

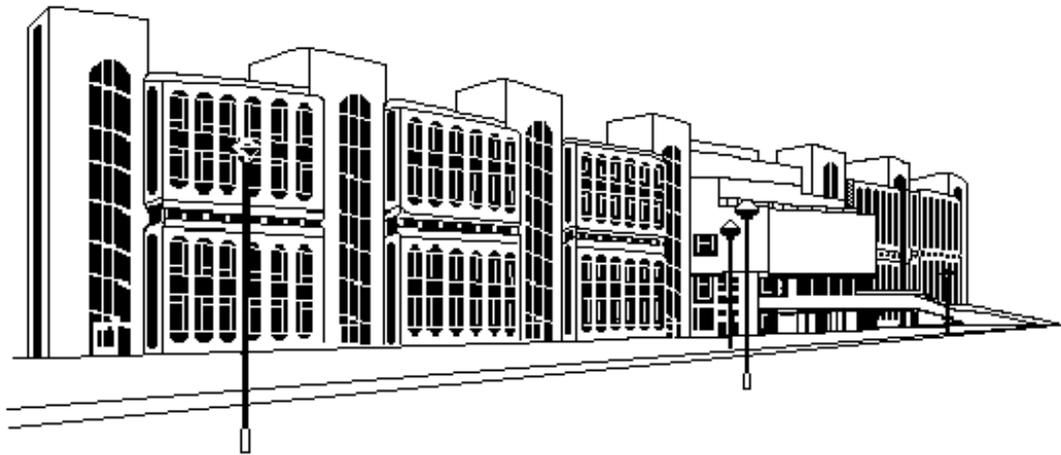
**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

---

Ю.В. Петров

# **СИСТЕМЫ ВЕРТОЛЕТА И ДВИГАТЕЛЯ**

## **ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВЕРТОЛЕТА**



Москва - 2015

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

---

**Кафедра технической механики и инженерной графики  
Ю.В. Петров**

## **СИСТЕМЫ ВЕРТОЛЕТА И ДВИГАТЕЛЯ**

### **ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВЕРТОЛЕТА**

Тексты лекций

**Москва – 2015**

УДК 531/34:629.735(075.8)

ББК 0563.11

ПЗ1

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Московского государственного технического университета ГА  
Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Б.С. Крицкий (ГНЦ ФГУП «ЦАГИ  
им. проф. Н.Е. Жуковского»);  
д-р техн. наук, проф. В.Г. Ципенко (МГТУ ГА)  
Петров Ю.В.

ПЗ1

Системы вертолета и двигателя. Гидравлическая система вертолета:  
тексты лекций. - М.: МГТУ ГА, 2015. - 68 с., 34 рис., 2 табл.  
ISBN 978-5-86311-984-7

В текстах лекций рассмотрены общие вопросы проектирования,  
конструкции и работы гидравлических систем вертолетов. Приводится  
сравнительный анализ энергетических систем вертолета, определяется место  
гидравлических систем в общей совокупности функциональных систем ЛА.  
Описывается принцип действия гидравлических систем, современные  
подходы к их проектированию и формулируются основные направления  
развития гидравлических систем.

На примере гидравлических систем современных отечественных  
вертолетов типа Ми-8(17) и Ка-32 рассматривается назначение, конструкция  
и работа блоков питания и функциональных подсистем. Анализируются  
особенности гидросистем современных самолетов и их отличия от систем  
вертолетов. В текстах лекций рассмотрены также вопросы назначения,  
конструкции и работы типовых агрегатов гидросистем современных  
вертолетов: гидробак, гидроаккумулятор, приводной гидронасос, фильтр,  
влажнотделитель, предохранительный клапан и др.

Тексты лекций издаются в соответствии с рабочей программой  
учебной дисциплины «Системы вертолета и двигателя» по Учебному плану  
направления 25.03.01 для студентов IV курса всех форм обучения.

Рассмотрены и одобрены на заседаниях кафедры 28.04.2015 и  
методического совета 12.05.2015.

ББК 0563.11

Св. тем. план 2015 г.

поз. 25

ПЕТРОВ Юрий Владимирович  
СИСТЕМЫ ВЕРТОЛЕТА И ДВИГАТЕЛЯ  
ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВЕРТОЛЕТА  
Тексты лекций

---

Подписано в печать 29.06.15 г.

Печать офсетная  
8,5 усл.печ.л.

Формат 60x84/16  
Заказ № 12/

5,42 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз.

---

*Московский государственный технический университет ГА*  
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20  
*Редакционно-издательский отдел*  
125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а  
ISBN 978-5-86311-984-7

© Московский государственный  
технический университет ГА, 2015

## **Раздел 1. Гидравлическая система вертолета**

### **Тема 1.1. Сравнительный анализ энергетических систем. Принцип действия гидравлических систем**

#### **1.1.1. Введение**

Дисциплина системы вертолета и двигателя посвящена изучению назначения, конструкции и особенностей функционирования жидкостно-газовых систем (ЖГС) летательных аппаратов (ЛА). Данные системы представляют собой сложную совокупность гидравлических, пневматических, механических и электрических устройств, обеспечивающих выполнение заданных функций. На современном ЛА жидкостно-газовые системы обеспечивают выполнение следующих основных функций:

- управление ЛА;
- управление взлетно-посадочными устройствами;
- уборка и выпуск шасси;
- управление движением ЛА по аэродрому;
- размещение и бесперебойная подача топлива к двигателям на всех этапах эксплуатации ЛА;
- обеспечение жизнедеятельности экипажа и пассажиров в полете и на земле;
- предотвращение обледенения элементов конструкции и агрегатов ЛА;
- противопожарная защита и др.

К жидкостно-газовым системам ЛА относятся следующие системы:

- гидравлические системы (ГС);
- топливные системы (ТС);
- системы кондиционирования воздуха (СКВ) и автоматического регулирования давления (САРД) в гермокабине ЛА;
- противопожарные системы (ППС);
- противообледенительные системы (ПОС) и др.

Перечисленные системы объединяет то, что рабочее тело в них – жидкость или газ. Физические процессы, протекающие в ЖГС, и описывающий данные процессы математический аппарат рассмотрены в дисциплине гидравлика. Особое внимание при изучении ЖГС уделяется гидравлическим системам, так как они обеспечивают выполнение наибольшего числа жизненно важных функций на ЛА.

#### **1.1.2. Сравнительный анализ энергетических систем**

На этапе проектирования ЛА возникает задача рационального выбора вида внешних независимых источников энергии ЛА (рис. 1) при создании системы, приводящей в движение исполнительные механизмы. ЖГС может использовать одновременно несколько независимых источников энергии, что позволяет обеспечить необходимое резервирование в системе и получить заданный уровень надежности. Так, гидравлическая система может использовать:

- непосредственно энергию двигателей за счет установки приводных (от коробки приводов двигателя, главного редуктора) гидравлических насосов;
- энергию вспомогательной силовой установки (ВСУ) при установке приводного гидронасоса на ВСУ;
- бортовую электроэнергию, обеспечивающую работу электроприводных гидронасосов (насосных станций);
- электроэнергию аккумуляторных батарей, обеспечивающую работу электроприводных гидронасосов (насосных станций) постоянного тока;
- энергию набегающего потока путем установки гидронасоса с приводом от ветродвигателя.

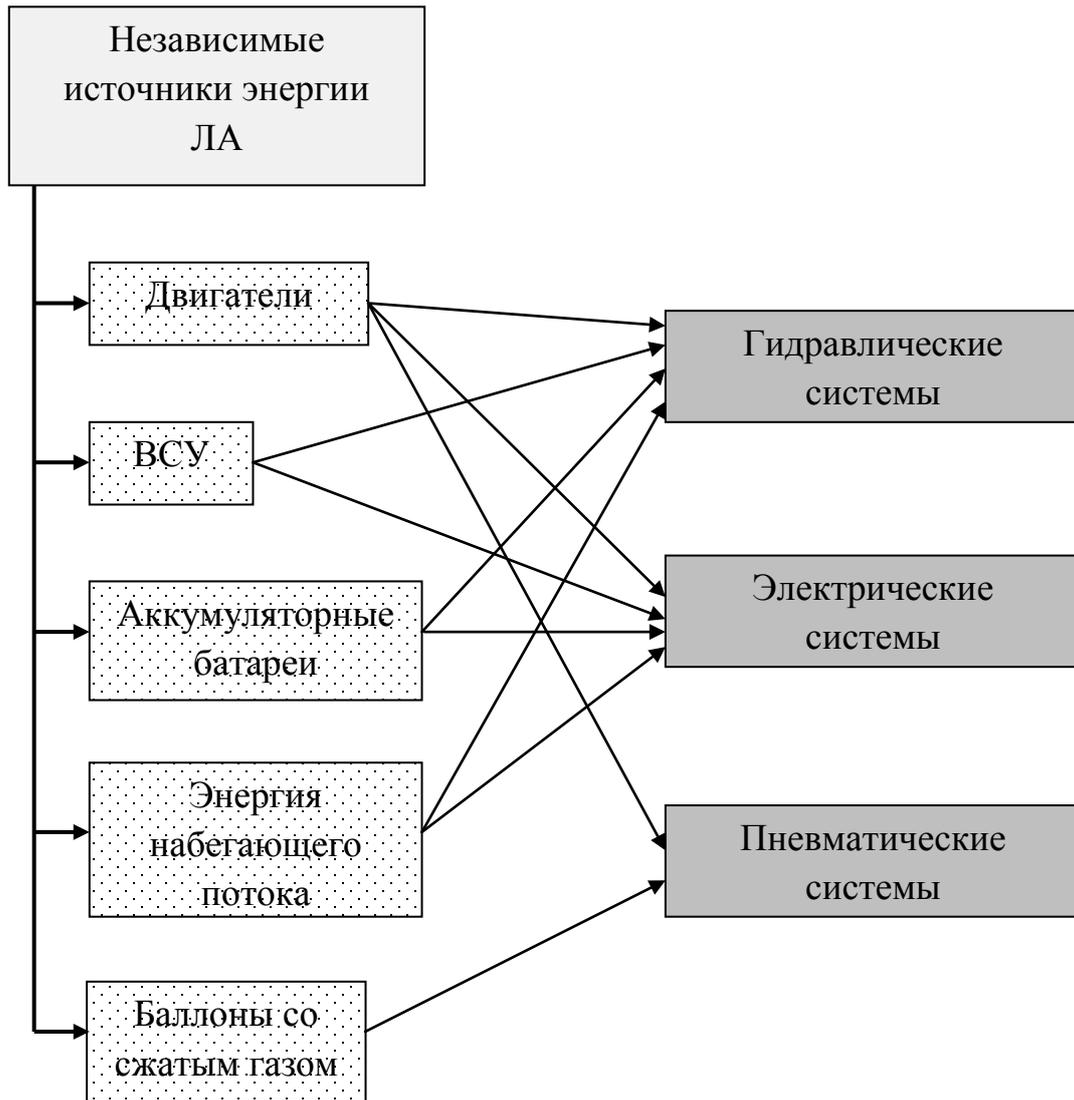


Рис. 1. Независимые источники энергии ЛА

Системы (гидравлическая, электрическая, пневматическая и др.), для функционирования которых необходимо наличие внешнего источника энергии называются энергетическими.

Следует подчеркнуть, что современные системы обеспечения функционирования ЛА обычно смешанного типа: гидравлические с элементами пневматики (дренаж и наддув, привод турбонасосных установок и др.) и электрическими подсистемами (например, измерения и индикация параметров, передачи управляющего сигнала и др.); электромеханические; пневматические с электрическими подсистемами. Однако в качестве основы классификации таких систем будем рассматривать основное рабочее тело, используемое для обеспечения их функционирования. Например, в гидравлических системах основным источником энергии является приводной гидронасос, который создает давление гидравлической жидкости, используемое для обеспечения работы исполнительных устройств.

Для правильного выбора типа ЖГС при решении конкретных задач необходимо провести сравнительный анализ характеристик указанных энергетических систем.

### ***Гидросистема***

#### **Преимущества:**

- высокая массовая эффективность, особенно для резервированных гидроприводов в системе управления, так как резервирование обеспечивается установкой двух, трех или четырех гидроприводов, работающих совместно. Масса ГС составляет всего 1–2% взлетной массы современных ЛА;
- широкий диапазон бесступенчатого регулирования скорости выходного звена (например, диапазон регулирования частоты вращения гидромотора может составлять от 30-40 об/мин до 2500 об/мин, а в некоторых случаях, у гидромоторов специального исполнения, составляет 1-4 об/мин, что для электромоторов трудно реализуемо);
- самосмазываемость трущихся поверхностей при применении минеральных и синтетических масел в качестве рабочих жидкостей;
- гидравлические силовые приводы при передаче больших мощностей с выходными скоростями, потребными для перемещения рулевых поверхностей, конструктивно значительно проще электромеханических;
- высокий уровень надежности;
- жесткость нагрузочных характеристик, т.е. скорость движения выходного звена изменяется в ограниченных пределах при изменении величины нагрузки;
- точностью позиционирования, т.е. достаточно простая (с учетом практической несжимаемости рабочего тела) конструктивная реализация промежуточных положений исполнительных устройств;
- простота осуществления различных видов движения — поступательного, вращательного, поворотного;
- возможность частых и быстрых переключений при возвратно-поступательных и вращательных прямых и реверсивных движениях.

#### **Недостатки:**

- нестабильность характеристик рабочей жидкости при изменении температуры и механических воздействиях;
- сложность в обеспечении внутренней и внешней герметичности;
- необходимость фильтрации рабочей жидкости;
- пожароопасность;
- необходимость защиты гидросистемы от проникновения в неё воздуха, наличие которого приводит к нестабильной работе гидропривода, большим гидравлическим потерям и нагреву рабочей жидкости;
- сложность эффективной передачи гидравлической энергии на большие расстояния вследствие больших гидравлических потерь.

### ***Электрическая система***

#### **Преимущества:**

- самая высокая (из рассматриваемых систем) скорость передачи информационного импульса  $3 \cdot 10^3$  м/с (для сравнения у ГС -  $1 \cdot 10^3$  м/с);
- системы удобны при монтаже и обслуживании, имеют достаточно высокий общий КПД;
- данные системы используются как системы малых мощностей (до 3,5 – 4 кВт), когда не играют существенной роли инерционность и жесткость характеристик (например, аварийные системы, дистанционное управление другими подсистемами).

#### **Недостатки:**

- для электропривода с двукратным резервированием необходимы редукторы, сумматоры момента, стопоры отказавшего двигателя, пара "винт-гайка". Это увеличивает массу системы в 3–5 раз по сравнению с аналогичной по характеристикам ГС;

- большая инерционность (т.е. велико время выхода на режим и остановки привода после отключения питания, ограничены предельные угловые скорости при разгоне);
- недостаточная жёсткость характеристик системы, т.е. значительное падение скорости выходного звена при увеличении нагрузки;
- меньшая по сравнению с гидравлическими системами надёжность, силовая напряжённость и точность позиционирования.

### ***Пневматические системы***

#### **Преимущества:**

- сравнительно высокая массовая отдача;
- пожаробезопасность (рабочее тело – воздух, азот);
- характеристики рабочего тела незначительно меняются с изменением его температуры;
- развивают большую разовую мощность.

#### **Недостатки:**

- трудность фиксации промежуточных положений;
- ударный характер работы в конце хода;
- запаздывание в передаче энергии;
- сложность герметизации;
- образование конденсата.

Пневматические системы используются в основном как аварийные, системы малых мощностей и при разовых кратковременных воздействиях.

Таким образом, проведенный анализ показал, что гидравлические системы объективно доминируют на ЛА. Они работают совместно с электрическими управляющими устройствами и пневматическими аварийными системами. Очевидно, что с изменением уровня развития техники будут меняться и сами системы, и области их применения.

### **Основные направления совершенствования ГС**

Одним из основных направлений улучшения массовых и объемных характеристик гидросистем является *переход на повышенные уровни рабочих давлений*. Существуют оптимальные уровни рабочих давлений, при которых минимизируются масса и объем агрегатов гидросистем. Эти уровни для конструкционных материалов с повышенными характеристиками находятся в пределах 40–50 МПа (при минимизации массы) и 40–80 МПа (при минимизации объемов). Именно на такие уровни номинального рабочего давления проектируются перспективные гидросистемы. Перспективные гидросистемы будут работать при переменном (в зависимости от потребностей подсистем) рабочем давлении.

Стендовыми и летными испытаниями гидросистем управления ЛА подтвержден принцип *целесообразности использования перегрузочных режимов работы силовых приводов* на повышенных (по сравнению с установленными максимальными эксплуатационными уровнями) рабочих давлениях. Широкое внедрение этого принципа в практику проектирования гидросистем позволит существенно уменьшить их массу, объем, потребляемые мощности.

*Создание ряда новых гидроприводов (например, вращательного типа)* с учетом особенностей их компоновки (необходимость вписаться в объем крыла, располагая привод по оси поворота рулевой поверхности) позволяет превзойти наиболее распространенные приводы линейного возвратно-поступательного типа (гидроцилиндр) по массовым и габаритным характеристикам. В таком моментном гидроцилиндре, называемом также квадрантом, вал совершает возвратно-поворотное движение.

*Использование микропроцессоров для управления* режимами работы как гидронасосов, так и гидроприводов позволяет оптимизировать их работу, уменьшить массу, объем, потребляемые мощности.

Одной из основных причин отказов гидросистем является внешняя негерметичность трубопроводной системы. Для решения данной проблемы при повышении рабочего давления в проектируемых гидросистемах весьма перспективным является *создание гидроприводов, в которых силовой гидроцилиндр имеет собственный встроенный гидробак, гидронасос и гидроаккумулятор* (автономная рулевая машина, типа АРМ). Такой гидропривод полностью автономен, получает энергию от электросети самолета, что позволяет отказаться от централизованной гидравлической системы и передачи жидкости под высоким давлением по трубопроводам.

Знакопеременный характер нагрузок на аэродинамические управляющие поверхности ЛА определяет целесообразность установки *рекуператоров энергии* (от лат. recuperator – снова получающий, возвращающий) в электромеханических и гидромеханических силовых приводах. Гидроприводы, например, могут работать в режимах рекуперации энергии в гидрогазовых аккумуляторах при оснащении их дополнительными устройствами управления.

