигателей в соответствии с командными сигналами от системы управления РН.

Источником гидравлического питания РП являются автономные агрегаты гидравлического питания АГП. Перед началом штатной работы СРП газовые полости баков-аккумуляторов (БА) заряжаются газообразным гелием. В качестве внешнего источника энергии для СРП при проверках и комплексных испытаниях используется азот или воздух высокого давления. В процессе штатной работы в СРП используется газообразный водород, сопутствующий работе двигательного блока.

Основные технические характеристики СРП

Источник энергии для СРП: - при испытаниях и подготовке к штатной работе - при штатной работе	азот (воздух) газообразный водород
Рабочая среда в гидравлических магистралях	жидкость 7-50С-3
Температура рабочей среды: - перед началом работы, °С - в процессе работы, не более, °С	-40 ... +50 120
Расход рабочей жидкости, обеспечиваемый каждым АГП: - при работе на азоте, л/мин - при работе на водороде, л/мин	110 240
Давление перед насосом НП-113: - до начала работы, МПа - в процессе работы, МПа	0,2 ... 0,3 0,25 ... 0,6
Давление в магистралях нагнетания, МПа	$21^{+1,0}_{-2,7}$
Давление газа на входе в турбопривод: - азота, МПа - водорода, МПа	17 ... 23 5 ... 30
Давление зарядки газовой полости бака-аккумулятора АГП: - азота (воздуха) при наземных испытаниях, МПа - гелия при штатной работе, МПа	$13^{+2,5}_{-0,5}$ $13^{+2,5}_{-0,5}$
Частота вращения выходного вала турбопривода: - на азоте, об/мин - на водороде, об/мин	2000 ... 4000 4500^{+117}_{-382}
Время непрерывной работы СРП, с	не более 600
Масса СРП, заправленной рабочей жидкостью, кг	1701

3 УСТРОЙСТВО И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РУЛЕВЫХ ПРИВОДОВ

Блоки рулевых приводов установлены таким образом, что обеспечивается отклонение двигателей в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Крепление РП на изделии осуществляется в двух точках (рис. 5).

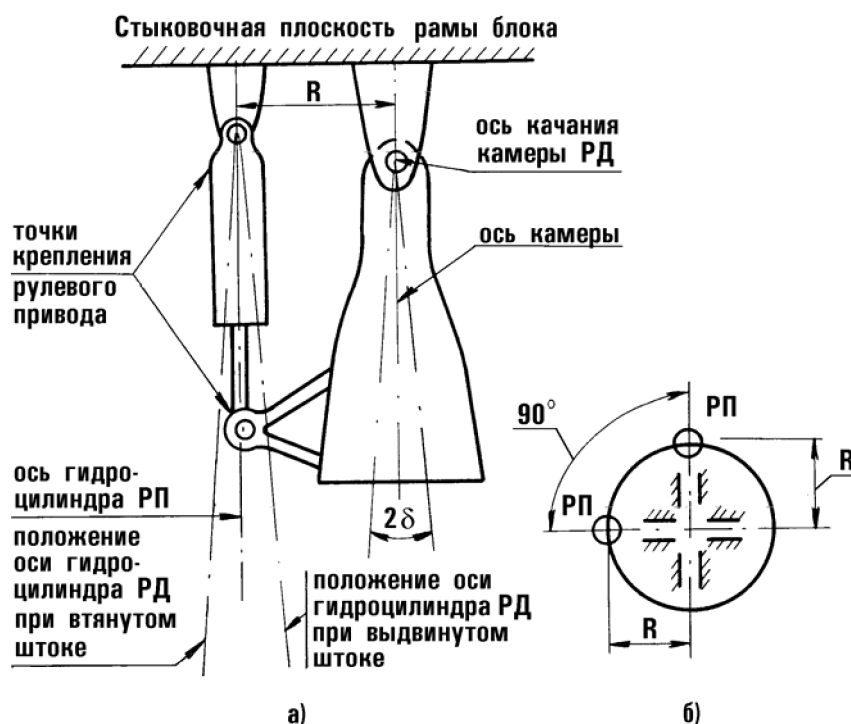


Рис. 5. Кинематическая схема сопряжения рулевого привода с камерой сгорания ЖРД и силовой рамой центрального блокаРН: а – схема сопряжения; б – схема размещения приводов на камере ЖРД

Шток с установленной на нем серьгой, выполненной со сферическим подшипником, крепится к проушине камеры сгорания двигателя. Вторая серьга РП, выполненная также со сферическим подшипником, крепится к кронштейну, который установлен на хвостовом отсеке блока (см. рис.5). В БРП использованы гибкие вставки (сильфонные компенсаторы), обеспечивающие требуемую подвижность магистралей с учетом кинематики при отклонении двигателя на заданные углы.

Подвод рабочей жидкости в РП осуществляется от коллектора нагнетания, который соединен с тремя АГП (см. рис. 4) Для аккумуляции гидравлической энергии в периоды пауз в потреблении ее рулевыми приводами используется БГА. Слив рабочей жидкости из РП осуществляется в коллектор слива и далее в АГП. Для соединения коллекторов нагнетания и слива к АГП, БГА и БРП используются гидроразъемы.

Пневмомагистраль ВР предназначена для подвода рабочего газа (азота, воздуха) к турбоприводу АГП от внешнего источника. Пневмомагистраль РМ предназначена для подвода водорода от двигателей к АГП, а пневмомагистраль КЮ - для зарядки газовых полостей баков-аккумуляторов АГП и БГА. Все соединения внутренних трубопроводов СРП пневмомагистралей выполнены сваркой.

Контроль технического состояния СРП осуществляется системой измерения параметров РН с использованием более 40 различных датчиков.

Рассмотрим работу системы СРП при наземных испытаниях, когда используется внешний источник энергии - воздух (азот) под давлением. Перед началом работы СРП производятся следующие операции: демонтаж средств фиксации двигателей; демонтаж заглушек с трубопроводов утилизации газов из ТП АГП; зарядка газовых полостей баков-аккумуляторов АГП и БГА; контроль давления рабочей жидкости на входе в насосы НП-113 АГП (магистрالی всасывания); подача командных сигналов на РП.

Зарядка газовых полостей баков-аккумуляторов АГП и БГА производится в следующей последовательности.

К штуцеру РЕ (см. рис. 5) подается сжатый воздух под давлением (15...23) МПа, при этом происходит перекидка клапана КЗС. Сжатый воздух поступает в управляющие полости клапанов ПЗС1 ПЗС4 и открывает их. По магистрали КЮ производится зарядка газовых полостей баков-аккумуляторов АГП и БГА рабочим газом с давлением $13_{-0,5}^{+2,5}$ МПа. После окончания зарядки производится стравливание давления, подведенного к

штуцеру РЕ, при этом клапаны ПЗС1 ... ПЗС4 закрываются. Контроль давления жидкости перед насосами НА-1. НА-3 производится по датчикам.