Структуры всех энергетических систем аналогичны. В качестве примера рассмотрим структурную схему ГС, приведенную на рис. 2. Основным независимым источником энергии на ЛА является двигатель, преобразующий химическую энергию, находящегося на борту топлива, в тепловую и механическую (вращение турбины и компрессора).

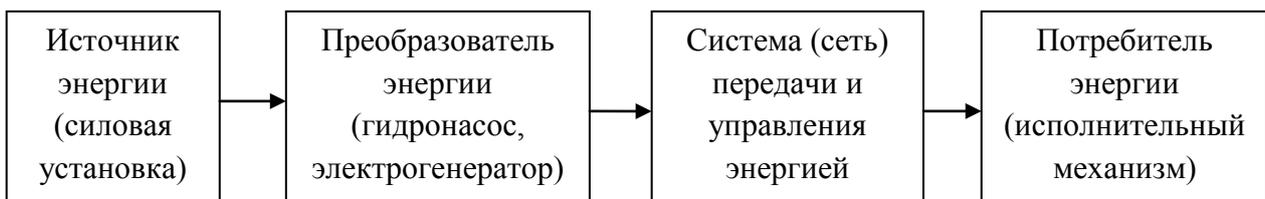


Рис. 2. Структурная схема гидравлической системы

Отбирая с помощью механической трансмиссии часть энергии от двигателя на электрогенератор, гидронасос или пневматический компрессор, получают электрическую, гидравлическую или пневматическую энергии, соответственно. Пневматическую энергию (энергию сжатого газа) можно получить, отбирая часть воздуха от компрессора двигателя, например, в систему СКВ или на наддув гидробаков.

Источниками энергии для работы систем самолета при отказе двигателей могут служить и другие независимые источники энергии: вспомогательная силовая установка; ветродвигатели, работающие от набегающего потока; панели солнечных батарей; всевозможные аккумуляторы энергии (электрические, гидравлические, пневматические, инерционные – например, массивный вращающийся маховик).

### 1.1.3. Принцип действия гидравлической системы. Определения

Гидравлическая система *объемного типа*, т.е. в системе входной элемент – гидроцилиндр с поршнем 1 (рис. 3) связан с выходным гидроцилиндром с поршнем 2 перемещающимися внутри системы по трубопроводу 3 объемами жидкости, в результате чего

$$h_2 = h_1 \cdot d_1^2 / d_2^2,$$

где  $h_1(h_2)$  – соответственно, перемещение поршня 1 (2);

$d_1(d_2)$  – соответственно, диаметр поршня 1 (2).

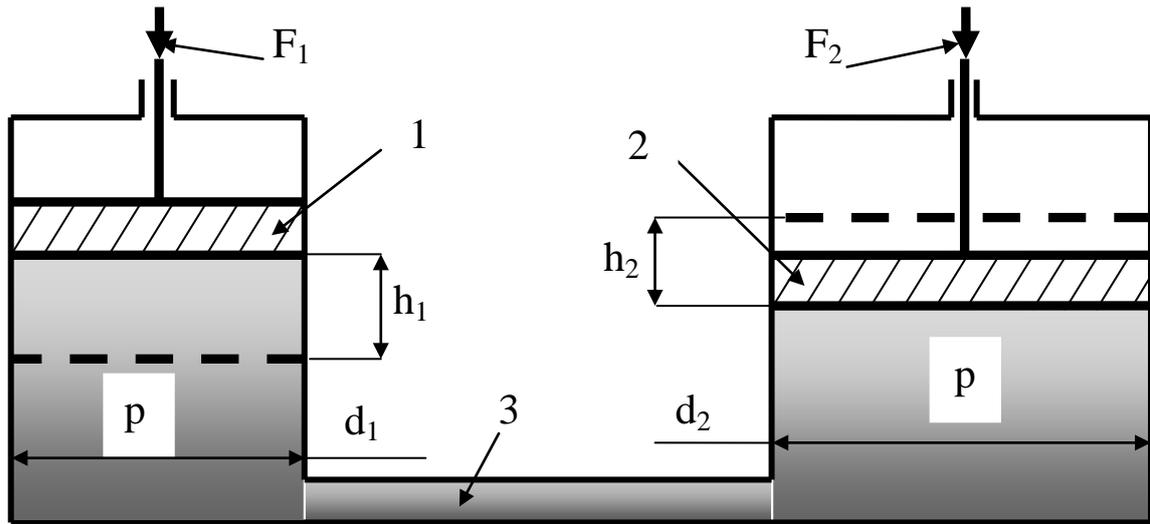


Рис. 3. Схема работы гидросистемы объемного типа, где 1, 2- поршни; 3- трубопровод

Здесь гидроцилиндр с поршнем 1 играет роль насоса, а гидроцилиндр с поршнем 2 - исполнительного устройства. Как известно из курса гидравлики, давление за насосом определяется величиной нагрузки и сопротивлением сети. Без учёта потерь энергии в сети имеем ( $p$  – давление;  $F_{1(2)}$ - усилие на поршне 1 (2), соответственно)

$$p = 4F_2 / \pi d_2^2, \quad F_1 = p \pi d_1^2 / 4, \quad F_1 = F_2 \frac{d_1^2}{d_2^2}.$$

В случае несжимаемой жидкости объём  $W$ , вышедший из гидроцилиндра 1, перемещается в гидроцилиндр 2 и расход  $Q$  определяется следующим образом ( $V_1, V_2$  – скорость перемещения поршня 1 (2),  $t$ - время)

$$Q = W / t = V_1 \pi d_1^2 / 4 = V_2 \pi d_2^2 / 4; \quad V_2 = 4Q / \pi d_2^2.$$

Структурно гидравлическая система ЛА состоит из следующих элементов:

- источников энергии;
- коммуникаций - трубопроводов с гидравлическими агрегатами управления, контроля и регулирования;
- потребителей, т.е. исполнительных механизмов, непосредственно связанных с объектом управления.

Система управляется или от сигналов пилота, или автоматической системы управления.

Типовая гидравлическая система ЛА состоит из блоков питания (блоков источников энергии) и функциональных подсистем. *Блок питания* содержит насосы, создающие давление в системе, гидробаки для размещения рабочей жидкости, фильтры и другие необходимые гидравлические агрегаты. *Функциональные подсистемы* – это части гидравлической системы, обслуживающие конкретных потребителей (исполнительные устройства). Функциональные подсистемы подключаются к блокам питания через клапаны включения-отключения.

**По наличию контакта рабочей жидкости в гидробаке с газом (воздухом) или отсутствием такового, системы делятся на:**

- *системы открытого типа*, когда есть непосредственный контакт жидкости с воздухом, например, наддув гидробаков осуществляется от системы СКВ ЛА;
- *системы закрытого типа*, когда контакта жидкости с воздухом (газом) нет;
- *системы полужакрытого типа*, когда объём над жидкостью в баке заполнен инертным газом (азотом). Примером такой системы может служить гидросистема самолёта Ту-144, находящаяся в сложных температурных условиях из-за аэродинамического нагрева. Системой полужакрытого типа является также гидросистема самолёта Ту-204 по основной системе наддува. Азот снижает пожароопасность ГС. Гидравлические системы вертолетов обычно открытого типа, что упрощает конструкцию системы наддува и снижает вес.

**Гидросистема может быть централизованной, обслуживающей ряд потребителей, или автономной – обслуживающей одного потребителя.**

**Гидросистемы также могут быть:**

- *основными*, обслуживающими потребителей в штатных условиях полёта;
- *резервными*, работающими как основная и имеющими возможность при необходимости подключаться к другим потребителям;
- *аварийными*, работающими лишь в аварийных ситуациях.

**Для обеспечения надёжности и безопасности полётов в нормальных условиях ряд гидросистем могут одновременно обслуживать одних и тех же потребителей. Такие гидросистемы называются кратными.**

Источниками гидравлической энергии на ЛА являются гидронасосы. В настоящее время отработаны, выпускаются серийно и эксплуатируются насосы с удельной подачей от 2 до 56 см<sup>3</sup>/об, выходным давлением до 280 кгс/см<sup>2</sup>, частотами вращения до 12000 об/мин, мощностью до 160 кВт и подачей до 350 л/мин. КПД насосов достигают: объёмный – 0,97, общий – 0,8, энергоотдача – 7 кВт/кгс, ресурсы – десятки тысяч часов для гражданских летательных аппаратов. Сравнительный анализ российских гидромашин и зарубежных (Vickers, Parker and Abex и др.) показывает, что отечественные насосы и их зарубежные аналоги находятся практически на одном техническом уровне.

#### **1.1.4. Рабочие жидкости гидравлических систем**

Рабочими телами гидравлических систем являются жидкости. С развитием техники растут мощности, повышается температурный режим, ужесточаются условия эксплуатации жидкости. Рабочие жидкости современных ЛА должны удовлетворять следующим требованиям:

- вязкость должна незначительно изменяться с изменением температуры;
- обладать хорошими смазывающими свойствами;
- не изменять структуру при механических воздействиях и высоких температурах;
- иметь малую упругость насыщенных паров;
- обладать высокой температурой кипения и воспламенения.

На самолётах старшего поколения и отечественных вертолетах используется жидкость АМГ-10 (авиационная минеральная гидросмесь) и ее модификации. С повышением требований к рабочим телам стали разрабатываться другие жидкости. На самолётах типа Ил-86, Ил-96 применяются жидкости НГЖ-4, НГЖ-5У (негорючая гидрожидкость), а для сверхзвукового самолёта Ту-144 была разработана гидрожидкость 7-50С-3.

**АМГ-10** представляет собой очищенную смесь лёгкой фракции нефти типа керосина с антиокислителем нафтолом и загустителем виниполом, добавляемым для увеличения вязкости и стабилизации её по температуре. Гидрожидкость окрашена органическим красителем в **красный цвет** для опознавания и выявления утечек. Загуститель винипол, как и другие присадки, увеличивающие вязкость, имеет длинные углеводородные цепочки, которые разрушаются при многократном продавливании жидкости через малые зазоры,

отверстия и значительном воздействии давления в парах трения. Из-за деструкции молекул вязкость жидкости уменьшается и ухудшаются смазывающие свойства. В связи с этим была разработана жидкость АМГ-10Б, обладающая повышенной механической стабильностью.

Для работы с жидкостью АМГ-10(Б) уплотнения должны быть выполнены из резины ИРП-1078. Если уплотнения будут сделаны из резины другой марки, то они будут её впитывать и разбухать. Хранить жидкость АМГ-10(Б) в заводской таре следует не более двух лет. При более длительном хранении из неё выпадают смолы.

**НГЖ-4** представляет собой смесь фосфорорганических эфиров с загустителем и специальными присадками. Она **фиолетового цвета**, гигроскопична, имеет низкую гидролитическую стабильность, но не вызывает коррозии металлов и покрытий при содержании влаги до 0,5% массы. Медленно горит и гаснет при удалении пламени, т.е. пламя в данной гидрожидкости не распространяется. При контакте с воздухом возможна деструкция и частичный гидролиз компонентов с выделением спиртов и образованием кислых фосфорорганических эфиров, которые постепенно накапливаются в системе. Поэтому желательно полости над свободной поверхностью в баке заполнять азотом.

При работе с жидкостью НГЖ-4 уплотнения должны быть сделаны из резины марок ИРП-1375, ИРП-1376, ИРП-1377 и 51-1524НТА. Необходимо использовать специальные покрытия, эмали, клеи и пластмассы. НГЖ-4 агрессивна к оргстеклам и вызывает коррозию свинца, меди и фосфатного покрытия. По степени токсичности НГЖ-4 относят ко второму классу, поэтому обслуживающий персонал должен быть в спецодежде. В случае выброса жидкости следует включить вентиляцию и покинуть помещение; отсек с утечкой должен быть продут сжатым воздухом, а через 15-20 минут остатки рабочего тела необходимо убрать ветошью, поместить её затем в специальную закрытую металлическую тару. Если жидкость попала на кожу, её необходимо промыть с мылом или раствором специального порошка. Заправку НГЖ-4 следует производить специальным заправщиком УПГ-300НГЖ. Использовать УПГ-300, работающий с АМГ-10, запрещается. Гарантийный срок хранения НГЖ-4 - 5 лет. В настоящее время используется новая модификация жидкости **НГЖ-5У**.

Полисилоксановая жидкость **7-50С-3** имеет ещё больший диапазон рабочих температур. Она **желтого цвета**, имеет также антиокислительные и противоизносные присадки, но не содержит загустителя, поэтому при эксплуатации её вязкость практически не меняется. Она имеет малую упругость насыщенных паров и устойчива к окислению, но больше чем АМГ-10 растворяет воздух, легко гидролизуется и с повышением температуры у неё ухудшаются износные свойства. В контакте с гидрожидкостью 7-50С-3 не должны применяться медные, кадмиевые и фосфатные покрытия.

На международных авиалиниях гидросистемы отечественных самолетов могут заполняться зарубежными жидкостями. Аналогом АМГ-10 является жидкость **MIL-H-5606** (США). Её показатели практически не отличаются от показателей АМГ-10, но при положительных и отрицательных температурах она имеет несколько более высокую вязкость. С целью повышения противопожарных характеристик была разработана жидкость на основе синтетических углеводородов - **MIL-H-83282**. Она полностью совместима с жидкостями типа MIL-H-5606. Все физические свойства MIL-H-83282 (в настоящее время - MIL-PRF-83282) аналогичны или превосходят свойства MIL-H-5606 (в настоящее время - MIL-PRF-5606), за исключением низкотемпературной вязкости. Широко применяется также минеральное масло **AeroShell Fluid 41**. Оно предназначено для использования во всех гидросистемах современной авиационной техники, требующих жидкостей на минеральной основе. В частности, AeroShell Fluid 41 рекомендуется применять там, где использование «сверхчистой» жидкости может повысить надежность работы систем. Продукт работоспособен в диапазоне температур от -54<sup>0</sup>С до +90<sup>0</sup>С в обычных системах и от -54<sup>0</sup>С до +135<sup>0</sup>С в гидросистемах с наддувом. Жидкость AeroShell Fluid 41 красного цвета.

Аналогом НГЖ-4 является жидкость Скайдрол 500А (**пурпурного цвета**) и Скайдрол 500В (**фиолетового цвета**), имеющие антикавитационные присадки. В настоящее время их модификация - гидравлическая жидкость **Скайдрол LD-4** внедрена в эксплуатацию в отечественных авиакомпаниях, в том числе и на отечественных самолетах типа Ил-96, Ту-204, Ту-214, Суперджет 100 и др. Гидравлическая жидкость Скайдрол LD-4 производства фирмы Solutia Inc.(США) на основе фосфатных эфиров представляет собой зарубежный аналог гидрожидкости НГЖ-5У. Взаимная дозаправка жидкостей Скайдрол LD-4 и НГЖ-5У допустима в любых пропорциях. Скайдрол LD-4 обладает высокой термической стабильностью и эрозионной стойкостью, совместима с резинами. Срок годности в таре поставщика при соблюдении условий хранения - 10 лет.

Основные характеристики жидкостей, применяемых на современных гражданских воздушных судах, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметр	Марка жидкости				
	7-50С-3	АМГ-10	Aero Shell Fluid 41	НГЖ-4 (НГЖ-5у)	Скайдрол LD-4
Общая характеристика, состав	Синтетическое, смесь полисилоксановой ж-ти и органического эфира	Минеральное, лёгкие фракции нефти типа керосина	Минеральное, лёгкие фракции нефти типа керосина	Синтетическое, смесь фосфорорганических эфиров	Синтетическое, смесь фосфорорганических эфиров
Цвет	Желтый	Красный	Красный	Фиолетовый	Пурпурный
Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup>	0,93-0,94	0,85-0,93	0,87	1,06	1,01
Кинематическая вязкость, 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с при температуре					
-50°С	1200-1280	1100-1390	2300	1664	-
-40 °С	-	-	491	-	-
50 °С	10-10,5	10,5-11,3	14,1(40 °С)	9,14	11 (38 °С)
100 °С	3,5-4,0	4,4-4,6	5,3	3,79	3,66-4,0
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	182-200	91-105	105	177	160
Температура застывания, °С	-70	-70	-60	-70	-70

### 1.1.5. Фильтрация гидрожидкости

Одним из недостатков гидравлических систем являются высокие требования к чистоте гидрожидкости. Зазор между гильзой и золотником в распределительном устройстве гидроусилителя может составлять 2-4 микрона. Для предотвращения отказов ГС в процессе эксплуатации жидкость в системах тщательно фильтруется.

Загрязнениями становятся:

- продукты износа деталей элементов систем;
- продукты окисления и других физико-химических процессов, происходящих в жидкости;

- частицы, попадающие извне, в том числе при замене агрегатов, подсоединении наземного источника энергии и т.п.

В процессе эксплуатации уровень загрязненности сначала растет, а затем стабилизируется. Вопросы фильтрации были рассмотрены в курсе гидравлики. Фильтроэлементы подразделяются на регенерируемые и одноразовые. К одноразовым относятся фильтроэлементы, использующие неорганическое стекловолокно и бумагу. К регенерируемым: металлическая сетка и волокно из нержавеющей стали. Элементы из металлической сетки можно вымачивать в специальных растворах и продувать сжатым воздухом. Такой фильтрующий элемент можно использовать до 10 раз. Однако у этой способности есть и обратная сторона - такие элементы неэффективны при потребной фильтрации 25 мкм и меньше. Металлическое волокно способно отсеивать частицы от 3 мкм, однако процесс его регенерации более сложный: необходима ультразвуковая ванна со специальным раствором и компрессор. За счёт возможности регенерации, эти элементы более дорогостоящие, нежели одноразовые.

По мере наработки фильтры засоряются, перепад давления на фильтрующем элементе возрастает, что может привести к разрушению сетки фильтра и отфильтрованные загрязнения при этом поступают в систему. Поэтому фильтры снабжаются перепускными клапанами, срабатывающими при увеличении перепада давления на фильтрующем элементе. На ЛА нового поколения при увеличении перепада давления на фильтре срабатывает сигнализатор и на панели гидросистемы загорается табло «Фильтр засорен». Для обеспечения удобства эксплуатации фильтры снабжаются отсечными клапанами, что позволяет демонтировать фильтр без слива рабочей жидкости из системы.

В гидравлических системах фильтры устанавливаются в линиях нагнетания за насосами, перед приводами системы, в самих приводах и в линии слива перед входом в гидробак. В линии всасывания фильтры не устанавливаются, т.к. они понизили бы и без того достаточно низкое давление в этой линии. Для компенсации потерь на фильтрацию в линии всасывания необходимо было бы повысить давление наддува баков, что приведет к увеличению массы системы.

В линии наддува баков устанавливаются воздушные фильтры. Имеются сеточные фильтры и в баке на входе в трубопровод всасывания и на заливной горловине. Заправка жидкости в бак должна производиться от наземной установки, имеющей свои фильтры. Заправка через заливную горловину является нежелательной. Фильтры могут также устанавливаться в линии заправки от УПГ-300 (300НГЖ), т.е. в линии от бортовых клапанов всасывания и нагнетания, к которым подсоединяется наземная установка, до гидробака. Фильтр считается фильтром грубой очистки, если он задерживает частицы размером свыше 10 мкм, и считается фильтром тонкой очистки, если размеры задерживаемых частиц меньше 10 мкм.

## **Тема 1.2. Проектирование гидравлических систем. Авиационные правила, часть 29: Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории**

### **1.2.1. Основные положения норм летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории**

Гидравлические системы современных ЛА обеспечивают работу значительного числа потребителей (функциональных подсистем). Они должны обладать высокой надежностью и малой массой, их проектирование представляет собой весьма сложную задачу.

На первом этапе Заказчик формирует основные требования к ЛА и его системам, в которых должны содержаться следующие требования:

- по надежности, обеспечивающей заданный уровень безотказности;
- по обеспечению минимальной массы и объема;
- по применению стандартных агрегатов, давлений, расходов;
- по эксплуатационной технологичности;
- минимальной стоимости и т.п.

На данном этапе определяются потребители системы, т.е. функциональные подсистемы, входящие в гидравлическую систему. Создание ГС ЛА ведется с учетом требований руководящей документации, к которой, прежде всего, относятся Авиационные правила (АП), часть 29 «НОРМЫ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВИНТОКРЫЛЫХ АППАРАТОВ ТРАНСПОРТНОЙ КАТЕГОРИИ».

Приведем в качестве примера некоторые положения этих норм.

«Разделы А, В, С, D, E, F, G, Приложения А, В, С, D по содержанию и нумерации параграфов гармонизированы с соответствующими параграфами Норм летной годности США FAR 29 с поправками, включая 29-47.

#### **29.1. Применимость**

(а) Настоящая часть содержит требования к летной годности, выполнение которых необходимо для выдачи сертификатов типа и дополнений к этим сертификатам для винтокрылых аппаратов транспортной категории

#### **Раздел С - ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЧНОСТИ**

##### **29.301. Нагрузки**

(а) Требования к прочности установлены в терминах эксплуатационных нагрузок (максимальных нагрузок, ожидаемых в эксплуатации) и расчетных нагрузок (эксплуатационных нагрузок, умноженных на заданные коэффициенты безопасности). Если не оговорено иначе, то задаваемые нагрузки и являются эксплуатационными нагрузками.

(b) Если не оговорено иначе, то задаваемые нагрузки в воздухе, на земле и на воде должны уравниваться силами инерции, при этом учитывается масса каждой части винтокрылого аппарата. Нагрузки должны быть распределены так, чтобы это с достаточной точностью или с запасом представляло реальные условия.

(с) Необходимо принять во внимание перераспределение нагрузок в случае, когда деформации под их воздействием значительно изменяют распределение внешних или внутренних нагрузок.

##### **29.303. Коэффициент безопасности**

Если не оговорено иначе, то необходимо использовать коэффициент безопасности, равный 1,5. Этот коэффициент применяется к внешним и инерционным нагрузкам, если его применение к напряжениям не является более надежным.

##### **29.305. Прочность и деформация**

(а) Конструкция должна быть способной выдерживать эксплуатационные нагрузки без возникновения опасной или остаточной деформации. При любых нагрузках, вплоть до эксплуатационных значений, деформация не должна влиять на безопасность эксплуатации.

(b) Конструкция должна быть способной выдерживать расчетные нагрузки без разрушения. Это должно быть показано посредством:

- (1) Приложения к конструкции расчетных нагрузок по меньшей мере в течение 3 секунд при статических испытаниях; или
- (2) Динамических испытаний, имитирующих фактическое воздействие нагрузок.

### **29.1435. Гидравлические системы**

**(а) Конструкция.** Каждая гидравлическая система должна быть сконструирована следующим образом:

(1) каждый элемент гидравлической системы должен быть таким, чтобы он выдерживал без появления опасной остаточной деформации любые нагрузки на конструкцию, которые могут иметь место одновременно с максимальными эксплуатационными нагрузками гидравлической системы;

(2) каждый элемент гидравлической системы должен быть таким, чтобы он выдерживал давления, значительно превышающие величины, оговоренные в п. b данного параграфа, с целью демонстрации отсутствия возможности разрушения системы в условиях эксплуатации;

(3) должны быть предусмотрены средства индикации давления в каждой основной гидравлической системе;

(4) должны быть предусмотрены средства, исключающие превышение безопасного предела давления в какой-либо части системы сверх величины максимального эксплуатационного давления данной системы и предотвращающие превышение давления вследствие увеличения объема жидкости в трубопроводах, что может иметь место, когда трубопроводы достаточно долго находятся в закрытом состоянии. Необходимо учитывать возможность возникновения опасного пульсирующего давления;

(5) каждый трубопровод, штуцер и агрегат гидравлической системы должен быть таким и закреплен так, чтобы была исключена вероятность возникновения опасной вибрации, и чтобы он выдерживал инерционные нагрузки. Должна быть предусмотрена защита каждого элемента установки от истирания, коррозии и механического повреждения;

(6) для соединения тех участков трубопровода гидравлической системы, которые могут перемещаться относительно друг друга и подвержены вибрациям разной интенсивности, необходимо использовать гибкие соединительные средства.

**(б) Испытания.** Каждый элемент системы должен подвергнуться испытаниям при давлении, в 1,5 раза превышающем максимальное давление, которое этот элемент будет испытывать в условиях нормальной эксплуатации, при этом не должно быть отказов, неисправностей или недопустимой деформации какой-либо части системы».

В Нормах сформулированы также основные понятия и определения по вопросам летной годности при отказах функциональных систем, регламентированы особые ситуации и вероятности их возникновения.

Так, *под отказным состоянием* понимается неработоспособное состояние системы в целом, характеризуемое конкретным нарушением ее функций независимо от причин, вызывающих это состояние. Отказное состояние определяется на уровне каждой системы через последствия, оказываемые на функционирование этой системы. Оно характеризуется влиянием на другие системы и на ЛА в целом.

*Особая ситуация* – ситуация, возникающая в полете в результате воздействия неблагоприятных факторов или их сочетаний и приводящая к снижению безопасности полета. Особые ситуации классифицируются с использованием следующих критериев:

а) ухудшение летных характеристик, характеристик устойчивости и управляемости, прочности и работы систем;

б) увеличение рабочей (психофизической) нагрузки на экипаж сверх нормального требуемого уровня;

в) дискомфорт, травмирование или гибель, находящихся на борту людей.

*Катастрофическая ситуация* – особая ситуация, для которой принимается, что при её возникновении предотвращение гибели людей оказывается практически невозможным.

*Аварийная ситуация* – особая ситуация, характеризующаяся:

а) значительным ухудшением характеристик и/или достижением (превышением) предельных ограничений или;

б) физическим утомлением или такой рабочей нагрузкой экипажа, что уже нельзя полагаться на то, что он выполняет свои задачи точно или полностью.

*Сложная ситуация* – особая ситуация, характеризующаяся:

а) заметным ухудшением характеристик и/или выходом одного или нескольких параметров за эксплуатационные ограничения, но без достижения предельных ограничений, или

б) уменьшением способности экипажа справляться с неблагоприятными условиями, как из-за увеличения рабочей нагрузки, так и из-за условий, понижающих эффективность действий экипажа.

*Усложнение условий полета:*

а) незначительное ухудшение характеристик или

б) незначительное увеличение рабочей нагрузки на экипаж, например, изменение плана полета.

В Нормах летной годности сформулированы конкретные требования по вероятностям ситуаций, необходимые для формирования структуры системы (определения степени резервирования агрегатов и подсистем) и расчета вероятности безотказной работы.

При необходимости количественной оценки вероятностей возникновения событий могут использоваться указанные ниже величины:

вероятные – вероятность отказа более  $10^{-5}$ ;

где - частые - более  $10^{-3}$ ;

умеренно вероятные - в диапазоне  $10^{-3}$  -  $10^{-5}$ ;

редкие (невероятные) - вероятность отказа в диапазоне  $10^{-5}$  -  $10^{-9}$ ;

где - маловероятные - в диапазоне  $10^{-5}$  -  $10^{-7}$ ;

крайне маловероятные - в диапазоне  $10^{-7}$  -  $10^{-9}$ ;

практически невероятные - менее  $10^{-9}$ .

Вероятности должны устанавливаться как средний риск на час полета, продолжительность которого равна среднему времени полета по типовому профилю.

Таким образом, на первом этапе проектирования должна быть разработана структурная схема гидросистемы, т.е. определены:

- число блоков питания независимых ГС;

- схема размещения и резервирования гидронасосов на главном редукторе (двигателе), а также резервные (аварийные) источники энергии;

- число функциональных подсистем;

- кратность резервирования приводов в каждом канале управления.

Для решения поставленной задачи необходимо разбить все функциональные подсистемы потребителей на группы по последствиям их отказов.

В первую группу должны войти подсистемы, отказ которых может привести к катастрофической ситуации, в первую очередь, это система управления вертолетом. Для подсистем этой группы применяется нагруженный резерв, т.е. все независимые ГС на борту ЛА, каждая со своим блоком питания, должны работать одновременно и все они должны быть подключены к каждому отдельному потребителю данной группы.

Ко второй группе относят подсистемы, отказ которых приводит к аварийной ситуации. Подсистемы второй группы имеют ненагруженный резерв, т.е. сначала их работа осуществляется от основной системы питания, а в случае ее отказа в работу включается

резервная система питания (при этом может каким-либо образом меняться и вид самой функциональной подсистемы).

*К третьей группе* относятся системы, отказ которых приводит к сложной ситуации.

*В четвёртой группе* находятся системы практически не влияющие на безопасность полетов. Функциональные системы четвертой и частично третьей групп могут не резервироваться.

### **1.2.2. Создание схемы гидравлической системы с помощью теории надежности.**

#### **Поэтапное проектирование гидросистемы ЛА и его систем**

Сложившаяся в настоящее время практика проектирования ЛА предполагает разделение процесса проектирования на несколько последовательных, взаимосвязанных и соподчиненных этапов, основными из которых являются:

- «внешнее» проектирование, завершающееся разработкой технического задания (ТЗ) на весь комплекс средств, обеспечивающих выполнение поставленной задачи;
- «внутреннее» проектирование, завершающееся разработкой конкретных объектов (отдельных компонентов комплекса и системы в целом).

На этапе «внешнего» проектирования основной упор делается не на разработку конкретного объекта и изделий, составляющих данный объект, а на исследование и анализ тех изменений, которые вызовет во всех сферах жизни общества создание предполагаемой технической системы. Здесь моделируются процессы функционирования комплекса, обладающего некоторыми характеристиками, при выполнении определенной задачи, например, при перевозке пассажиров на некоторой (реально существующей или планируемой) сети аэродромов. Реальная компоновка и конструкция ЛА, входящего в состав комплекса, рассматривается на этом этапе в самом общем виде на уровне возможных (прогнозируемых) летно-технических, эксплуатационных и стоимостных характеристик. Тем не менее, на этом этапе должны быть найдены наиболее рациональные сочетания требований, определяющие технические возможности комплекса, стоимость его создания и эксплуатации, сроки разработки, производства и поставки заказчику.

Для решения этой проблемы рассматривается возможно большее количество альтернативных вариантов комплексов, для каждого из которых оценивается также степень технического и экономического риска, определяемого возможными изменениями обстановки в будущем, располагаемыми и потенциально возможными уровнями техники и технологии, организационными и техническими возможностями предполагаемых разработчиков комплекса.

Естественно, что большинство моделей, описывающих на этом этапе проектирования функционирование комплекса и его взаимодействие с внешней средой, имеют вероятностно-статистический, эмпирический характер, т. е. отражают предыдущий (часто субъективный) опыт разработчиков ТЗ, построены на основе неполной или недостаточно верной информации и не дают возможности оценить события с достаточной степенью достоверности. В такой ситуации решения принимаются на основе неоптимального компромисса - соглашения на основе взаимных уступок. Несмотря на то, что разработанное таким образом ТЗ должно в последующем уточняться, этап «внешнего» проектирования является весьма ответственным, необходимым и обязательным, поскольку дает исходные данные для углубленной проработки ЛА на следующих этапах проектирования.

На этапе «внутреннего» проектирования решаются следующие задачи:

- анализ ТЗ и выбор концепции ЛА;
- разработка технического предложения (аванпроект);
- эскизное проектирование;
- разработка технического (рабочего) проекта;
- изготовление наземных испытательных стендов;
- производство опытного экземпляра ЛА.

В частности, при проектировании гидросистемы вертолета необходимо удовлетворять всем требованиям, сформулированным в АП-29. Проектирование ГС начинается на этапах разработки технического предложения и эскизного проектирования, когда уже предварительно определены:

- аэродинамическая компоновка ЛА;
- максимальная взлетная масса;
- силовая установка;
- механизация крыла и др.

Эти данные позволяют сформировать облик гидравлической системы проектируемого ЛА:

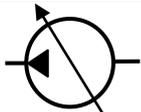
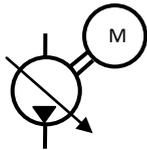
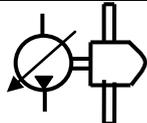
- определить количество независимых ГС (по числу двигателей, а также, используя математические модели теории надежности, решить задачу резервирования систем для достижения заданного уровня надежности);
- выбрать тип блока питания (с насосами постоянной или переменной подачи);
- выбрать тип системы обеспечения бескавитационного режима работы насосов (открытая, закрытая или полужакрытая);
- составить перечень функциональных подсистем и сгруппировать их по признаку опасности последствий.

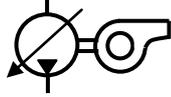
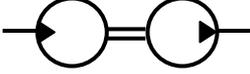
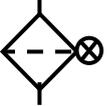
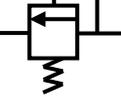
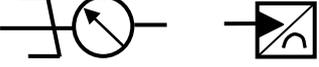
Результатом данной работы является создание структурной и функциональной схемы гидросистемы проектируемого ЛА.

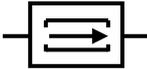
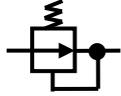
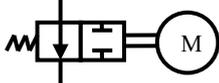
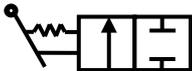
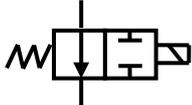
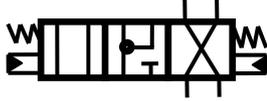
Прежде чем приступить к анализу схем ГС современных ЛА, необходимо ознакомиться с условными обозначениями, принятыми при изображении таких схем по ГОСТ 2.781-96 (Табл. 2).

Таблица 2

#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СХЕМАХ

№ п/п	Наименование	Обозначение
1	2	3
1	Баллон с давлением внутри выше атмосферного	
2	Насос постоянной подачи	
3	Насос переменной подачи	
4	Электроприводной гидронасос	
5	Гидронасос с приводом от ветродвигателя	

1	2	3
6	Турбонасосная установка (гидронасос с приводом от газовой системы - СКВ)	
7	Блок гидромотор-гидронасос (блок передачи мощности) нереверсивный	
8	Насос ручной	
9	Гидроаккумулятор пневмогидравлический	
10	Фильтр	
11	Фильтр с сигнализатором засорения	
12	Клапан предохранительный	
13	Клапан обратный	
14	Клапан разъемный	
15	Заливная горловина, заправочный штуцер	
16	Датчик давления	
17	Реле давления	

1	2	3
18	Манометр	
19	Указатель уровня жидкости	
20	Гаситель гидроудара	
21	Клапан редуционный	
22	Электроуправляемый перекрывной кран (пожарный кран)	
23	Влагоотделитель	
24	Теплообменник (охлаждения)	
25	Дроссель	
26	Стравливающий клапан с ручным управлением	
27	Двухпозиционный двухканальный распределитель (клапан) с электрическим управлением	
28	Трехпозиционный четырехканальный распределитель (клапан) с гидравлическим управлением	

Наиболее обоснованным путём построения схемы гидросистемы является создание математической модели, связывающей данные по надежности базовых элементов с требуемыми уровнями надежности каждой функциональной подсистемы. При проектировании ЛА необходимо учитывать преимущества и недостатки систем с

различными источниками энергии. Если потребная мощность функциональной системы более 4 кВт и к ней предъявляются высокие требования по быстродействию, жёсткости нагрузочной характеристики, надежности, массовой отдаче и точности позиционирования, то оптимально применение гидравлических систем. Это обстоятельство отражается в функциональных требованиях, предъявляемых Заказчиком конструкторской организации, создающей гидравлическую систему.

### 1.2.3. Выбор типа источника энергии в блоке питания гидросистемы

В качестве примера рассмотрим принципиальный подход к рациональному выбору типа источников энергии в блоке питания ГС. Известно, что функциональные подсистемы ЛА могут работать непрерывно в течение полета (подсистемы органов управления ЛА) или включаться лишь периодически (например, управление створками грузовой кабины). Указанные особенности работы функциональных подсистем следует учитывать при выборе типа источников энергии (гидронасосов) в блоке питания.

Напомним некоторые закономерности, известные из курса гидравлики.