Включение СРП производится по команде КАУ или руководителя испытаний при приемосдаточных и контрольных испытаниях блока Командные сигналы в виде параллельного двоичного 7-разрядного кода поступают по кабелю от КАУ на вход в РП. При этом сжатый воздух (азот) поступает через штуцер ВР (см. рис. 5) к обратным клапанам КО5 и КО6, распределяющим газ между АГП. Обратные клапаны КО1 ... КО4 препятствуют попаданию рабочего газа в двигатель. С выхода клапанов КО5, КО6 газ поступает через пироклапан ПК1 и фильтр Ф1(см. рис.7) в турбопривод АГП и приводит во вращение привод насоса НП-113 Из выхлопных патрубков турбопривода газ поступает в трубопровод утилизации для вывода за борт РН.

Рабочая жидкость из гидравлической полости бака-аккумулятора АГП по магистрали всасывания поступает на вход насоса НП-113 и с его выхода под рабочим давлением подается в магистраль нагнетания АГП. По магистрали нагнетания рабочая жидкость, пройдя через проточную часть предохранительного клапана КП1, поступает в гидравлическую полость гидрогазоаккумулятора. Запасаемый объем рабочей жидкости в гидроаккумуляторе образуется за счет перемещения поршня, которое происходит из-за разности давлений в газовой ($13^{+2,5}_{-0,5}$ МПа) и гидравлической ($21^{+1,0}_{-2,7}$ МПа) полостях. Перемещение поршня осуществляется до выравнивания давлений в полостях. По магистрали нагнетания АГП рабочая жидкость через фильтр Ф2, электрогидро-клапаны КЭ6-1 ... КЭ6-3 и обратные клапаны КОГ-1 ... КОГ-3 поступает в коллектор нагнетания СРП и далее в гидромагистрали БРП. По гидромагистралям БРП рабочая жидкость подается на вход РП. Из штуцеров слива РП по гидромагистралям БРП через отжимные клапаны К13-29 и К16-32 рабочая жидкость поступает в коллектор слива СРП,

а затем в АГП. По магистрали слива АГП рабочая жидкость поступает в гидравлическую полость баков-аккумуляторов АГП.

Обратные клапаны КОП ... КОГЗ установлены для исключения взаимовлияния при одновременной работе трех насосов НП-113 в СРП. Если величина давления нагнетания одного из насосов больше, чем у двух других, то в этом случае соответствующий обратный клапан КОГ1 ... КОГ3 работает в режиме "Открыт", а два других в режиме "Закрит".

Для обеспечения минимального расхода жидкости в насосах НП-113 в гидромагистралях установлены дроссельные шайбы ДР1 ... ДР4 ($\varnothing 1,5$ мм). Слив рабочей жидкости через дроссельные шайбы осуществляется в коллектор слива СРП.

Выключение СРП производится по команде КАУ или руководителя испытаний. При этом прекращается подача рабочего тела на турбопривод АГП. Выходной вал ТП останавливается и прекращается работа насосов НП-113. Давление рабочей жидкости в магистралях нагнетания понижается до нуля, происходит разрядка гидрогазоаккумуляторов АГП и БГА. Давление в газовых полостях баков-аккумуляторов АГП и БГА снижается до давления зарядки. Стравливание давления из газовых полостей баков-аккумуляторов производится в следующей последовательности: к штуцеру РЕ подается сжатый воздух с давлением (15 - 23) МПа, при этом происходит перекладка клапана КЗС, сжатый воздух поступает в управляющие полости клапанов ПЗС1 ПЗС4 и открывает их. По магистрали КЮ давление стравливается до нуля.

Работа системы СРП в штатном варианте отличается от рассмотренной тем, что рабочим телом для ТП является газообразный водород, поступающий от ЖРД, и сигнал для управления СРП поступает от КАУ.

4 СОСТАВ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АГРЕГАТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

4.1 Состав агрегата гидравлического питания

Основными элементами АГП (см. рис. 6) являются: турбопривод ТП-22 (ТП); гидравлический насос НП-113 (НА); бак-аккумулятор (БА); гидрогазоаккумулятор (ГА); гермопроставка (ГП); клапан предохранительный (КП); пироклапан (ПК); клапан нагнетания (К1, К3); -клапан слива (К2, К4); фильтр газовый (Ф1); фильтр гидравлический (Ф2); -датчики давления (ДД); датчик перемещения (ДП); датчик температуры (ДТ).

Время выхода насоса на максимальный расход составляет 0,3 с. Если в какой-то момент возникает потребность в максимальном расходе, то гидрогазоаккумулятор, расположенный за насосом и содержащий необходимый запас рабочей жидкости, "разряжается" и передает в гидросистему необходимый объем жидкости.

В дальнейшем, при выходе насоса на режим, гидрогазоаккумулятор снова заряжается запасом рабочей жидкости.

Вследствие совмещенной газовой полости гидробака и гидрогазоаккумулятора с помощью поршня в гидробаке поддерживается давление, необходимое для бескавитационной работы насоса. После гидрогазоаккумулятора рабочая жидкость проходит через фильтр Ф2 и клапаны К1, К3 в систему управления рулевыми приводами. Если давление в напорной магистрали превышает максимально допустимое, срабатывает предохранительный клапан КП, перепускающий рабочую жидкость в сливную магистраль. Из системы управления РП рабочая жидкость через клапаны К2 и К4 проходит в гидробак. Масса АГП, заправленного рабочей жидкостью, не более 184 кг.

4.2 Бак-аккумулятор

Бак-аккумулятор (БА) (рис. 7) является источником питания гидросистемы АГП и предназначен для обеспечения нормальной бескавита-ционной работы насоса НП-113 и компенсации температурных изменений объема рабочей жидкости СРП Бак-аккумулятор выполнен

совмещенным с общей газовой полостью для бака и гидрогазоаккумулятора и состоит из следующих основных узлов: гидрогазоаккумулятора 1 (ГА) и гидробака 7. Гидрогазоаккумулятор с поршневой системой вытеснения разделен на две полости: газовую А и гидравлическую Б.

В гидробаке 7 с поршневой системой вытеснения жидкости размещены шток 9 и дифференциальный поршень 6, делящий бак на две полости: В - сообщенную с атмосферой и Г - гидравлическую.

Конструктивно дифференциальный поршень выполнен таким образом, что за счет разности площадей штока 9 и поршня 6 при зарядке полости А газом с давлением (12,5 - 15,5) МПа в полости Г значение давления рабочей жидкости составляет (0,34-0,51) МПа. Зарядка газовой полости А может производиться через штуцер 3 и зарядный клапан. Давление зарядки контролируется датчиком давления. Положение поршня 6 контролируется датчиком перемещений 4 (ВТ 718), который соединен с поршнем с помощью тросика 5.