Блок питания ГС с **насосом постоянной подачи и автоматом разгрузки насоса** работает следующим образом (Рис. 4). На рис. 4 сплошными линиями показаны трубопроводы линий всасывания и нагнетания, точечной – линии слива. Если давление в системе становится равным максимально заданному, то автомат разгрузки 9 переключает насос 5 на режим холостого хода и вся рабочая жидкость на выходе из насоса направляется в линию слива и далее в бак. При этом аккумулятор 11, находящийся в системе за насосом, разряжается, и давление в системе падает. Когда давление в системе станет равным минимально заданному, автомат разгрузки всю подачу насоса направляет в систему, перекрыв линию, соединяющую насос с баком. При этом давление в системе будет повышаться, аккумулятор заряжаться до достижения максимально заданного давления и т.д.

Таким образом, давление в системе будет пульсировать, что весьма нежелательно с точки зрения надежности и долговечности элементов конструкции ГС, особенно если среди потребителей имеется система управления, отказ которой может привести к катастрофической ситуации. Насос постоянной подачи в режиме холостого хода всю гидрожидкость из насоса по кратчайшему пути через автомат разгрузки направляет в линию слива. Сопротивление этой линии мало, следовательно, невелики и потери мощности.

*Следовательно, гидронасос постоянной подачи с автоматом разгрузки целесообразно использовать в блоках питания ГС тогда, когда основная часть потребителей данной системы работают эпизодически в процессе полета.*

В блоке питания с **насосом переменной подачи** (рис. 5) необходимо предусмотреть дополнительную линию для охлаждения насоса в период, когда не работают потребители. Она состоит из дросселей 9, обратных клапанов 6, трубопроводов, по которым жидкость направляется в теплообменник 5, а затем в линию слива. При этом будет затрачиваться дополнительная мощность, пропорциональная сопротивлению линии охлаждения.

*Вместе с тем, плавное изменение давления и расходов у насосов переменной подачи определяют преимущественное их использования в блоках питания систем, обеспечивающих функционирование непрерывно действующих подсистем управления ЛА.*

Таким образом, приведенные выше соображения позволяют на начальном этапе проектирования ГС выбрать тип приводного гидронасоса блока питания, как основного источника энергии системы. Далее будут рассмотрены функциональные подсистемы и их типовой состав, т.е. на этом этапе уже в основном определен и элементный состав функциональных подсистем.

Обычно используются базовые типовые элементы ГС, из опыта эксплуатации которых находятся вероятности их безотказной работы. Если заказываются новые агрегаты, то, как правило, у них есть прототипы, для которых имеются данные по наработкам на отказ и на первом этапе эти данные можно использовать.

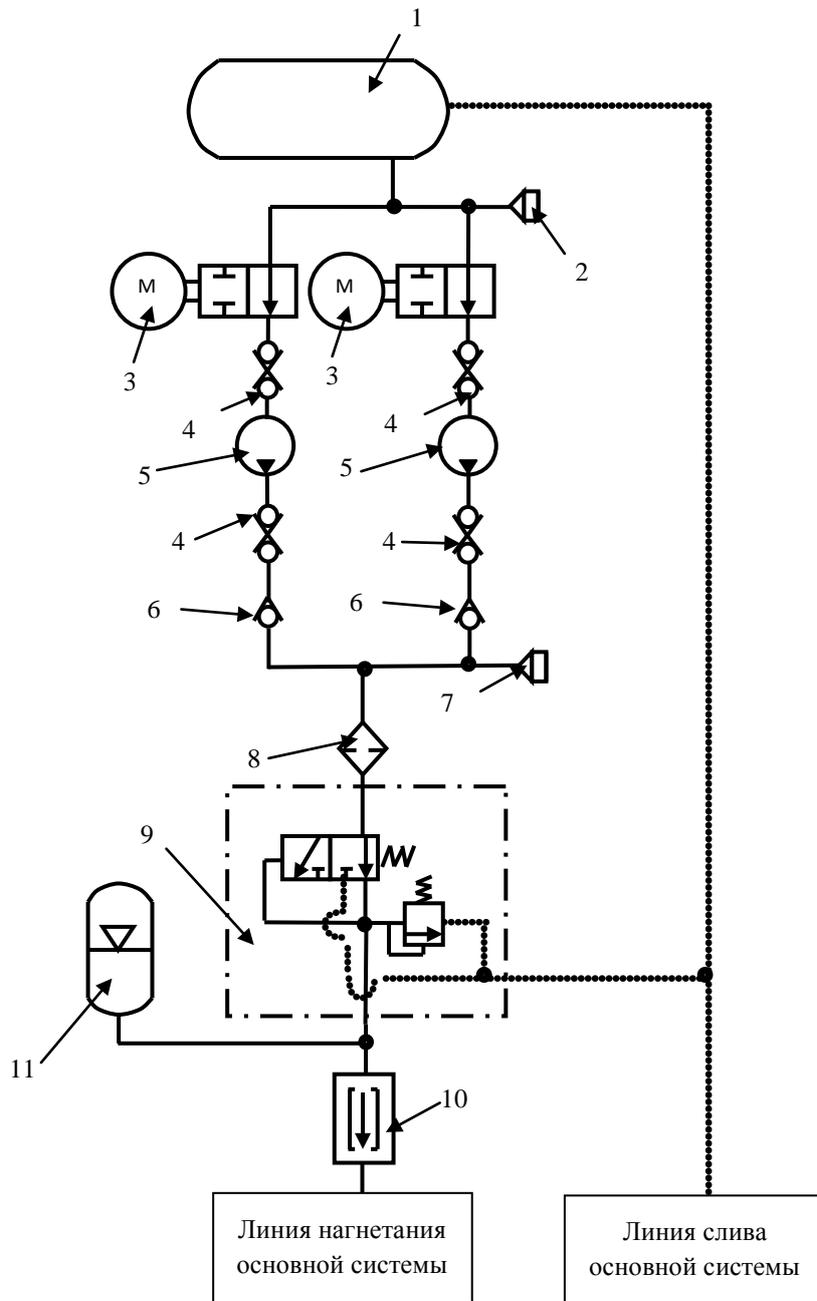


Рис. 4. Принципиальная схема блока питания ГС с насосом постоянной подачи, где 1- гидробак; 2- бортовой клапан всасывания; 3- противопожарный кран; 4- разъемный клапан; 5- гидронасос; 6- обратный клапан; 7- бортовой клапан нагнетания; 8- фильтр; 9- автомат разгрузки насоса с предохранительным клапаном; 10- гаситель гидроудара; 11- гидроаккумулятор

Зная в первом приближении состав блоков питания, функциональных подсистем, характеристики надежности их элементной базы, вероятности возникновения особых ситуаций и, рассматривая гидравлическую систему как совокупность последовательных и параллельных соединений, используя методы расчета структурной надежности, можно получить требуемые кратности резервирования в ГС. Однако ввиду сложности системы и

большого числа накладываемых ограничений задача получается сложной. Кроме того, используемые методы теории надежности справедливы при ряде допущений, что позволяет их использовать лишь на ранних стадиях синтеза структуры гидравлической системы. Поэтому в проектных организациях предпочитают поэтапный метод создания системы, при котором используется анализ материалов по эксплуатирующимся вертолетам.

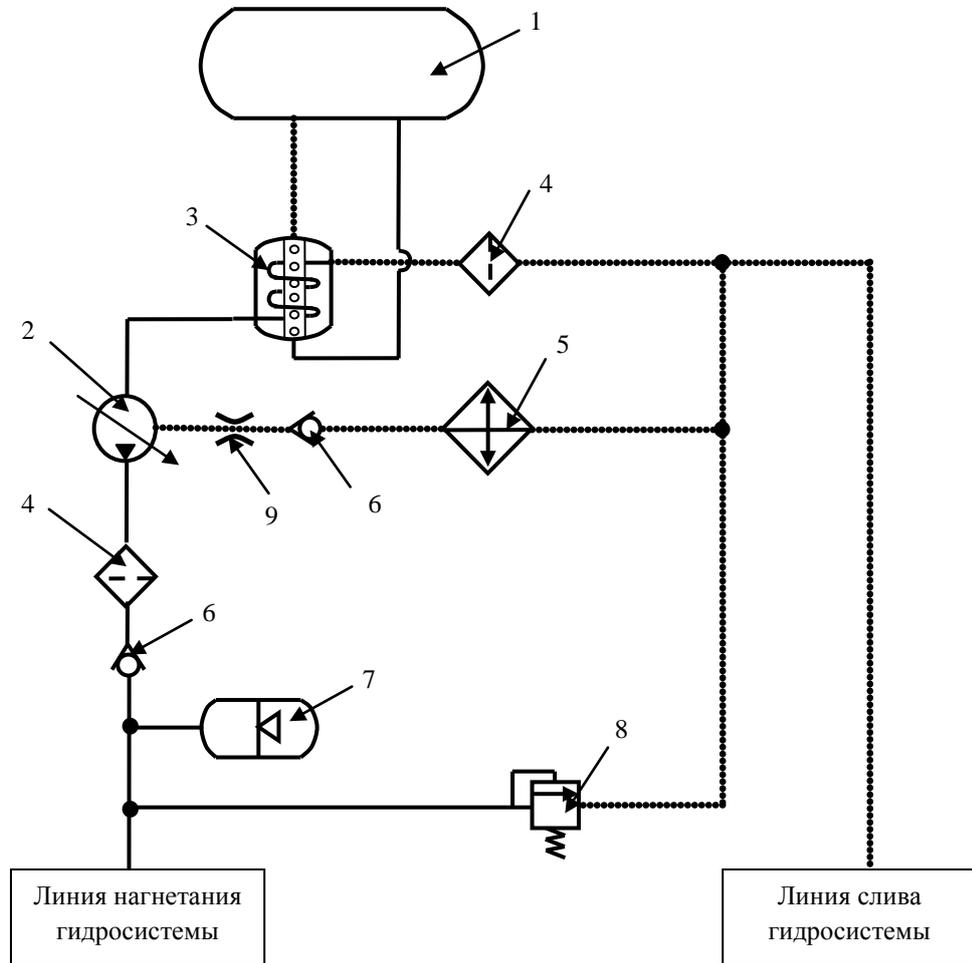


Рис. 5. Принципиальная схема блока питания ГС с насосом переменной подачи, где 1- гидробак; 2- гидронасос переменной подачи; 3- сепаратор; 4- фильтр; 5- теплообменник; 6- обратный клапан; 7- гидроаккумулятор; 8- предохранительный клапан; 9- дроссель

## **Тема 1.3. Блоки питания гидравлических систем**

### **1.3.1. Общие положения**

Каждая гидросистема ЛА состоит из блоков питания и функциональных подсистем потребителей. На ЛА гражданской авиации используются два вида блоков питания в зависимости от типа потребителей. Если среди потребителей имеются постоянно действующие (система управления) то, как уже отмечалось, в блоке питания гидросистем такого ЛА целесообразно использовать насос (или насосы) переменной подачи. Если же среди потребителей имеются лишь эпизодически действующие потребители, то в блоке питания может быть насос постоянной подачи с автоматом разгрузки и аккумулятором. Насосы такого блока, в основном, будут работать на холостом ходу, что увеличивает их ресурс в 2-3 раза.

Структурно блок питания ГС ЛА можно разделить на следующие подсистемы:

- *система обеспечения бескавитационного режима работы источников энергии (гидронасосов)*. В ГС открытого и полужакрытого типа эту функцию выполняет система наддува, а в системах закрытого типа – специальным образом сконструированный гидробак с системой поддавливания;

- *система источников энергии*, которая включает как основные источники энергии ГС на борту ЛА, так и резервные, и аварийные;

- *система управления, контроля и индикации*, которая включает обратные и предохранительные клапаны, противопожарные клапаны (перекрывные краны), датчики и сигнализаторы давления и температуры, фильтры, сепараторы, дроссели и др.

### **1.3.2. Система обеспечения бескавитационного режима работы источников энергии**

Напомним некоторые сведения из курса гидравлики, касающиеся явления кавитации. *Кавитация* — это нарушение сплошности жидкости, которое происходит в тех участках потока, где давление, понижаясь, достигает некоторого критического значения. Этот процесс сопровождается образованием большого числа пузырьков, наполненных преимущественно парами жидкости, а также газами, выделившимися из раствора. Находясь в области пониженного давления, пузырьки увеличиваются и превращаются в большие пузыри - каверны. Затем эти пузыри уносятся потоком в область с давлением выше критического, где разрушаются практически бесследно вследствие конденсации заполняющего их пара. Таким образом, в потоке создается довольно четко ограниченная кавитационная зона, заполненная движущимися пузырьками.

Критическое, с точки зрения возникновения кавитации, давление определяется физическими свойствами жидкости и в зависимости от ее состояния может меняться в довольно значительных пределах. Тем не менее, в практических расчетах, связанных с рассмотрением кавитационных режимов работы насосов, в качестве критического давления, при котором начинается кавитация, обычно принимают давление насыщенных паров перекачиваемой жидкости при данной температуре.

Неустойчивость кавитационной зоны и вызванные появлением этой зоны вторичные течения жидкости приводят к значительным пульсациям давления в потоке, которые оказывают динамическое воздействие на поверхности, направляющие поток. Результаты многочисленных экспериментальных исследований и опыт эксплуатации различного гидравлического оборудования указывают на появление сильных вибраций при возникновении кавитации.

Разрушение или, как принято говорить, «захлопывание» кавитационных пузырей при переносе их потоком в область с давлением выше критического происходит чрезвычайно быстро и сопровождается своего рода гидравлическими ударами. Наложение большого числа таких ударов приводит к появлению характерного шипящего звука, который всегда

сопутствует кавитации. И наконец, в большинстве случаев кавитация сопровождается разрушением поверхности, на которой возникают и некоторое время существуют кавитационные пузыри. Это разрушение, являющееся одним из самых опасных последствий кавитации, называют кавитационной эрозией. Механические повреждения рабочих органов гидравлических машин в результате кавитационной эрозии могут за относительно короткий срок достигнуть размеров, затрудняющих нормальную эксплуатацию машин и даже делающих ее практически невозможной.

Каждый насос ГС характеризуется величиной кавитационного запаса  $\Delta h_{тр}$ , это минимальное давление, в пределах которого у жидкости, попадающей в насос, сохраняется состояние собственно жидкости. Величину  $\Delta h_{тр}$  в номинале и кривую зависимости  $\Delta h_{тр}$  от подачи/напора обязан предоставлять производитель насоса.

### Система наддува гидробаков ГС открытого типа

Для создания заданного избыточного давления на входе в гидронасосы (фактически в линии всасывания) в блоках питания ГС открытого типа современных гражданских ЛА используется система наддува, типовая схема которой приведена на рис. 6. На данном рисунке и далее в пособии трубопроводы системы наддува (подачи воздуха) обозначены штриховой линией. Это является некоторым отклонением от требований ГОСТ (все линии гидравлических и пневматических систем должны быть сплошными), однако, такой подход облегчает чтение схем ГС.

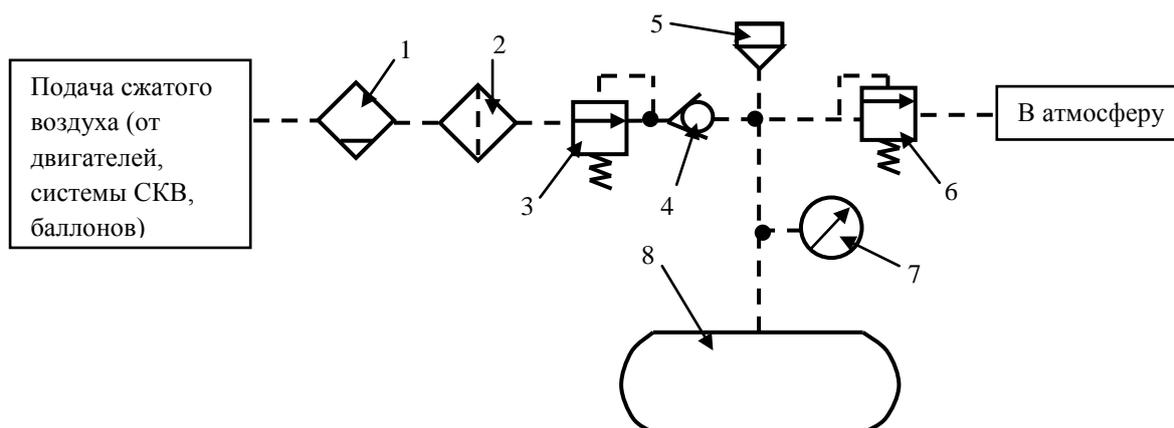


Рис. 6. Типовая схема системы наддува гидробака ГС открытого типа, где 1- влагоотделитель; 2- воздушный фильтр; 3- регулятор давления; 4- обратный клапан; 5- бортовой штуцер наддува; 6- предохранительный клапан; 7- манометр; 8- гидробак

В открытых ГС источником сжатого воздуха для наддува гидробаков обычно является система кондиционирования воздуха (СКВ), которая в свою очередь получает сжатый воздух от компрессора двигателя. Воздух от СКВ через влагоотделитель 1 и фильтр 2 поступает в регулятор давления 3, который обеспечивает заданное давление в гидробаке 8, а соответственно, на входе в гидронасосы. В случае отказа регулятора 4 избыточное давление стравливается в атмосферу через предохранительный клапан 6. В системе также имеется бортовой штуцер наддува 5 для наземной проверки системы и манометр 7.

В качестве примера рассмотрим систему наддува гидробаков вертолета типа Ка-32. Для наддува гидробаков (рис. 7) при работающих двигателях воздух отбирается от компрессоров двигателей через штуцеры 1. Пройдя обратные клапаны 2, фильтр - влагопоглотитель 5, воздушный фильтр 6 и воздушный редуктор 7, воздух поступает в

гидробаки под давлением  $0,4 \pm 0,05$  кгс/см<sup>2</sup>. Предохранительный вакуум-клапан 8 открывается при давлении наддува  $0,7 \pm 0,1$  кгс/см<sup>2</sup> и при разрежении  $0,05$  кгс/см<sup>2</sup>. Для обеспечения проверки и регулировки гидросистемы на земле к вертолету может быть подключен аэродромный источник сжатого воздуха. Подключение производится к бортовому клапану 4, от которого, пройдя обратный клапан 2, воздух поступает в ту же линию, что и при работе от компрессоров. Если аэродромный источник сжатого воздуха отсутствует, наддув гидробаков может осуществляться от ручного пневматического насоса 3, рукоятка которого находится в лючке бортовой зарядки.