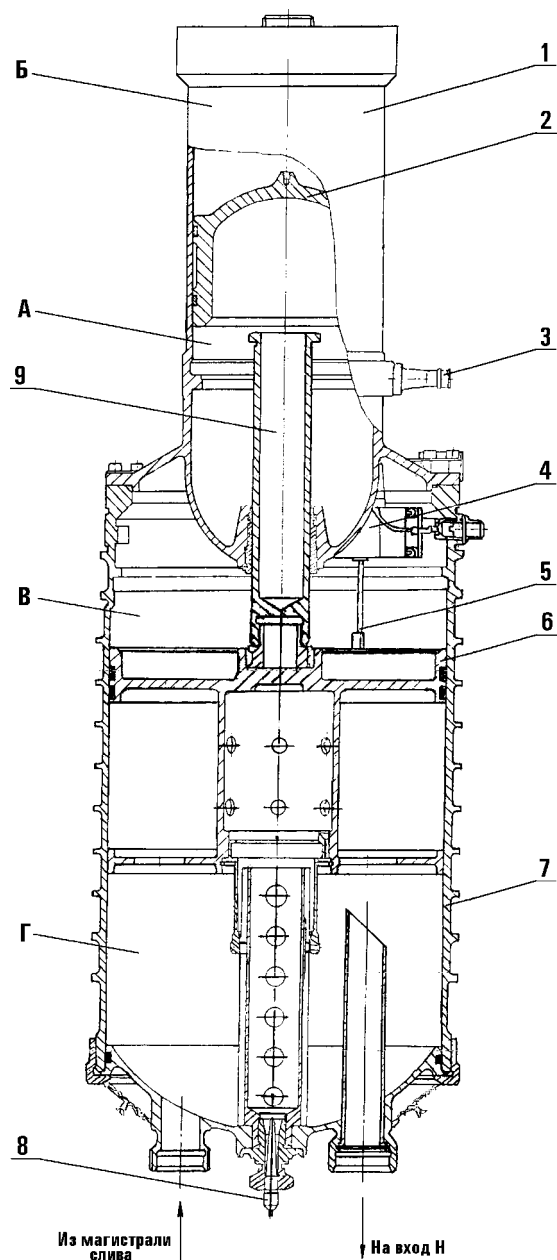


Рис. 7. Бак-аккумулятор

В днище бака установлен датчик температуры 8 (ТП 062), контролирующей температуру рабочей жидкости в СРП. Максимальное количество рабочей жидкости в полости Г (при нахождении поршня на упоре) 28л.

Основные технические характеристики БА

Объем гидравлической полости Б-А	
- полный, дм ³	23 ± 0,5
- в положении нижнего упора поршня, дм ³	11 ± 0,8
Объем газовой полости ГА, дм ³	6 ± 0,2
Объем гидравлической полости ГА, не менее, дм ³	2,3
Давление: рабочей жидкости в БА	

- при давлении в газовой полости ГА 22 МПа, МПа рабочей жидкости в ГА, МПа	0,63...0,71 21,0 ^{+1,0} _{-2,7}
Ход поршня, мм	205
Масса БА, кг в том числе масса ГА, кг	38,9 21,6

4.3 Турбопривод

Турбопривод ТП-22 предназначен для привода насоса НП-113. В состав ТП (рис. 8, 9) входят: газовая турбина 1, пневмосистема с регулятором частоты вращения (РЧВ) 2, редуктор 3, средства контроля и диагностики 4, масляный насос 5. Рабочим телом для изделия ТП-22 является газообразный водород высокого давления ($P_{вх} = (5 \dots 30) \text{ МПа}$), поступающий из системы маршевого двигателя. Номинальная частота вращения ротора турбины - 54200 об/мин, выходного вала насоса - 4500 об/мин.

Турбина - осевая, одноступенчатая, активная, с поворотом потока выхлопных газов на 120° . Корпус турбины сварной, входит в силовую схему турбопривода.

В целях понижения частоты вращения вала турбины до значения, необходимого для работы насоса НП-113, а также для привода РЧВ и маслонасоса, применен редуктор. Корпус редуктора совместно с корпусом турбины является основным силовым элементом турбопривода.

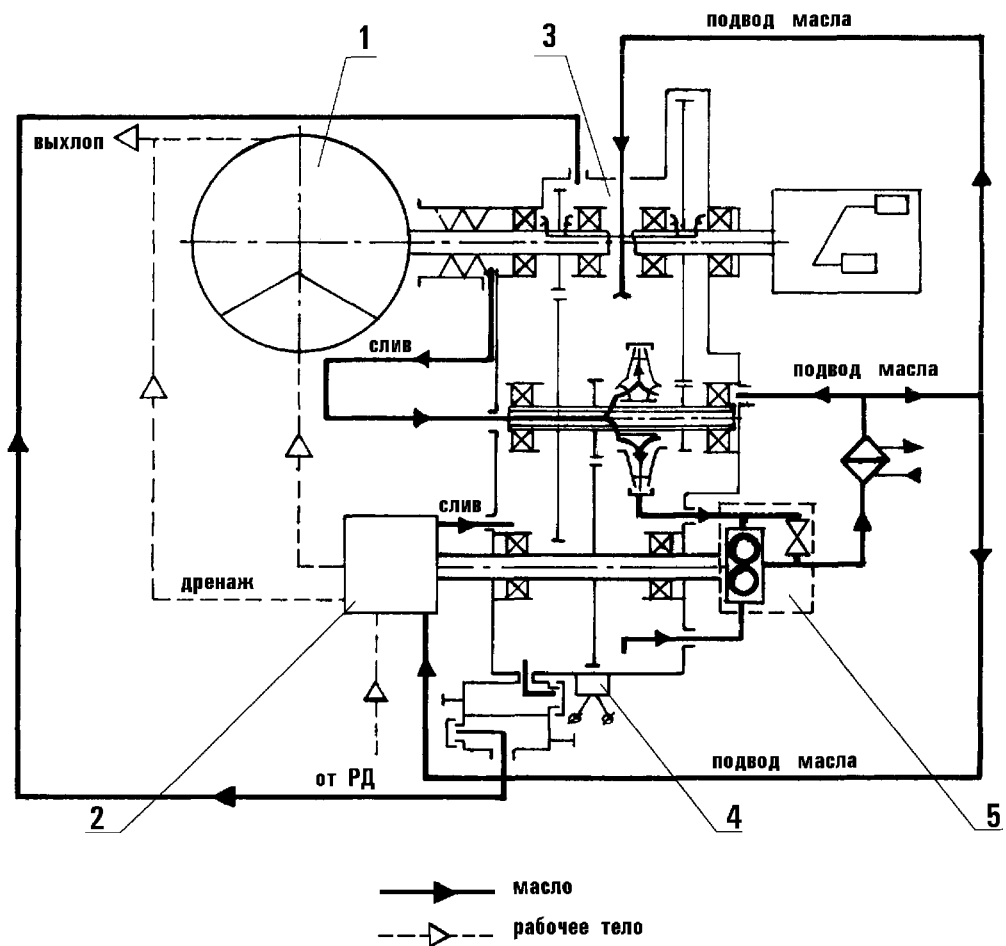


Рис. 8. Принципиальная схема работы трубопровода ТП-22

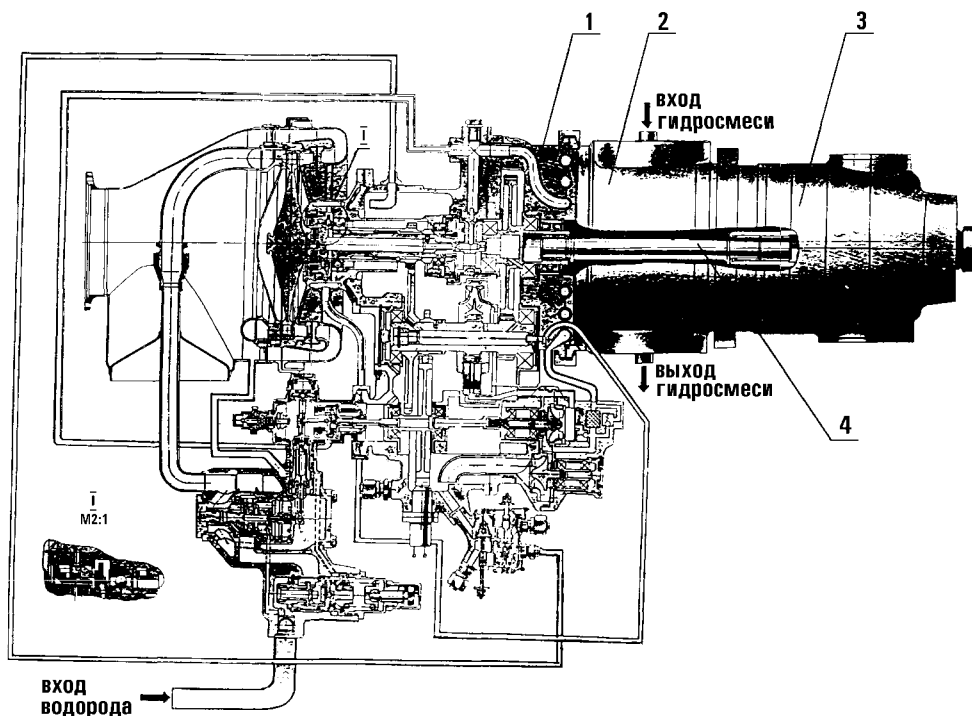


Рис. 9. Конструктивная схема турбопривода:
1 – турбопривод ТП-22; 2 – гермопроставка ГП; 3 – насос НП-113; 4 – сессора.

Передача мощности от вала турбины на привод насоса НП-113 осуществляется через две пары цилиндрических шестерен, в зацеплениях которых происходит редуцирование частоты вращения 1:12. С промежуточного вала турбопривода производится отбор мощности на привод регулятора РЧВ и маслонасоса.

В связи с тем, что изделие должно обеспечивать поддержание постоянной частоты вращения вала привода насоса в широком диапазоне отбираемой мощности (20 ... 105) кВт, применена релейная система подачи рабочего тела.

Поддержание частоты вращения выходного вала в заданных пределах осуществляется следующим образом. Водород из системы двигателя под давлением поступает в РЧВ, который редуцирует его до соответствующего значения.

При приближении частоты вращения вала привода насоса к максимальному значению РЧВ по команде центробежного датчика перекрывает подачу водорода. Частота вращения выходного вала турбопривода из-за наличия загрузки начинает снижаться. При приближении частоты вращения к минимальному значению РЧВ осуществляет подачу водорода, обеспечивая стабилизированный расход. Частота вращения начинает возрастать. Затем процесс повторяется. Диапазон частоты релейного срабатывания системы регулирования частоты вращения находится в пределах (0,2 ... 2,0) Гц, в зависимости от загрузки на выходном валу ТП.

Система релейной подачи водорода на всех режимах работы, по мере загрузки выходного вала турбопривода, позволяет сохранить в момент подачи рабочего тела постоянное давление перед турбиной вне зависимости от отбираемой мощности и колебаний входного давления, что обеспечивает работу турбины на расчетном режиме.

Основные технические характеристики турбопривода ТП-22

Тип	турбовальный
Мощность на выходном валу: - на азоте, кВт - на водороде, кВт	45 100
Частота вращения выходного вала: - на азоте, об/мин - на водороде, об/мин	2000..4000 4500 ⁺¹¹⁷ ₋₃₈₂
Масса ТП-22, кг	46,5

4.4 Гидравлический плунжерный насос НП-113

Плунжерный гидравлический насос НП-113 состоит из следующих основных узлов и деталей (рис 10): вала насоса 14, блока цилиндров 6, поршневой группы 5, распределительного золотника 7, наклонной шайбы 1, сервопоршня 10 регулятора давления, каналов всасывания "а" и нагнетания "б", корпуса с крышкой (на рисунке не выделены).