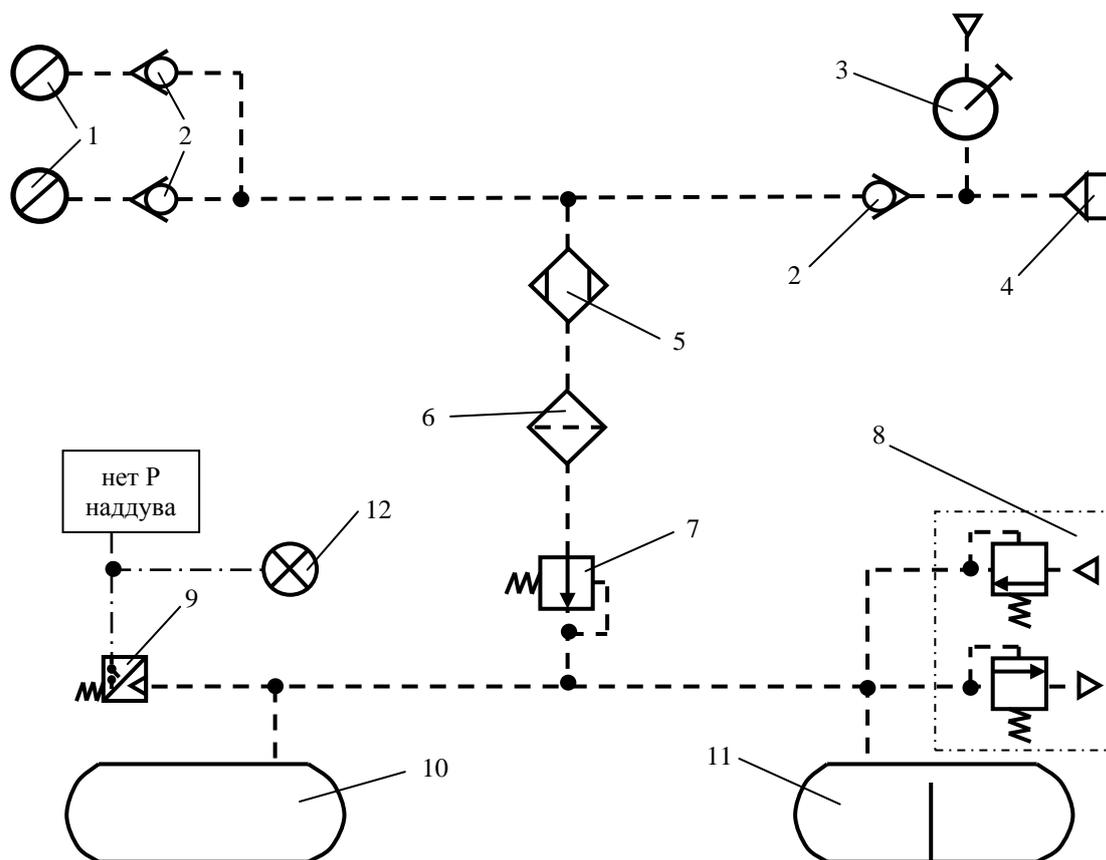


Рис. 7. Схема системы наддува гидробаков гидросистемы вертолета Ка-32,

где 1- штуцер забора воздуха от двигателя; 2- обратный клапан; 3- ручной пневматический насос; 4- клапан бортового нагнетания системы наддува; 5- влагопоглотитель; 6- фильтр воздушный; 7- редуктор воздушный; 8- предохранительный и вакуум клапан (клапан двойного действия); 9- сигнализатор давления; 10- гидробак дублирующей системы; 11- гидробак основной и вспомогательной гидросистем; 12- лампа

Наддув гидробаков на земле (при неработающих двигателях) необходим для проверки, замены или ремонта агрегатов гидросистемы вертолета. В этом случае источником энергии в ГС является электроприводной гидронасос (насосная станция), который может быть включен только при наличии наддува в гидробаках, когда срабатывает сигнализатор давления и замыкает своими контактами цепь включения соответствующего реле. При наличии наддува насосная станция включается на земле и работает до момента отрыва вертолета от земли. В момент отрыва вертолета концевой выключатель, установленный на

правой амортистойке шасси, замыкает своими контактами цепь включения реле. Реле срабатывает, размыкает цепь управления контактором, и насосная станция выключается. Для заправки и опробывания гидросистемы предусмотрены клапаны подсоединения наземной гидроустановки, расположенные на фюзеляже на панели бортовой зарядки.

### Система обеспечения бескавитационного режима работы ГС закрытого типа

Типовая схема обеспечения бескавитационной работы гидронасосов в ГС закрытого типа приведена на рис. 8. В данном случае отсутствует непосредственный контакт гидрожидкости с газом (азотом). Потребное давление в полости А гидробака 1 создается за счет давления азота в полости Б, которая через систему трубопроводов связана с газовой полостью гидроаккумулятора 6. В случае превышения заданного давления в полости А срабатывает предохранительный клапан 2. Через клапан 2 можно также стравить давление в гидробаке вручную.

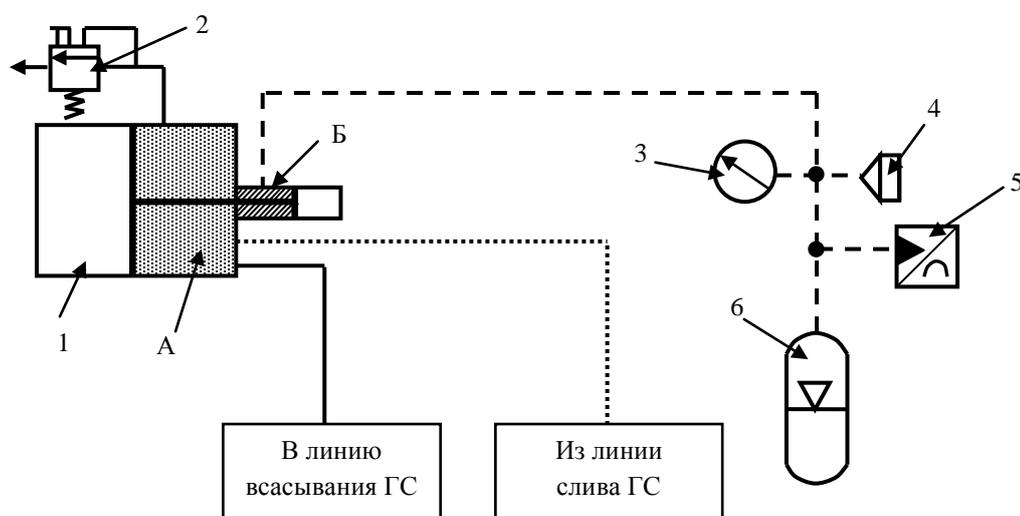


Рис. 8. Типовая схема гидробака ГС закрытого типа с системой поддавливания, где 1- гидробак; 2- предохранительный клапан; 3- манометр; 4- зарядный клапан; 5- датчик давления; 6- гидроаккумулятор

### Система наддува гидробаков ГС полужакрытого типа

В блоках питания систем полужакрытого типа имеет место контакт рабочей гидрожидкости с нейтральным газом - азотом, а контакта с воздухом нет. Возможна и некоторая комбинация систем. Такие системы наддува на вертолетах обычно не применяются. Система наддува полужакрытого типа реализована на самолете Ту-204 и его модификациях по основному принципу действия, когда наддув осуществляется азотом из специального баллона. В качестве резервной системы наддува на этом самолете может использоваться система открытого типа с подачей сжатого воздуха от СКВ.

#### 1.3.3. Система источников энергии, управления, контроля и индикации

Систему источников энергии целесообразно рассматривать совместно с системой управления и индикации. Обычно источники энергии подразделяют на основные, резервные и аварийные.

На значительном большинстве современных самолетов и вертолетов в качестве *основного источника* энергии используется аксиально-плунжерный насос переменной подачи с приводом от двигателя (главного редуктора на вертолетах). Значительно реже

используются в качестве основного источника энергии ГС аксиально-плунжерный насос постоянной подачи с приводом от двигателя, который работает вместе с автоматом разгрузки. На вертолетах типа Ми-8(17) в качестве основного источника энергии используются приводные шестеренные насосы постоянной подачи, а на вертолетах типа Ка-32 – аксиально-плунжерные насосы переменной подачи. Важно подчеркнуть, что на вертолетах насосы ГС устанавливаются на главном редукторе, а не на коробке приводов двигателей. Это позволяет функционировать гидросистеме и в режиме авторотации несущего винта.

В качестве *резервных источников* энергии, как на вертолетах, так и на самолетах применяются электроприводные насосные станции с электродвигателем переменного тока и аксиально-плунжерным гидронасосом переменной подачи. На ряде зарубежных и отечественных (Суперджет) самолетов в качестве резервного источника энергии используется так называемый блок передачи мощности, который представляет собой реверсивный гидромотор-гидронасос на общем валу. Это позволяет передавать гидравлическую энергию от исправной гидросистемы к отказавшей. Также нашли применение на самолетах в качестве резервных источников энергии ГС турбонасосные гидроустановки (ТНУ), например, на самолете Ил-86, у которых энергия на входной вал гидронасоса поступает от турбины. Сжатый воздух на турбину поступает от системы кондиционирования, т.е. фактически отбирается от компрессора работающего двигателя.

*Аварийными источниками* энергии на борту ЛА обычно являются гидронасосы с приводом от ветродвигателя, а также электроприводные насосные станции с электродвигателем постоянного тока и аксиально-плунжерным гидронасосом переменной подачи, которые получают энергию от бортовых аккумуляторных батарей или от генератора постоянного тока, установленного на ветродвигателе.

Гидросистема ЛА в целом для обеспечения заданного уровня надежности обычно состоит из нескольких независимых гидросистем, которые имеют отдельные емкости для размещения гидрожидкости, собственные источники энергии, агрегаты управления, контроля и индикации. Основным признаком независимости данных систем является отсутствие обмена гидрожидкостью.

Рассмотрим конструкцию и особенности работы блоков питания ГС различного типа на примерах гидросистем современных отечественных вертолетов.

**Блок питания гидросистемы вертолета Ми-171.** Гидравлическая система вертолета (рис. 9) предназначена для питания рабочей жидкостью агрегатов управления КАУ-115АМ, включенных в систему управления вертолетом (поперечного, путевого (ножного), продольного и общим шагом); гидроцилиндра управления фрикционом ручки ШАГ-ГАЗ; гидроцилиндра управления упором в продольном управлении вертолетом.

Гидравлическая система состоит из двух независимых ГС: основной и дублирующей. В гидравлической системе осуществлен принцип дублирования агрегатов и трубопроводов основной гидросистемы (ОГС) агрегатами и трубопроводами дублирующей гидросистемы (ДГС). Основными источниками энергии в основной и дублирующей гидросистемах являются шестеренные насосы постоянной подачи.

Шестеренные насосы НШ-39М основной 4 и дублирующей 5 систем установлены на приводах главного редуктора, что обеспечивает нормальную работу гидросистемы в случае отказа двигателей и перехода вертолета на режим самовращения несущего винта. Гидробак 3, разделенный на две изолированные друг от друга полости, питает отдельно основную и дублирующую системы. Жидкость заливается в основную и дублирующую системы через общую заливную горловину 1 и фильтр 2 бака 3 или закачивается наземной гидроустановкой через один из клапанов всасывания 7 (9) на бортовой панели. Гидроаккумуляторы 6 заряжаются техническим азотом через зарядные клапаны, смонтированные в крышки гидроаккумуляторов. Рабочая жидкость - АМГ-10, диапазон температуры окружающего

воздуха, при которой обеспечивается нормальная работа гидросистемы от  $-50$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ , допустимая температура рабочей жидкости до  $+70^{\circ}\text{C}$ , количество гидрожидкости АМГ-10 в гидросистеме 22 л, тонкость фильтрации 16 мкм.

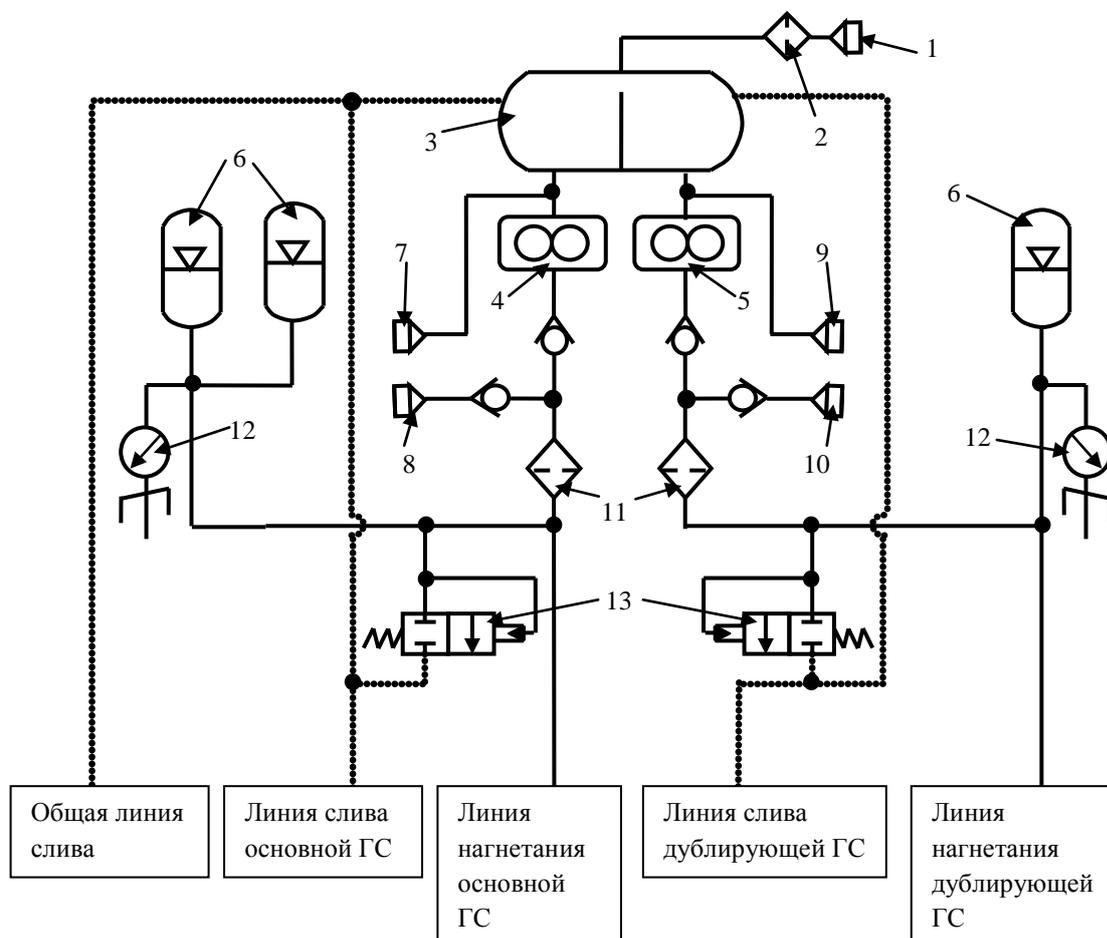


Рис. 9. Принципиальная схема блока питания гидросистемы вертолета Ми-171, где 1- заливная горловина гидробака; 2- фильтр; 3- гидробак; 4- гидронасос основной гидросистемы (ОГС); 5- гидронасос дублирующей гидросистемы (ДГС); 6- гидроаккумулятор; 7,9- клапан всасывания ОГС и ДГС, соответственно; 8,10- клапан нагнетания ОГС и ДГС, соответственно; 11- фильтр; 12- датчик давления; 13- агрегат разгрузки насоса

Агрегат разгрузки насоса 13 предназначен для автоматического поддержания давления в гидросистеме в заданных пределах. При повышении давления в гидросистеме до  $65_{-2}^{+8}$  кгс/см<sup>2</sup> он переключает насос 4 (5) на работу вхолостую - перекачка гидрожидкости в бак. При понижении давления в гидросистеме до  $45_{-3}^{+3}$  кгс/см<sup>2</sup> агрегат разгрузки 13 переключает насос 4 (5) на рабочий режим - нагнетание гидрожидкости в гидросистему.

Гидроаккумуляторы 6 предназначены для уменьшения пульсаций давления в гидросистеме. Они также улучшают условия работы агрегата разгрузки насоса 13, уменьшая число его срабатываний. Гидроаккумуляторы являются пассивными источниками гидравлической энергии для питания агрегатов управления КАУ-115АМ в период работы насоса 4 (5) на перекачку рабочей жидкости в бак. Обратные клапаны, установленные в

гидросистеме, предназначены для подачи рабочей жидкости только в одном заданном направлении и для запираания линий гидросистемы при обратном потоке жидкости. Фильтр 11, установленный на выходе из насоса, предназначен для очистки рабочей жидкости от механических примесей. Фильтр отстойного типа с перепускным и отсечным клапанами. Перепускной клапан срабатывает при повышении перепада давления в результате засорения фильтроэлемента. Дублирующая гидросистема предназначена для питания рабочей жидкостью КАУ-115АМ при отказе основной гидросистемы. В дублирующей гидросистеме в основном применены такие же агрегаты, что и в основной гидросистеме.

Для проверки работы гидросистемы вертолета на земле при неработающих двигателях используется наземный источник гидравлической энергии, который подключается к системе через бортовые клапаны всасывания 7 (9) и нагнетания 8 (10). Давление в системе контролируется датчиком давления 12.

**Блок питания гидросистемы вертолета Ка-32.** Гидравлическая система предназначена для привода гидравлических исполнительных механизмов различных систем вертолета и приведена на рис. 10 (как и ранее, на рисунке сплошными линиями показаны линии нагнетания и всасывания, точечной – линии слива).