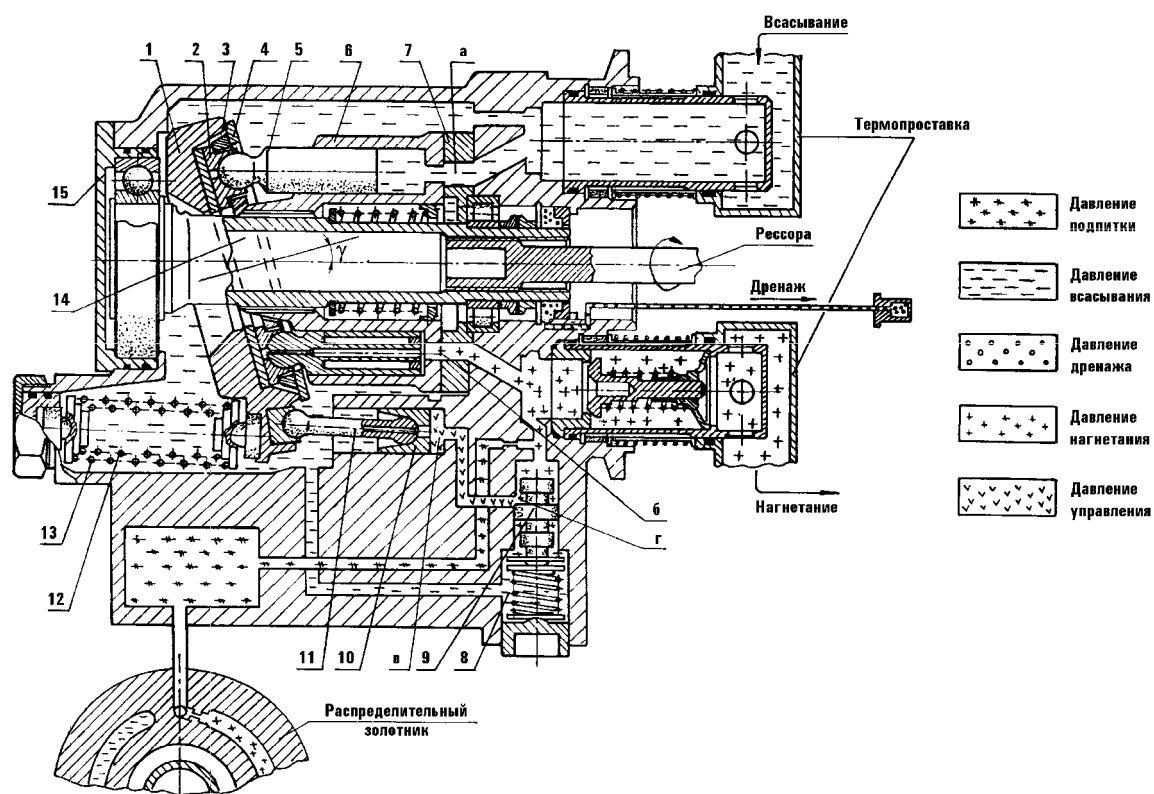


Рис. 10. Принципиальная схема плунжерного гидравлического насоса НП-113

Вал насоса 14, связанный через шлицевые соединения с блоком цилиндров 6, приводится во вращение через рессору от выходного вала турбопривода ТП-22. Плунжеры 5, находящиеся в блоке цилиндров 6, совершают вместе с блоком вращательное движение, а также возвратно-поступательное движение благодаря скольжению башмаков 2 поршней по наклонной (неподвижной) шайбе 1. Контакт башмаков с наклонной шайбой обеспечивается с помощью сепаратора 3 и прижимного диска 4. Рабочий – торец блока цилиндров 6 скользит по поверхности распределительного золотника 7, поочередно соединяя полости цилиндров через окна "а" и "б" золотника с магистралями всасывания и нагнетания.

При перемещении плунжера 5 влево (по рисунку) через окно "а" происходит всасывание жидкости в полость цилиндра, а при перемещении вправо - выталкивание жидкости через окно "б" в магистраль нагнетания. Величина хода плунжера, а следовательно, и количество нагнетаемой жидкости в гидросистему зависит от угла у наклонной шайбы 1, который изменяется автоматически от γ_{\max} до γ_{\min} регулятором давления.

При увеличении потребления жидкости в гидросистеме давление в полости нагнетания насоса уменьшается. Золотник 9 регулятора давления, находящийся с одной стороны под воздействием давления нагнетания, а с другой - усилия пружины и давления слива, перемещается вверх (по рисунку) При этом, за счет уменьшения щели "г" величина редуцированного давления в полости "в" уменьшается, в результате чего сервопоршень 10, соединенный шарнирно через шток 11 с наклонной шайбой 1, под воздействием усилия пружин 12, 13 и давления всасывания перемещается вправо, увеличивая угол у наклонной шайбы. Как результат, происходит восстановление заданной величины давления нагнетания в гидросистеме.

На рис.11 показана принципиальная схема насоса в режиме максимальной подачи жидкости в гидросистему. В этом положении наклонная шайба 1 отклонена на угол $\gamma_{\max} = 15^\circ$, ограниченный упором 15. В режиме, когда отсутствует потребление жидкости в гидросистеме, наклонная

шайба 1 устанавливается на угол γ_{\min} . При этом подача жидкости снижается до величины, необходимой для компенсации перетечек в насосе и гидросистеме (режим минимальной подачи) и поддержания заданного давления.

Основные технические характеристики насоса НП-113

Тип	аксиально-плунжерный, с торцевым распределением рабочей жидкости, с регулируемой подачей
Частота вращения вала при работе ТП на водороде, об/мин	4500^{+117}_{-382}
Давление рабочей жидкости на входе, МПа	0,25...0,55
Давление нагнетания, МПа	$21^{+1,0}_{-2,7}$
Подача жидкости, л/мин	не менее 240
Масса насоса, кг	не более 17,7

5 СОСТАВ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РУЛЕВОГО ПРИВОДА

Рулевой привод (РП) предназначен для управления непосредственно положением двигателя по командам от СРП. РП (рис. 11) представляет собой электрогидравлическую рулевую машину большой мощности, охваченную механической обратной связью по положению выходного штока и управляемую дискретными (цифровыми) командными электросигналами в параллельном двоичном семиразрядном коде. РП выполнен по трехкаскадной схеме усиления гидравлической мощности, третий каскад которого состоит из гидроцилиндра 1, штока 2 с поршнем и гидрораспределителя.

Гидроцилиндр 1 является исполнительным органом РП. Со штоком 2 гидроцилиндра связан рычаг обратной связи II 1-го каскада усиления 5. На выходном конце штока 2 установлена серьга 3 со сферическим подшипником для крепления РП к двигателю.

Гидроусилитель 1-го каскада включает в себя цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), гидрораспределитель, управляющий золотник, управляющий цилиндр 4, рычаг обратной связи 8, гидрозамок и блок динамической коррекции (БДК).

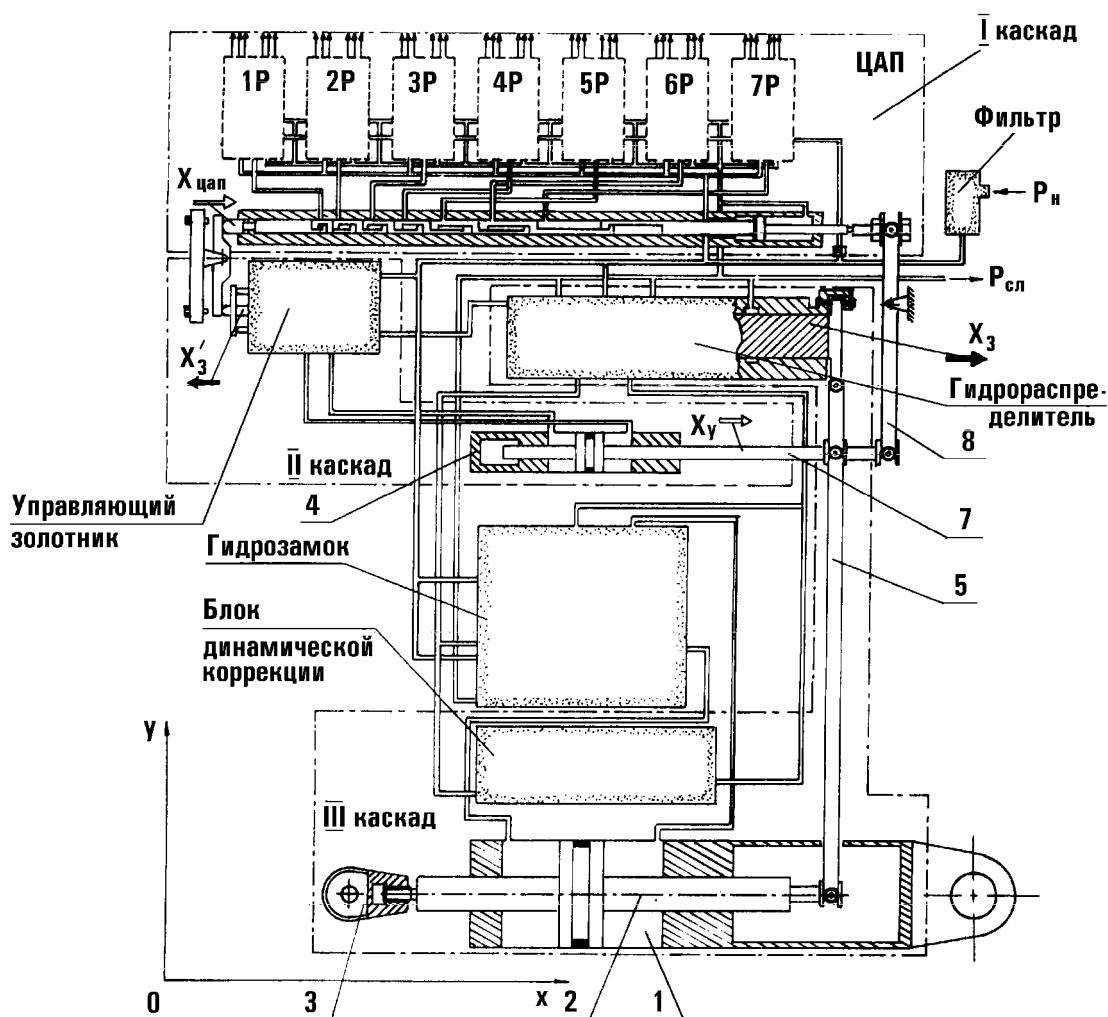


Рис. 11. Принципиальная схема рулевого привода (РП).

Цифро-аналоговый преобразователь (рис. 12) выполняет функции формирования управляющего сигнала и является задающим звеном для РП. Он преобразует электрические КС семиразрядного двоичного кода в поступательное перемещение выходного штока 17.

Шток 17 через рычаг 18 взаимодействует с управляющим золотником 20 II-го каскада усиления. Шток 7 (см. рис. 11) управляющего цилиндра 4, перемещающийся по сигналу золотника 20, повторяет перемещение выходного штока ЦАП с коэффициентом усиления по ходу $K = \frac{25,4}{12,7} = 2$ и с коэффициентом усиления по усилию $K=8$. Одновременно шток 7 через рычаг обратной связи 8 возвращает шток 17 в исходное положение.

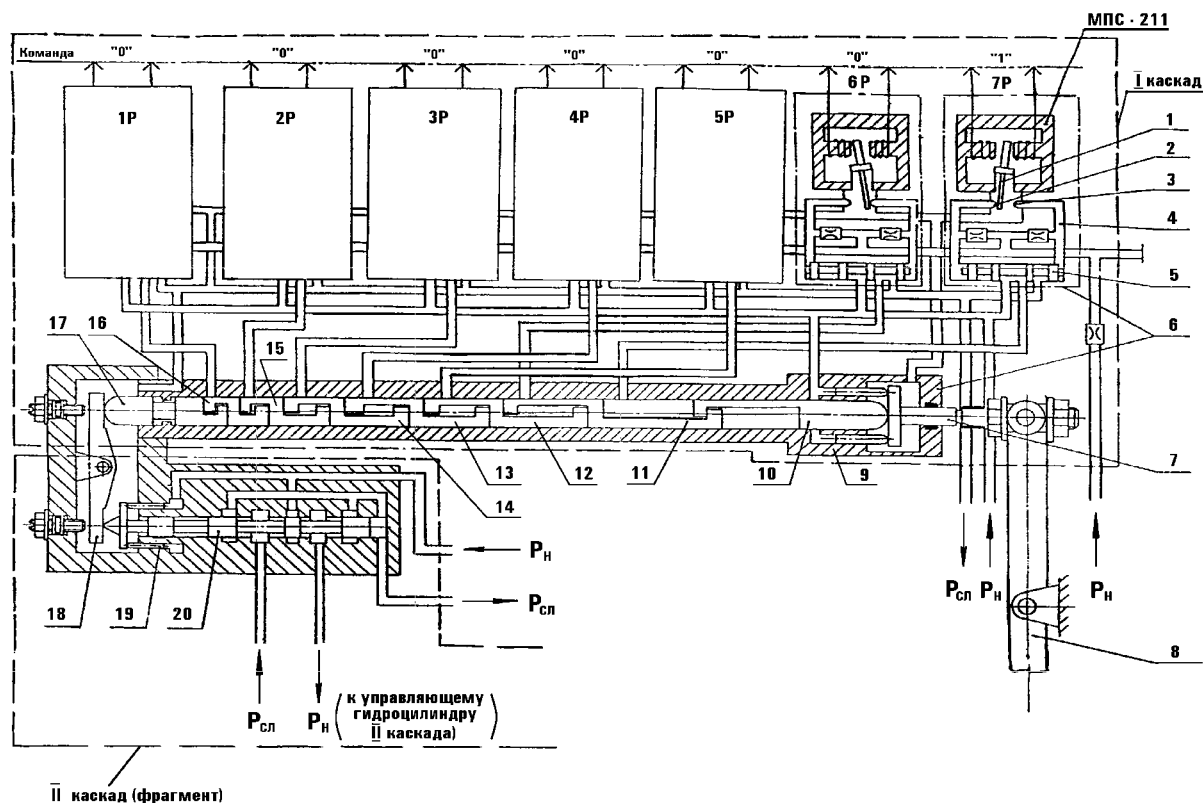


Рис. 12. Принципиальная схема цифро-аналогового преобразователя (ЦАП).

Передаточное отношение рычагов обратной связи такое, что шток 2 гидроцилиндра 1 повторяет перемещение штока 7 управляющего цилиндра 4 с коэффициентом усиления по ходу $K=7$ и коэффициентом по усилию $K=100$, что обеспечивает перемещение штока 2 гидроцилиндра 1 с шагом 1,4 мм на полный ход 178 мм и максимальным усилием 320000 Н.

Последовательность действий каскадов усиления РП выглядит следующим образом:

Каскад усиления РП	Входной сигнал	Выходной сигнал
I	Электрический командный сигнал на МПС-211 ЦАП от КАУ	Перемещение выходного штока 17 ЦАП и, соответственно, золотника 11
II	Перемещение управляющего золотника 11	Перемещение штока 28 управляющего цилиндра 12 и, соответственно, золотника 29
III	Перемещение золотника 29 гидрораспределителя 10	Рабочий ход штока 2 гидроцилиндра 1 РП

Оригинальным узлом РП является электрогидравлический ЦАП, более подробное описание которого приводится ниже.