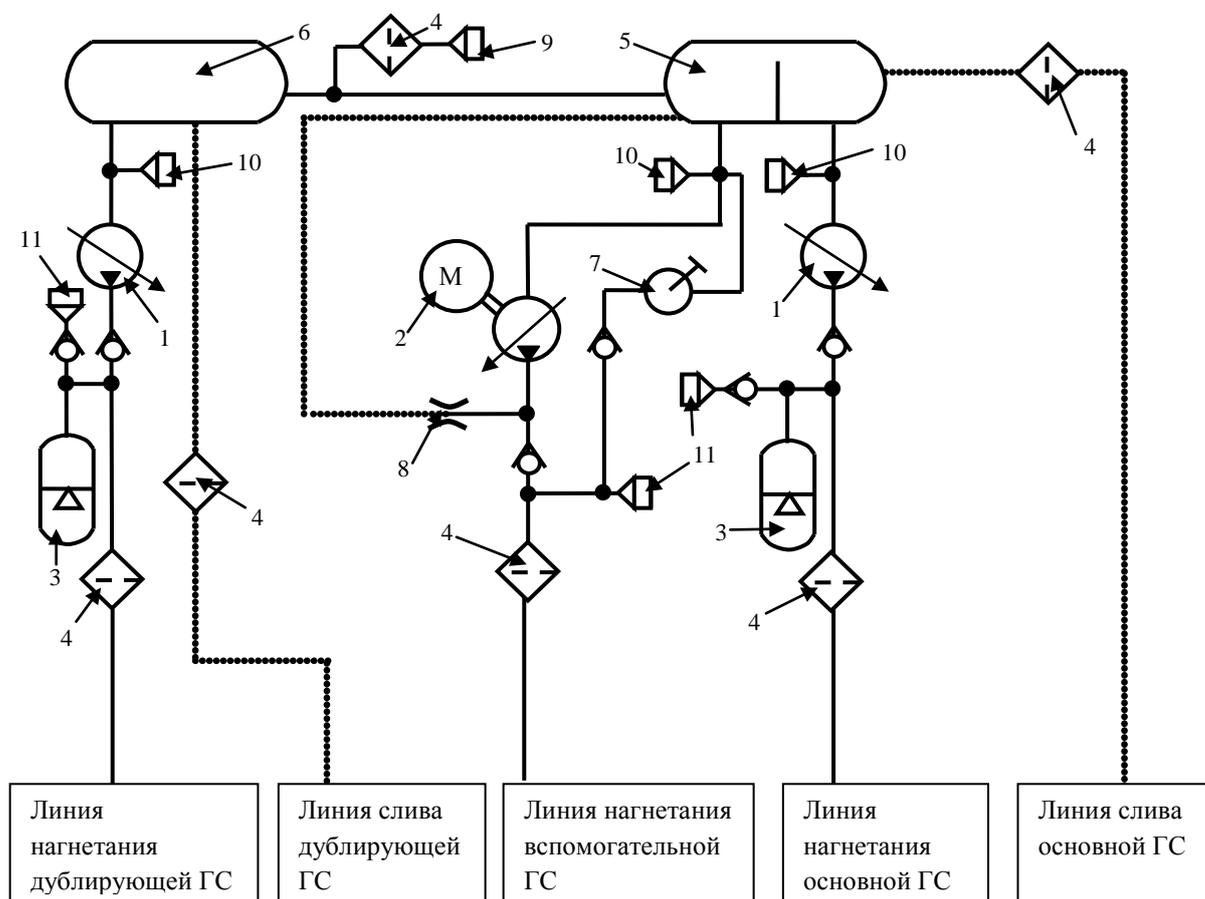


Рис. 10. Принципиальная схема блока питания гидросистемы вертолета Ка-32, где 1- приводной гидронасос; 2- насосная станция; 3- гидроаккумулятор; 4- фильтр; 5,6- гидробак; 7- ручной насос; 8- дроссель; 9- бортовой клапан заправки; 10- бортовой клапан всасывания; 11- бортовой клапан нагнетания

Гидравлическая система вертолета состоит из трех систем – основной, дублирующей и вспомогательной. Источниками энергии для подачи рабочей жидкости под заданным давлением в основную и дублирующую гидросистемы являются аксиально-плунжерные насосы НП92А-5 переменной подачи 1 с приводом от коробки приводов главного редуктора. Подачу рабочей жидкости во вспомогательную систему осуществляет насосная станция 2 с приводом от электродвигателя, работающего от электрической сети вертолета. Для обеспечения работы гидронасосов и насосной станции без явлений кавитации предусмотрена система надува гидробаков (рис. 7). В линию нагнетания каждой системы включены гидроаккумуляторы 3, предназначенные для гашения пульсации давления при работе гидронасосов и насосной станции и для уменьшения колебаний давления при работе потребителей на переходных режимах. Для фильтрации рабочей жидкости в линиях слива и нагнетания всех систем имеются фильтры 4. Гидрожидкость размещается в баке 5, который разделен на две части – для основной и вспомогательной ГС, и в баке 6 дублирующей системы.

В состав гидравлической системы вертолета входят также ручной гидронасос 7, подключенный к вспомогательной системе. При отсутствии наземной гидроустановки ручной насос позволяет без включения насосной станции производить подъем и опускание носовой и хвостовой частей фюзеляжа и осуществлять торможение колес при стоянке (стояночное торможение). Дроссель 8 обеспечивает перепуск гидрожидкости на слив для охлаждения насосной станции 2 при ее нулевой производительности. Для наземной эксплуатации системы используются клапаны 9, 10 и 11.

#### **1.3.4. Особенности систем источников энергии, управления, контроля и индикации современных самолетов**

*Блок питания самолета Ил-76.* Гидравлическая система самолета включает две самостоятельные и независимые друг от друга системы 1 и 2. Многие потребители питаются одновременно от обеих гидросистем, получая, примерно, по 0,5 мощности от каждой. Это повышает надежность их работы, так как при выходе из строя одной из систем потребитель продолжает получать питание от другой системы. Особенностью системы управления самолетом Ил-76 является то, что рули и элероны, управляемые бустерами, имеют автономные электрогидравлические станции (автономные рулевые машины - АРМ), не связанные с гидросистемой самолета. Рабочее давление в гидросистеме  $210 \text{ кгс/см}^2$ . На рис. 11 приведена принципиальная схема блока питания 1 ГС самолета. Компоновка и принцип работы гидросистемы 2 аналогичны.

Источниками давления в гидросистеме являются два гидронасоса переменной подачи 4, установленные на двигателях. Насосы гидросистемы 1 установлены на двигателях 1 и 2. Соответственно гидронасосы гидросистемы 2 установлены на 3 и 4 двигателях. Гидронасос 4 имеет регулятор подачи, который изменяет его подачу в зависимости от давления в системе. При давлении в системе  $210 \text{ кгс/см}^2$  насос переводится на "нулевую" (малую) подачу. Для предохранения гидронасосов от перегрева во время работы с малой подачей, жидкость из линий нагнетания насосов через дроссели 10, ограничивающие расход, поступает в специальную линию, соединенную с линией слива. В этой линии устанавливается радиатор (топливо-масляный теплообменник) 9, обеспечивающий охлаждение гидрожидкости.

В случае отказа регулятора подачи насос не переводится на холостой ход и давление в системе увеличивается. Для предохранения от чрезмерного повышения давления в гидросистеме устанавливается предохранительный клапан 15, рассчитанный на давление открытия  $240 \text{ кгс/см}^2$ . В линиях всасывания и нагнетания гидронасосов 4 устанавливаются разъемные клапаны 16, позволяющие производить разъединение этих линий без потери жидкости из гидросистемы (при снятии двигателя или гидронасоса). Для подключения

наземной гидроустановки с целью создания давления жидкости в гидросистеме имеются бортовые клапаны всасывания 11 и нагнетания 12.

Для создания давления в гидросистеме в полете при отказе соответствующих двигателей в гидросистеме имеется электроприводная насосная станция с гидронасосом переменной подачи 13, работающая на переменном токе. В крайнем случае, при отсутствии УПГ-300, допускается пользоваться насосными станциями на земле, включениями их на время не более 2 - 5 мин (перерыв между включениями с целью охлаждения станции должен быть не менее 1,5 часа).

К линиям нагнетания гидронасосов и насосной станции подключены реле давления 6, которые позволяют контролировать их работу. При понижении давления в линии нагнетания насоса до величины  $155 \text{ кгс/см}^2$  реле срабатывает и выключает соответствующую данному насосу сигнальную лампу, расположенную на щитке гидросистемы. При повышении давления до величины  $185 \text{ кгс/см}^2$  лампа включается. В линии нагнетания каждого насоса устанавливается обратный клапан, пропускающий жидкость под давлением только от насоса и не пропускающий ее в обратном направлении. При неработающем насосе гидрожидкость под давлением от других насосов к нему не подводится.

На пути движения жидкости от насосов к потребителям установлены два фильтра 5 с тонкостью фильтрации 12-16 микрон. Фильтры включены последовательно. Фильтры 5 установлены также в линии слива. Давление жидкости в гидросистеме контролируется электрическими манометрами 7.

С целью обеспечения надежной работы гидронасосов и насосной станции (отсутствие кавитации) в их линиях всасывания создается избыточное давление. Во время работы насосов и потребителей это давление должно находиться в пределах  $2,5-5 \text{ кгс/см}^2$ . Принципиальной особенностью самолета Ил-76 является то, что для создания избыточного давления в линии всасывания гидронасосов используется специальная насосная станция 2, которая состоит из гидромотора, шестеренного насоса, регулятора оборотов и предохранительного клапана. Производительность насосной станции зависит от величины перепада давления между баком и линией всасывания. Давление в линии всасывания насосов контролируется электрическим манометром 7. Источником энергии для гидромотора насосной станции 2 является гидрожидкость под давлением из линии нагнетания. При этом вентиляция гидробака осуществляется по трубопроводу, выведенному в грузовую кабину.

Блок питания гидросистемы самолета отличается также тем, что жидкость, поступающая на слив от потребителей, подводится к сепаратору 3, а от него в линию всасывания гидронасосов, минуя гидробак. Такая схема работы позволяет применять гидробаки с малым объемом жидкости в них. Сепаратор служит для отделения от жидкости воздуха и направления его в гидробак. В линии слива перед сепаратором устанавливаются два параллельно включенных фильтра 5 с точностью фильтрации 12-16 микрон и обратный клапан, который не допускает слива жидкости из гидробака при выполнении монтажных работ. В линии подвода жидкости к радиатору 9 системы установлен приемник температуры 8. Указатели температуры жидкости на входе в радиатор расположены на щитке гидросистемы.

Таким образом, приведенное описание конструкции блока питания самолета Ил-76 позволяет выделить следующие его основные особенности:

- бескавитационный режим работы гидронасосов обеспечивается установкой в линии всасывания специального устройства – насосной станции 2;
- в конструкции ГС предусмотрена специальная линия охлаждения гидронасосов в режиме холостого хода, в которой размещают топливо-масляный теплообменник;
- включение в конструкцию блока питания сепаратора позволило существенно уменьшить объем гидробака.

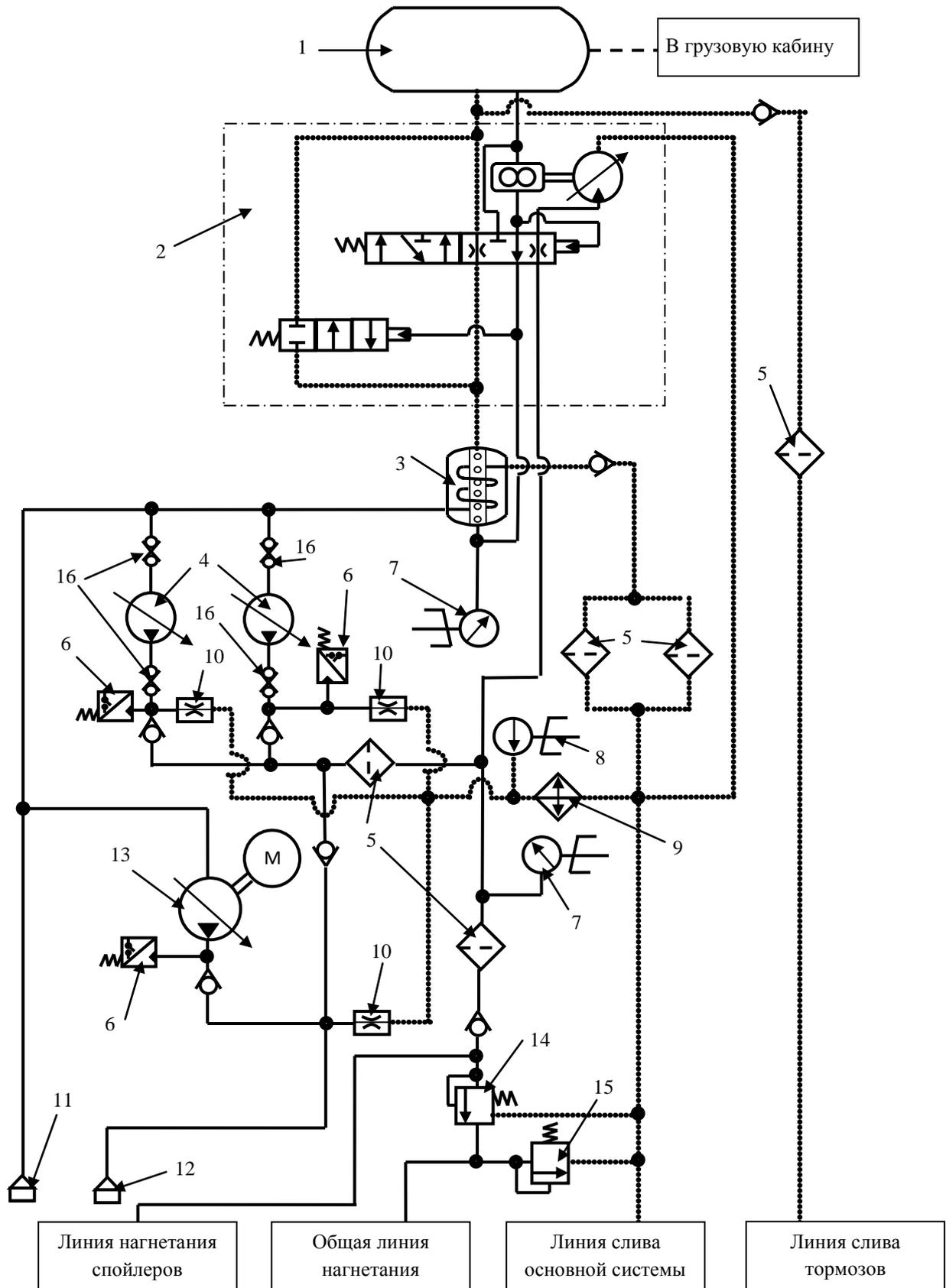


Рис. 11. Принципиальная схема блока питания ГС самолета Ил-76,  
 где 1- гидробак; 2- насосная станция НС51А; 3- сепаратор; 4- гидронасос; 5- фильтр; 6- реле давления; 7- датчик манометра; 8- приемник температуры; 9- радиатор; 10- дроссель; 11- бортовой клапан всасывания; 12- бортовой клапан нагнетания; 13- насосная станция НС46-2; 14- подпорный клапан; 15- предохранительный клапан; 16- разъемный клапан

Блок питания самолета Ту-204. Принципиальная схема источников энергии ГС показана на рис. 12. Основная гидросистема самолета состоит из трех независимых, изолированных гидросистем, гидравлическая мощность которых обеспечивает работу систем самолета при нормальных условиях эксплуатации и на отказных режимах. Рабочая жидкость гидросистемы (основная - Skydrol LD-4, дублирующие: НГЖ-5У и Skydrol 500В-4) размещается в гидробаках 1-3. Рабочее давление в гидросистемах 190-220 кгс/см<sup>2</sup>. Давление при нулевой подаче насосов  $210 \pm 10$  кгс/см<sup>2</sup>. Диапазон рабочих температур жидкости гидросистемы - от - 55 до + 125°С.

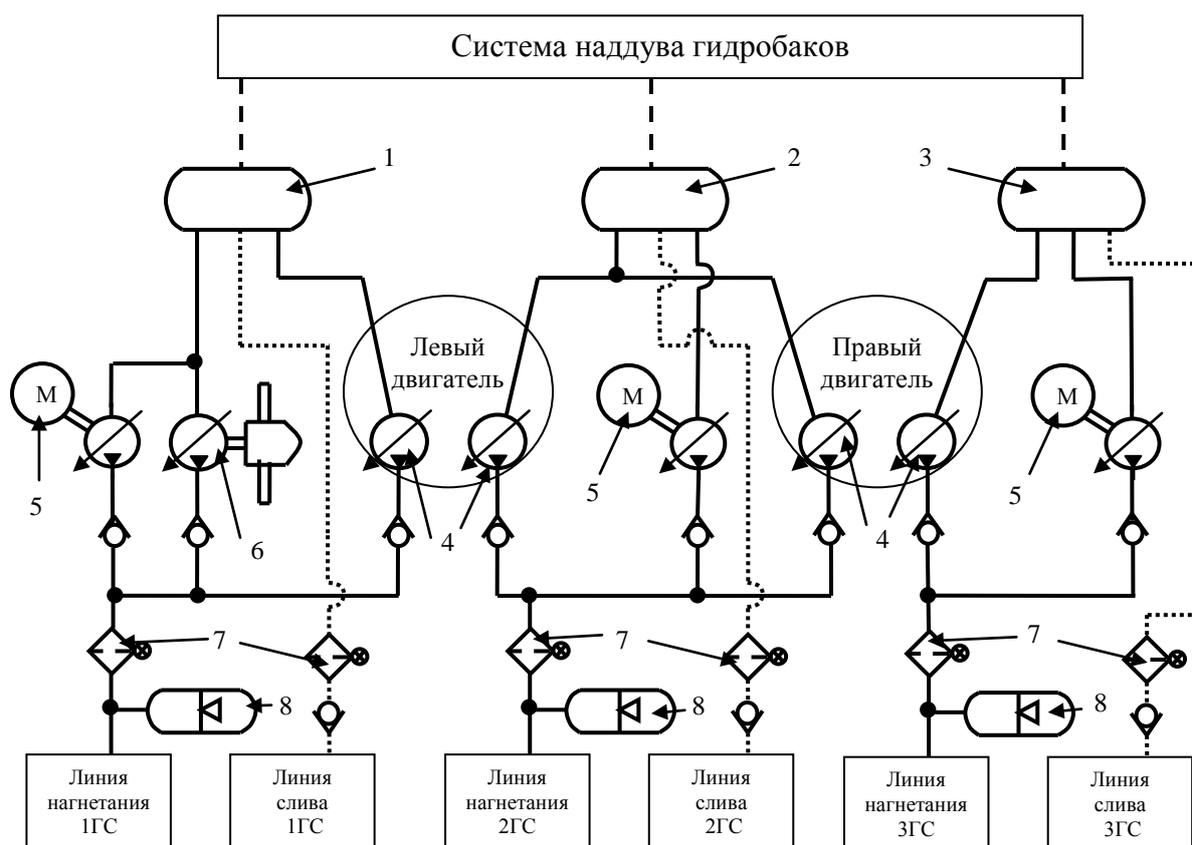


Рис. 12. Принципиальная схема распределения источников питания гидросистемы самолета Ту-204,

где 1,2,3- гидробаки 1ГС, 2ГС, 3ГС, соответственно; 4- гидронасос переменной подачи; 5- электроприводная насосная станция; 6- аварийная насосная станция с ветродвигателем; 7- фильтр; 8- гидроаккумулятор

В качестве аварийного источника гидравлической энергии применена аварийная энергетическая установка (насосная станция) 6, состоящая из турбонасоса с приводом от ветродвигателя, выпускаемого при отказе двигателей самолета в набегающий поток, при этом обеспечивается управление и посадка с выпущенным шасси. Турбонасос установлен в первой гидросистеме.