Основные технические характеристики рулевого привода

Усилие, развиваемое РП, Н	320000
Ход штока от упора до упора, мм	180
Скорость штока без нагрузки, мм/с	125
Скорость штока под рабочей нагрузкой, мм/с	47
Давление питания, Мпа	$21^{+1,0}_{-2,7}$
Расход жидкости максимальный, л/мин	120
Диаметр цилиндра, мм	152
Диаметр штока, мм	55
Масса рулевого привода, кг	94

В гильзе 9 ЦАП (рис. 13) установлены штоки 7 и 17, а также размещены разрядные поршни 10-16 (7 поршней по количеству разрядов КС) Полости между разрядными поршнями соединены каналами с полостями золотников 5. При подаче на обмотки одного из МПС командного сигнала "0" золотник 5 этого МПС соединит полости между соответствующими разрядными поршнями со сливом и поршни сдвинутся. При подаче командного сигнала "1" золотник 5 соединит полость между соответствующими разрядными поршнями с нагнетанием и поршни, а следовательно и штоки 7 и 17 раздвинутся

Основные технические характеристики цифро-аналогового преобразователя

Входной сигнал	7-разрядный двоичный код
Положение штока РП при КС: 0000000 1111111 1000000	втянутое выдвинутое среднее
Давление питания, МПа	$+ 1,0$ $21 - 2,7$
Давление управления, Мпа	2,5
Максимальный ход выходного штока ЦАП, мм	12,7
Развиваемое усилие на штоках 7 и 17 (см. рис.14), Н	500
Развиваемое усилие на золотнике 5 (см. рис.14), Н	25

Перемещение разрядных поршней вызывает перемещение штока 17 на ± 3 мм (максимальное) и выходного штока 7 на 12,7 мм (максимальное). Ход штока 17 ограничен упором.

Ход раздвижения между каждой парой разрядных поршней 10-16 возрастает вдвое при переходе от первого к седьмому разряду: 0,1, - 0,2; - 0,4;

0,8, - 1,6; - 3,2; - 6,4 мм. Комбинацией КС от 0000000 до 1111111 можно получить 128 положений выходного штока 7 ЦАП с шагом 0,1 мм. Минимальное время смены КС на ЦАП 0,033 с.

При последовательной смене сигналов штоки ЦАП непрерывно перемещаются, что приводит к отслеживанию II-го и III-го каскадами усиления и плавному перемещению штоков 7 и 2 (см. рис. 11) с определенной скоростью. Скорость перемещения штока 2 гидроцилиндра 1 растет пропорционально увеличению разности предыдущего и последующего командного сигнала. Максимальная скорость штока достигается при разности командных сигналов, соответствующей величине четвертого разряда. Гидрозамок (см. рис. 11) предназначен для фиксации положения штока 2 гидроцилиндра 1 при понижении давления в магистрали нагнетания РП с 15 МПа до давления слива. Это осуществляется тем, что клапаны (рис.13) под действием пружин отсекают рабочую жидкость, находящуюся в полостях гидроцилиндра от остальных магистралей

Открытие гидрозамка осуществляется в процессе нарастания давления нагнетания и при (5,0 ... 15,0) МПа золотник 34 под действием давления рабочей жидкости на его левый торец перемещается вправо, преодолевая усилие пружины 35, и подает рабочее давление к поршням 36. Поршни 36 перемещаются в крайнее правое положение, сжимая пружины 37 и своими толкателями открывают клапаны 33, удерживая их в открытом положении. Полости гидроцилиндра сообщаются с остальными магистралями.

При спаде давления золотник 34 под действием пружины 35 возвращается в исходное положение, перекрывая нагнетающую магистраль, пружины 37 возвращают поршни 36 в исходное положение, и клапаны 33 под действием пружин прижимаются к седлам, запирая полости гидроцилиндра.

Для предотвращения чрезмерного повышения давления жидкости в полостях гидроцилиндра при повышении температуры окружающей среды и закрытых клапанах гидрозамка установлены термоклапаны 38, сбрасывающие часть рабочей жидкости из гидроцилиндра в магистраль слива РП.

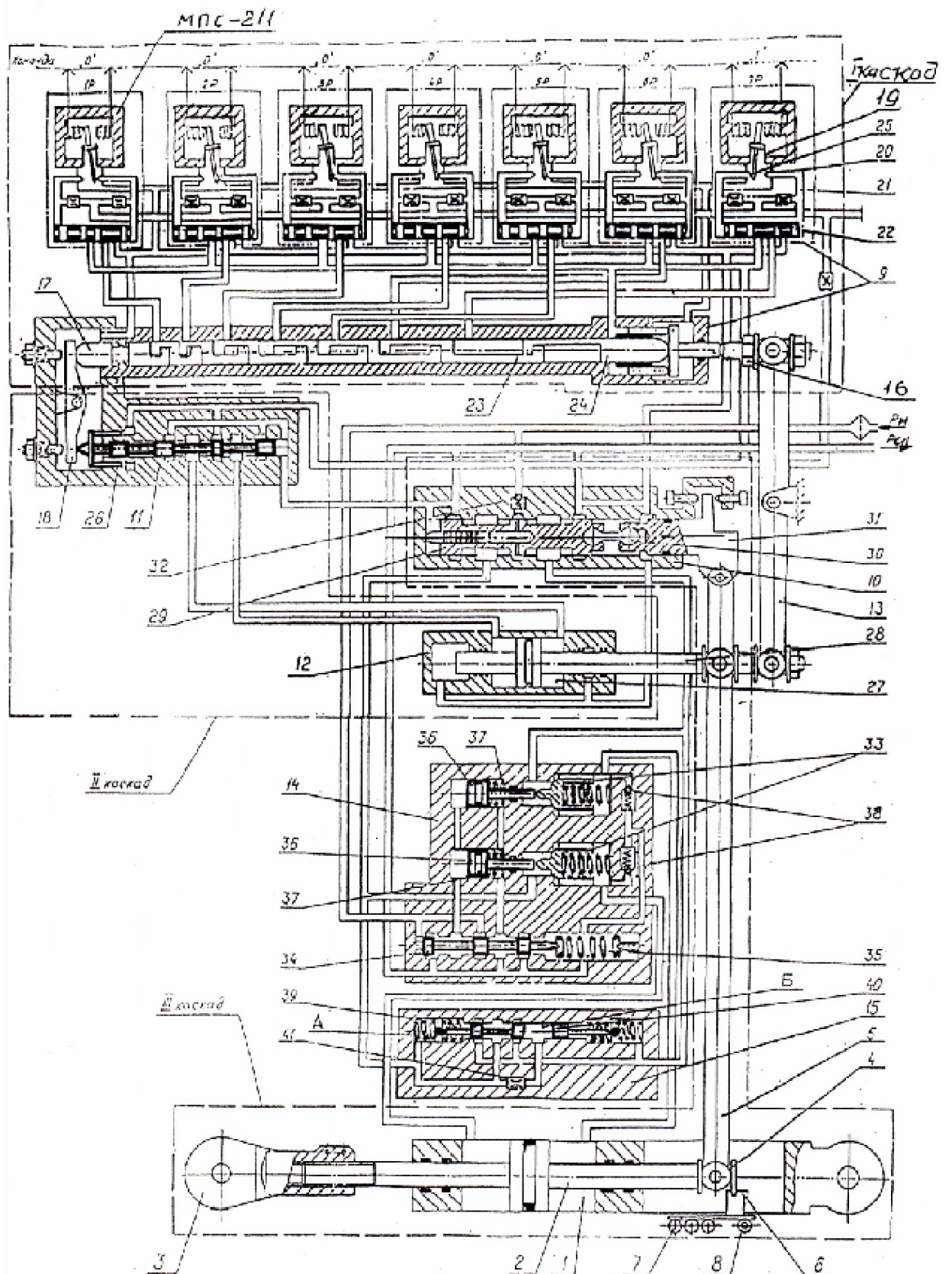


Рис. 13. Принципиальная электрогидравлическая схема рулевого привода

При резких изменениях направления движения штока 2 гидроцилиндра или рывках и ударах, действующих со стороны ЖРД, возникают перепады давления в полостях гидроцилиндра. Для их устранения, а также для увеличения запасов устойчивости и демпфирования РП установлен блок динамической коррекции (БДК) 15, который каналами соединен с полостями гидроцилиндра. БДК (рис. 14) состоит из корпуса, гильзы (на рисунке не выделены), двухкромочного золотника 3, плунжера 4, дросселя 2, двух фильтров 1.

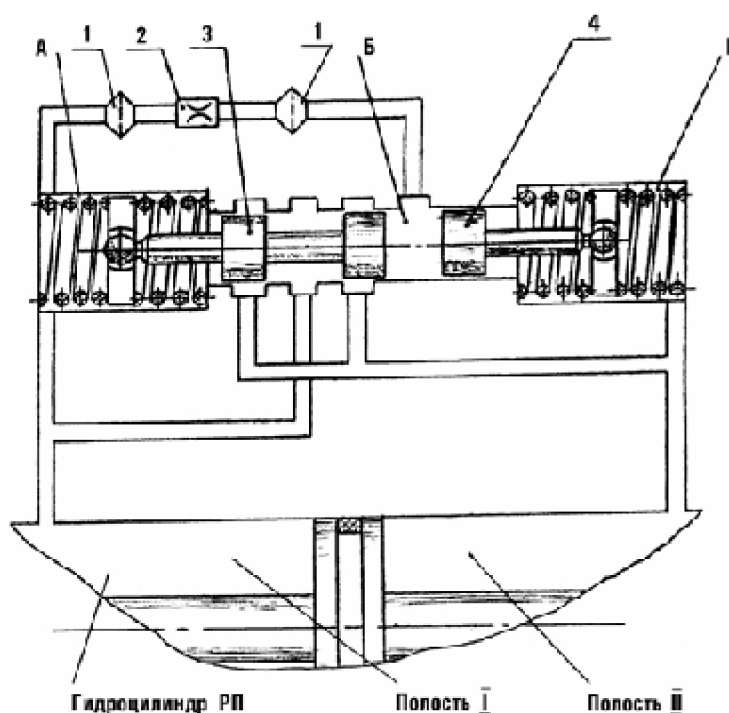


Рис. 14. Гидравлическая схема блока динамической коррекции

В исходном положении золотник 3 находится в нейтральном положении, разобщая полости I и II гидроцилиндра. При резком повышении давления в полости I гидроцилиндра создается перепад давлений рабочей жидкости между полостями А и Б, так как рабочая жидкость не успевает пройти через дроссель 2 в полость Б.

Золотник 3 под действием силы, возникающей от разности давлений в полостях А и Б, смещается вправо, сжимая пружину и осуществляя шунтирование полостей гидроцилиндра. Одновременно рабочая жидкость

постепенно перетекает через дроссель 2 в полость Б, выравнивая давление в полостях А и Б, а золотник 3 под действием пружины возвращается в исходное положение. Плунжер 4 под действием силы, возникающей от разности давлений в полостях Б и В, перемещается вправо.

В статическом режиме, т.е. при медленном перепаде давлений в полостях гидроцилиндра, дроссель 2 успевает перепускать рабочую жидкость для выравнивания давлений в полостях А и Б, поэтому золотник 3 находится в среднем положении, а перемещаться будет только плунжер 4, сжимая при этом одну из пружин.

При резком повышении давления в полости II гидроцилиндра создается перепад давлений рабочей жидкости между полостями В и Б. Под действием силы, возникающей от разности давлений, плунжер 4 перемещается влево, сжимая пружину и жидкость в полости Б. Рабочая жидкость не успевает пройти через дроссель 2 в полость А, поэтому под действием силы, возникающей от разности давлений в полостях Б и А, золотник 3 перемещается влево, сжимая пружину и осуществляя шунтирование полостей гидроцилиндра.

Одновременно рабочая жидкость постепенно перетекает через дроссель 2 в полость А, выравнивая давление в полостях Б и А, а золотник 3 под действием пружины возвращается в исходное положение.

Так БДК работает при резком повышении давления в полостях гидроцилиндра. При колебаниях инерционного объекта – двигателя блока РН происходит многократная смена давлений в полостях гидроцилиндра, поэтому БДК отслеживает эту смену давлений, а золотник и плунжер совершают колебательные движения, частота которых равна частоте колебаний инерционного объекта.

6 Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен включать описание принципов управления полетом ракеты-носителя, схемы управления вектором тяги

двигателей, состав системы рулевых приводов двигателей ракеты, назначение и устройство агрегата гидравлического питания, кратко устройство и принцип действия турбопривода, принцип действия цифро-аналогового преобразователя рулевого привода, назначение и принцип действия блока динамической коррекции рулевого привода.

7 Вопросы для проверки знаний по системе рулевых приводов ЖРД РН «Энергия»

1. По каким осям происходит стабилизация РН в полете?
2. На каких принципах построены системы, поддерживающие заданную траекторию полета РН?
3. Каким образом осуществляется управление полетом 2-ой ступени РН «Энергия»?
4. Назначение и состав (по основным агрегатам) системы рулевых приводов центрального блока РН «Энергия».
5. Последовательность функционирования системы рулевых приводов.
6. Назначение и устройство АГП.
7. Назначение, устройство и действие бака-аккумулятора АГП.
8. Устройство и принцип действия турбопривода.
9. Источники энергии в СРП при наземных испытаниях и штатной работе системы.
10. Основные технические характеристики системы рулевых приводов.
11. Устройство и принцип действия рулевого привода.
12. Устройство и принцип действия цифро-аналогового преобразователя рулевого привода.
13. Назначение и принцип действия гидрозамка рулевого привода.
14. Назначение и принцип действия блока динамической коррекции рулевого привода.

Список использованных источников

1. Система рулевых приводов жидкостных ракетных двигателей ракеты-носителя «Энергия» : метод. указания к лаб. работе по изучению состава, принципа действия и конструкции агрегатов / Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева; авторы-сост.: С. А. Петренко, В. Д. Варивода, А. Г. Гимадиев.- Самара, 2000. - 60 с.
2. Петренко, С. А. Системы аэрокосмических аппаратов [Текст] : учеб. пособие / С. А. Петренко, А. Г. Гимадиев, А. Н. Нечаев; Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева, Волж. КБ Ракет.-косм. корпорации "Энергия" им. С. П. Королева. - Самара, 2000. - 174 с.