Для обеспечения бескавитационной работы гидронасосов, насосных станций и турбонасоса независимо от высоты полета имеется система наддува гидравлических баков 1-3 (на рисунке не показана).

Гидравлическое питание систем управления самолета осуществляют три независимые гидравлические системы - первая, вторая, третья. Общая мощность гидравлических систем, создаваемая насосами переменной подачи 4 с приводами от двигателей, достаточна для приведения в действие гидроагрегатов, работающих одновременно при различных рабочих комбинациях. Для отработок на земле, а также для компенсации мощности гидросистем при отказе одного из двигателей в первой, второй и третьей системах предусмотрены электрические насосные станции 5 с гидронасосами переменной подачи. Управление гидросистемами и их потребителями электродистанционное. Органы управления расположены на приборных панелях и пультах пилотов. Автоматическое включение насосной станции 5 в полете происходит при отказе двигателя. Принудительно насосная станция включается нажатием кнопки на щитке гидросистема верхнего пульта пилотов.

Для создания гидравлической мощности, необходимой для управления самолетом и посадки при отказе двух двигателей, в первой гидросистеме предусмотрена аварийная насосная станция 6. Насосная станция по сигналу отказа двух самолетных двигателей выпускается в поток воздуха автоматически от автономного источника энергии.

Заправка бака рабочей жидкостью гидросистемы производится закрытым способом от УПГ-300 НГЖ через бортовой клапан (на рисунке не показан) панели заправки по линии слива гидросистемы, при этом жидкость дополнительно очищается фильтром с номинальной толщиной фильтрации 5мкм. За насосами установлены фильтры высокого давления 7 с перепускным клапаном, через который жидкость направляется при засорении фильтроэлемента, и с сигнализацией засорения. Номинальная толщина фильтрации 6 мкм. Подобные фильтры установлены также в линии слива каждой гидросистемы.

Для обеспечения работы потребителей в условиях резкого изменения расхода жидкости в гидросистеме установлены гидроаккумуляторы 8, емкость гидравлической полости которых составляет 1,5 л, давление зарядки газовой полости  $(8,5 + 0,3)$  МПа.

Основными особенностями блока питания самолета Ту-204 являются:

- для обеспечения заданного уровня надежности ГС на каждом двигателе установлены по два гидронасоса переменной подачи 4, которые обеспечивают питание своей независимой гидросистемы. Так, на левом двигателе установлены гидронасосы первой и второй ГС;
- аварийным источником гидравлической энергии на самолете является энергетическая установка (насосная станция) 6, состоящая из турбонасоса с приводом от ветродвигателя.

*Блок питания самолета Суперджет.* Гидросистема самолета состоит из основной системы и вспомогательной системы. В свою очередь основная гидросистема подразделяется на три независимых подсистемы: первая, вторая и третья, а также включает систему дозаправки гидробаков. Вспомогательная гидросистема состоит из аварийной гидросистемы и системы блока передачи мощности. Номинальное рабочее давление - 3000 psi (210 кгс/см<sup>2</sup>).

Система контроля и управления подразделяется на следующие подсистемы:

- контроля уровня гидрожидкости;
- контроля давления;
- сигнализации давления;
- контроля температуры;
- сигнализации засорения фильтров.

Основная ГС предназначена для обеспечения потребителей гидропитанием в штатном режиме, обеспечения заправки гидробаков ГС1, ГС2, ГС3 с одного рабочего места, обеспечения быстрого подсоединения / разъединения наземной гидроустановки и заправки гидроаккумуляторов азотом.

Вспомогательная ГС предназначена для обеспечения гидропитанием потребителей при нештатных ситуациях на борту самолета в объеме функциональных возможностей подсистем. Аварийная гидравлическая система обеспечивает аварийным гидропитанием потребителей ГС2 и конструктивно входит в её состав. Система передачи мощности предназначена для передачи гидравлической энергии от ГС3 к ГС1 в систему уборки и основного выпуска шасси. Она включается в работу в случае отказа левого двигателя или гидронасоса ГС1. Через блок передачи мощности осуществляется механическая связь ГС1 и ГС3.

На рис. 13 приведена принципиальная схема блока питания ГС1 самолета. Гидрожидкость размещена в гидробаке 7. Источниками гидропитания в ГС1 являются: гидронасос переменной подачи 1, установленный на коробе приводов левого двигателя, насосная станция 2 с электроприводом переменного тока и гидронасосом переменной подачи, блок передачи мощности (PTU) 20 (гидропитание подается только системе уборки-выпуска шасси).

Основным источником давления в ГС1 является гидронасос 1. Он обеспечивает нормальную работу потребителей. Для отключения насосов от гидросистемы при пожаре левого двигателя или температуре в гидробаке выше 135°C в линии питания гидронасоса установлен перекрывной противопожарный клапан 3. Закрытие клапана 3 производится электродистанционно экипажем с пульта или автоматически при температуре в гидробаке выше 135°C по сигналу сигнализатора температуры 9, установленного в гидробаке ГС1.

Тепловой дозатор 17 служит для сброса гидрожидкости в случае повышения ее температуры выше нормы или отказе клапана 3 на закрытие. Резервным источником давления является насосная станция переменного тока 2. Насосная станция переменного тока включается в работу автоматически при уборке шасси, а также при отказе левого двигателя или основного гидронасоса. Насосная станция переменного тока в полете и на земле обеспечивается электропитанием от привод - генераторов маршевых двигателей. В полете от генератора ВСУ может обеспечиваться питание только одной насосной станции при отказе одного из привод-генераторов маршевого двигателя. На земле насосные станции обеспечиваются электропитанием от привод-генераторов маршевых двигателей, генератора ВСУ и от наземных источников электропитания.

В состав ГС1 функционально входит вспомогательный источник гидропитания - насос блока передачи мощности 20. Блок представляет собой моноблок передачи мощности от ГС3 к ГС1, который состоит из гидромотора и гидронасоса, механически соединенных общим валом.

В ГС1 установлены фильтры тонкой очистки 4, обеспечивающие поддержание заданного уровня чистоты гидрожидкости. Фильтры имеют механические или электрические сигнализаторы засорения, отсечные клапаны, некоторые снабжены перепускными клапанами. Установка указанных фильтров 4 позволяет эксплуатировать их по техническому состоянию. По мере загрязнения фильтроэлемента увеличивается его гидравлическое сопротивление и возрастает перепад давления на фильтре. При определенном значении перепада на головке фильтра с механическим сигнализатором появляется механический сигнализатор, а для фильтра с электрическим сигнализатором засорения - выдается электрический сигнал в центральный вычислитель, указывающий о наступлении предельной загрязненности фильтроэлемента. Наличие сигнализатора засорения сокращает число периодических демонтажей и проверок фильтрующего пакета.

Если указания электрического сигнализатора остаются незамеченными, то при возрастании перепада давления на фильтроэлементе до предельного значения для фильтров, установленных в линии основного слива, откроется перепускной клапан и поток жидкости будет направлен в обход фильтрующего пакета непосредственно в гидробак. Фильтры в линиях нагнетания и в линиях слива из насоса и насосной станции не имеют перепускных

клапанов, они выдерживают полный перепад давления на фильтре и не пропускают через себя жидкость от источников гидропитания в систему, что обеспечивает чистоту гидрожидкости. Для исключения ложных срабатываний при температуре ниже  $0^{\circ}\text{C}$  из-за увеличения вязкости жидкости при низкой температуре, фильтры снабжены термическими выключателями сигнализаторов засорения.

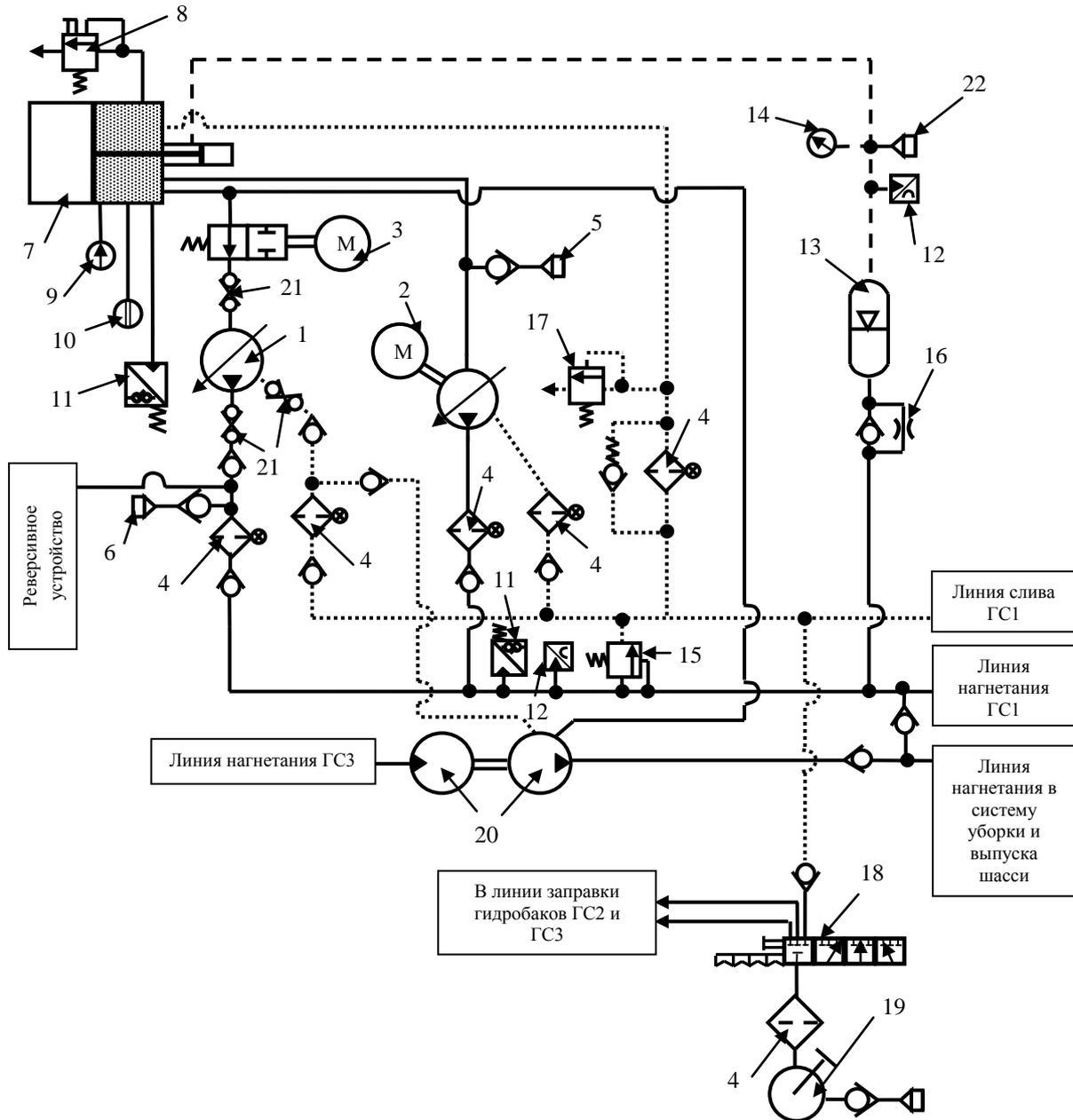


Рис.13. Принципиальная схема блока питания первой гидросистемы самолета Суперджет,

где 1- гидронасос; 2- насосная станция переменного тока; 3- противопожарный клапан; 4- фильтр; 5- бортовой клапан всасывания; 6- бортовой клапан нагнетания; 7- гидробак; 8,15- предохранительный клапан; 9- сигнализатор температуры; 10- датчик уровня гидрожидкости; 11- сигнализатор давления; 12- датчик давления; 13- гидроаккумулятор; 14- манометр; 16- дроссель; 17- тепловой дозатор; 18- селекторный кран заправки; 19- ручной насос; 20- блок передачи мощности; 21- разъемный клапан; 22- зарядный клапан

Сигнализаторы давления 11 за источниками гидропитания выдают информацию в блок управления и контроля гидросистемы. Контроль дозаправки гидробака при отсутствии электропитания на борту можно осуществлять по недистанционному указателю дозаправки на уровнемере 10 гидробака. Дозаправка гидробаков осуществляется централизованно с использованием ручного гидронасоса 19 и далее через фильтр 4, селекторный кран заправки 18 и систему обратных клапанов гидрожидкость поступает в гидробаки систем ГС1-ГС3.

В гидросистеме в линии нагнетания установлен предохранительный клапан 15, выполненный в виде агрегата, исключающего повышение давления в линии нагнетания, выше допустимых пределов. Он состоит из собственно предохранительного клапана 15, сигнализатора давления 11 и датчика давления 12. Сигнализатор давления выдает сигнал о минимальном давлении (ниже 1800 psi) в ГС1 на табло, расположенное на пульте управления гидросистемы. Датчик давления 12 выдает информацию в блок управления и контроля гидросистемы. Обратные клапаны обеспечивают запирающие потоки гидрожидкости в направлении, обратном рабочему.

Отработка гидросистемы и ее потребителей, отбор проб осуществляется через бортовые клапаны питания - всасывания 5 и нагнетания 6, установленные на панели наземного обслуживания ГС1. Через эти клапаны подсоединяется наземный источник гидропитания или пробоотборники для отбора проб гидрожидкости.

Зарядка гидроаккумулятора и азотной полости гидробака азотом обеспечивается через зарядный клапан 22, выполненный в одном корпусе с недистанционным манометром 14. Контроль зарядки гидроаккумулятора 13 осуществляется также по дисплею технического обслуживания, установленного на панели наземного обслуживания ГС1. В линии поддавливания установлен датчик давления 12, выдающий информацию в блок управления и контроля гидросистемы.

На стыке двигателя с пилоном установлены разъемные клапаны 21 в линии всасывания, в линии нагнетания и в линии слива из гидронасоса, обеспечивающие отсоединение коммуникаций гидросистемы при демонтаже (монтаже) двигателя без пролива гидрожидкости или демонтаже (монтаже) гидронасоса. Регламентные утечки из дренажных полостей источников гидропитания и гидробака гидросистемы собираются централизованно по трубопроводам дренажа в экологический бачок (на рисунке не показан) и удаляются из него при техническом обслуживании.

При повышении температуры выше нормы (177°C) плавкая пробка, установленная в тепловом дозаторе 17, расплавляется и гидрожидкость сбрасывается через тепловой дозатор и штуцер сброса на обшивке фюзеляжа в атмосферу.

В целом конструкция блоков питания ГС2 и ГС3 подобна блоку питания ГС1, но есть и ряд отличий. Так, источниками гидропитания в ГС2 являются насосная станция с электроприводом от системы переменного тока самолета и насосная станция с электроприводом от системы постоянного тока самолета. Вспомогательная система предназначена для обеспечения резервным и аварийным гидропитанием потребителей ГС1 и ГС2 в нештатных ситуациях. Вспомогательная система обеспечивает гидропитанием: в ГС1 - систему уборки и основного выпуска шасси, в ГС2 - всех потребителей. Вспомогательная система состоит из следующих подсистем: аварийной гидравлической системы, системы передачи мощности.

Аварийная гидравлическая система обеспечивает гидропитанием потребители ГС2 при отказе насосной станции переменного тока или нарушениях в работе системы электроснабжения самолета до момента включения насосной станции переменного тока ГС2 от ветрогенератора. Аварийная гидравлическая система состоит из следующих агрегатов: насосной станции постоянного тока, фильтров нагнетания и слива насосной станции, обратных клапанов.

*Блок питания самолета А-320.* Самолет имеет три постоянно действующие независимые гидравлические системы: зеленая, голубая и желтая. Принципиальная схема блока питания ГС самолета А-320 приведена на рис. 14. Следует учитывать, что ГС самолетов А-318, А-319, А-320 и А-321 подобны. Каждая подсистема имеет свой собственный гидробак 1. Для обеспечения бескавитационного режима работы источников энергии гидробаки надуваются воздухом от пневматической системы самолета. Обычно, отбор воздуха от двигателя для надува гидробаков (на рис. 14 не показан) осуществляется через перекрытый клапан высокого давления (HP) и давление поддерживается автоматически посредством редуктора (pressure reducing valve). Если давление отбираемого воздуха слишком низкое, то система забирает дополнительное количество воздуха через специальный заборный патрубок (cross bleed duct) и клапан (cross bleed valve). Система поддерживает достаточно высокое давление в гидробаках (50psi), что обеспечивает бескавитационный режим работы насосов.

Нормальное рабочее давление системы 3000 psi (2500 psi при питании от гидронасоса с приводом от вентилятора 4). (Примечание:  $1 \text{ ата} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 14,223 \text{ psi}$  (psi - фунт силы на квадратный дюйм)). Гидравлическая жидкость не может быть передана от одной системы к другой.

Основным источником энергии зеленой системы является гидронасос переменной подачи с приводом от двигателя 5. Источники энергии голубой ГС включают электроприводную насосную станцию с гидромотором переменной подачи 3, а также в случае чрезвычайных ситуаций используется гидронасос с приводом от набегающего потока посредством ветродвигателя (RAT) 4. Насосная станция включается автоматически, когда любой из двигателей отключен. Отсек RAT расположен в левом обтекателе, впереди основных опор шасси. Гидронасос RAT позволяет голубой системе функционировать, если оба двигателя отказали. RAT также включается автоматически при отказах двигателей. Гидронасос с приводом от набегающего потока посредством ветродвигателя можно включить вручную кнопкой «RAT MAN ON», в том числе и на земле.

Основной источник энергии желтой гидросистемы – насос переменной подачи с приводом от двигателя 5. Кроме того, имеется электроприводной гидронасос переменной подачи 3, который включается вручную или автоматически. Это дает возможность создать давление в системе при наземном обслуживании, когда двигатели ЛА не работают. Члены экипажа также могут использовать ручной насос 6 для создания давления в желтой системе, что позволяет управлять грузовыми дверьми при отсутствии электропитания на борту.

Блок передачи мощности 8 представляет собой реверсивный блок гидромотор-гидронасос, который предназначен для передачи мощности от желтой системы в систему зеленую и наоборот. Блок передачи мощности включается автоматически, когда перепад давления между зеленой и желтой системами превышает 500psi. При этом открываются электромагнитные краны переключения 9. Наличие блока передачи мощности позволяет зеленой системе находиться под давлением на земле, когда двигатели не работают и давление в желтой ГС создается насосной станцией 3.

Гидроаккумулятор 7 в каждой системе предназначен для гашения пульсаций рабочего давления на выходе из гидронасосов, а также для поддержания постоянного давления в системе путем подачи накопленной гидрожидкости потребителям на переходных режимах. Четыре дополнительных гидроаккумулятора установлены в функциональных подсистемах для обеспечения их нормальной работы при больших расходах рабочей жидкости. В случае падения гидравлического давления, подпорный клапан (приоритетный клапан) 10 отключает часть потребителей, оставляя только основные.

В зеленой и желтой гидросистемах имеются противопожарные запорные клапаны 2, которые летный экипаж может закрыть, нажав кнопки «FIRE» на ENG 1(2).

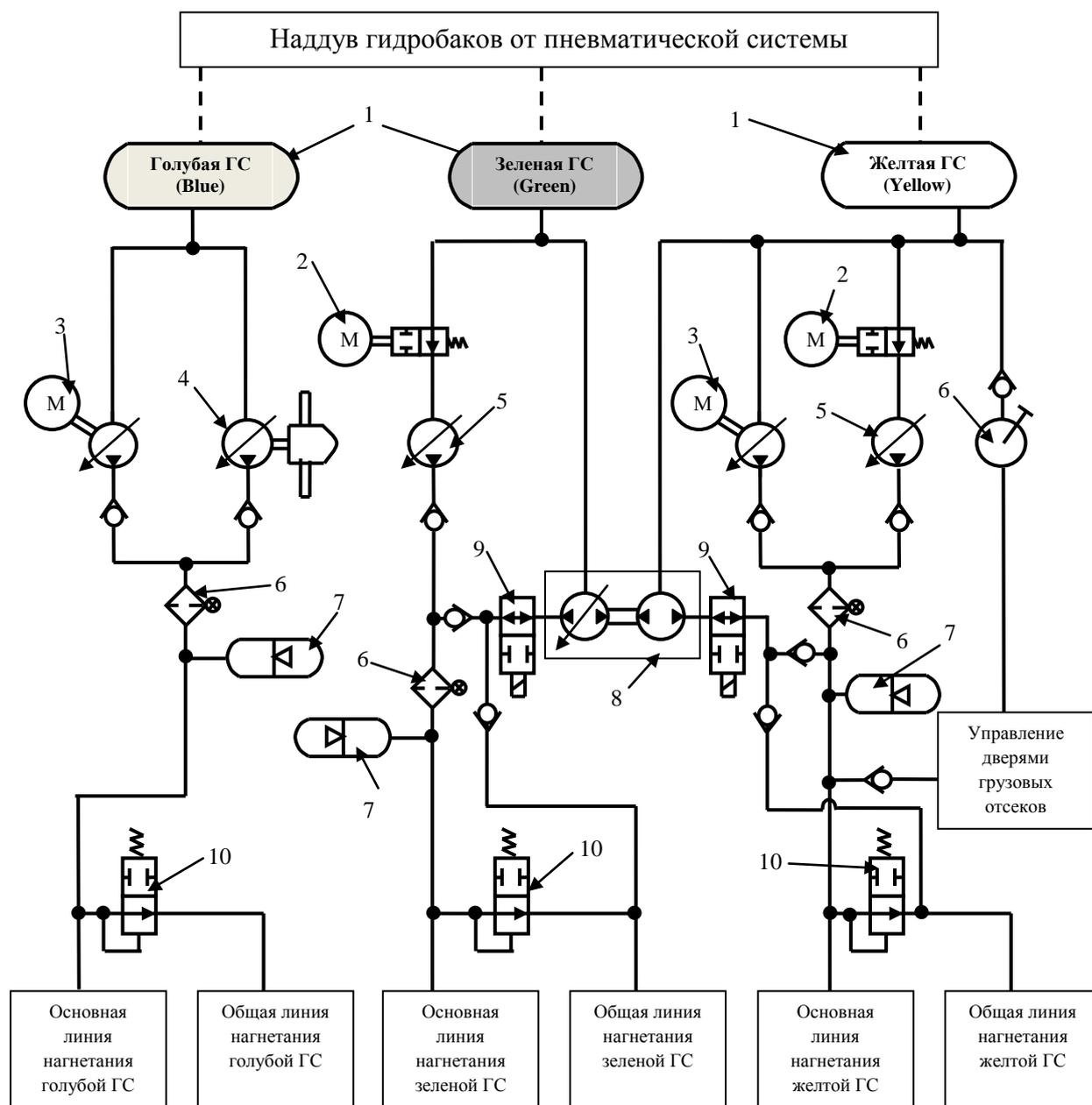


Рис. 14. Принципиальная схема блока питания гидросистемы самолета А-320.

где 1- гидробак (Reservoir); 2- противопожарный клапан (Fire shut-off valve); 3- электроприводная насосная станция (AC electric motor pump); 4- гидронасос с ветродвигателем (Ram Air Turbine (RAT)); 5- гидронасос с приводом от двигателя ЛА (Engine driven pump); 6- фильтр (Filter); 7- гидроаккумулятор (System accumulator); 8- блок передачи мощности (Power Transfer Unit (PTU)); 9- электромагнитный кран переключения; 10- подпорный клапан (Priority valve)

*Блок питания самолета Боинг-737.* На самолётах Боинг-737 (рис. 15) имеется три гидравлические системы: основные А и В, а также резервная (Standby). На самолетах первых серий (737-100 и -200) система А работает от двух гидронасосов переменной подачи с приводом от двигателей, а система В - от двух электроприводных насосных станций. Электроприводной гидронасос переменной подачи резервной системы работает от аккумуляторной батареи и обеспечивает работу только функциональных подсистем предкрылков, руля направления и реверса тяги.

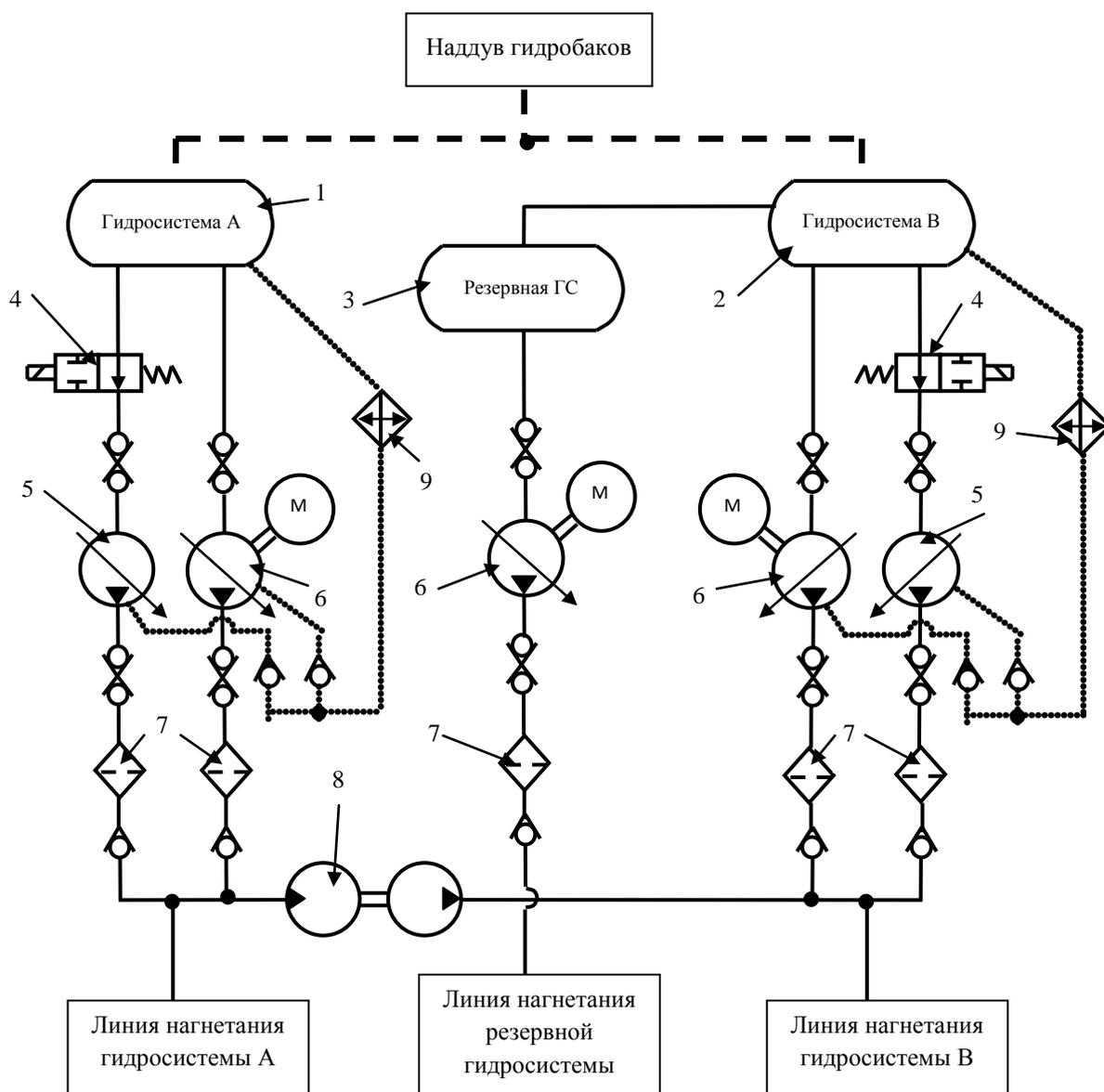


Рис. 15. Принципиальная схема блока питания ГС самолета Боинг-737, где 1- гидробак ГС А; 2- гидробак ГС В; 3- гидробак резервной гидросистемы; 4- противопожарный клапан; 5- гидронасос с приводом от двигателя; 6 - электроприводной гидронасос; 7- фильтр; 8- блок передачи мощности; 9- теплообменник

Гидравлическая система самолётов более поздних серий имеет существенные отличия. В ней перераспределены потребители энергии и блоки питания каждой из основных систем (А и В) включают по одному приводному гидронасосу переменной подачи 5 и одному электроприводному гидронасосу 6. В резервной гидросистеме установлен один электроприводной гидронасос переменной подачи 6. Особенностью ГС самолета Боинг-737 является наличие блока передачи мощности 8 от ГС А к ГС В. При этом в линию нагнетания ГС А включен гидромотор, который через общий вал приводит во вращение гидронасос, создающий давление в гидросистеме В.

Для обеспечения бескавитационного режима работы гидронасосов осуществляется наддув гидробаков воздухом, поступающим от системы кондиционирования. Для охлаждения гидронасосов на всех режимах эксплуатации (особенно на режиме минимальной подачи) предусмотрена прокачка заданных объемов гидрожидкости через теплообменники 9. В линиях всасывания приводных гидронасосов установлены электроприводные перекрывные (противопожарные) краны 4. В блоке питания ГС самолета Боинг-737 установлены обратные клапаны, обеспечивающие заданное направление движения гидрожидкости в системе. Имеются также разъемные клапаны для монтажа/демонтажа гидронасосов и двигателей без слива гидрожидкости из системы.

*Блок питания самолета А-380.* Принципиальная схема распределения источников питания ГС самолета А-380 приведена на рис. 16.

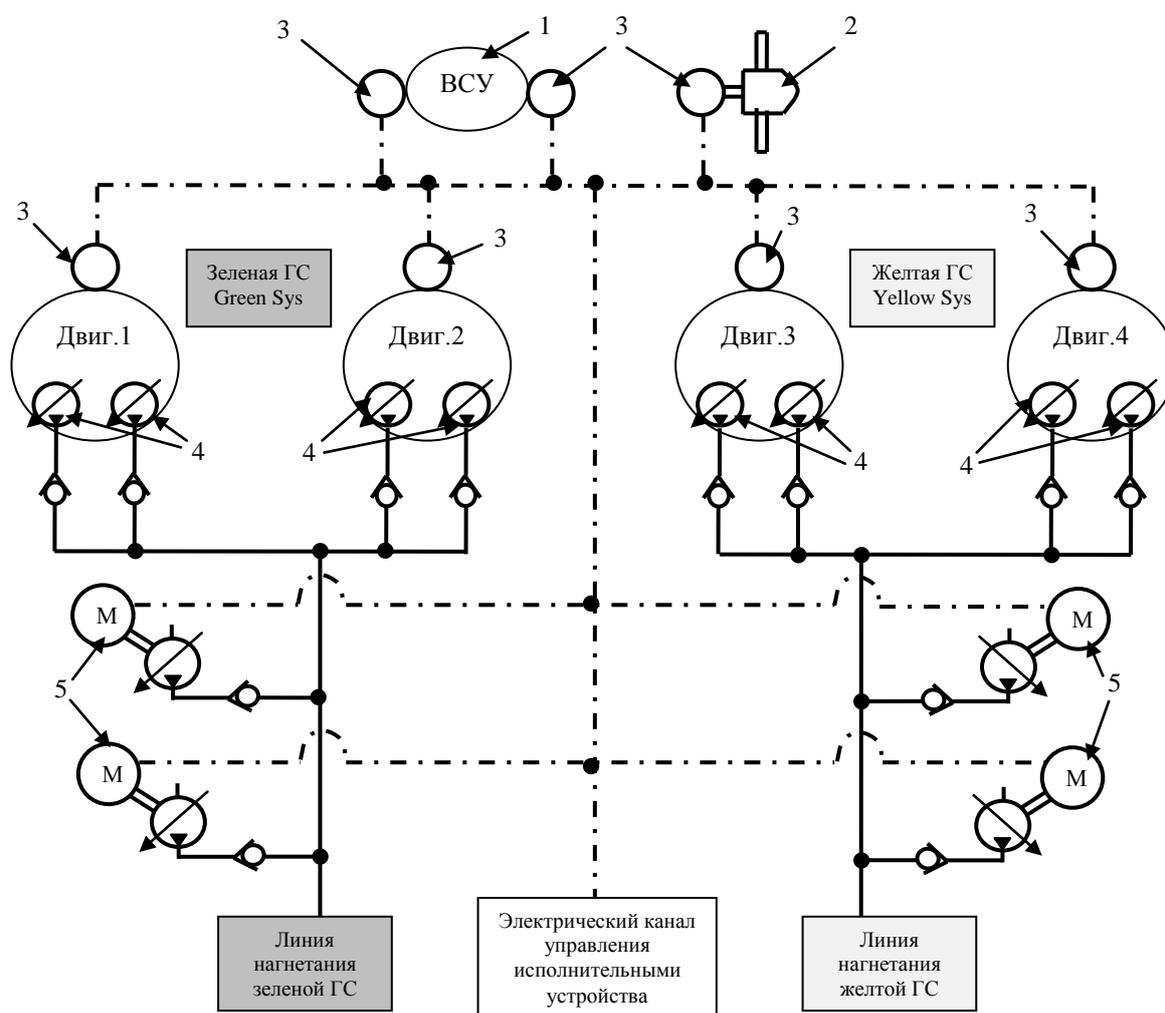


Рис. 16. Принципиальная схема распределения источников питания гидросистемы самолета А-380,

где 1- ВСУ (вспомогательная силовая установка); 2- ветродвигатель привода электрогенератора; 3- электрогенератор; 4- гидронасос переменной подачи с приводом от двигателя; 5- электроприводная насосная станция

ГС самолета состоит из трех независимых систем: двух гидравлических (зеленой и желтой) и одной электрической. Важнейшая особенность самолета состоит в том, что основные жизненно важные функциональные подсистемы (органы управления) имеют исполнительные устройства с трехканальным резервированием: два канала гидравлических и один – электрический.

На каждом из четырех двигателей (1-4) установлено по два приводных гидронасоса 4 и по одному электрогенератору 3. Резервными источниками энергии в электросистеме являются два генератора 3, работающие от вспомогательной силовой установки 1 и один генератор 3 с приводом от ветродвигателя 2. Приводные гидронасосы переменной подачи зеленой гидросистемы установлены на двигателях 1 и 2, а желтой ГС на двигателях 3 и 4, соответственно. В качестве резервных источников энергии в зеленой и желтой ГС используются по два электроприводных гидронасоса 5.

### **1.3.5. Элементный состав блоков питания гидравлических систем**

Анализ рассмотренных блоков питания современных ЛА позволяет сформулировать некоторые общие свойства и характеристики.

1. Если в ГС имеются длительно действующие потребители, обычно это система управления ЛА, то в блоке питания такой системы целесообразно установить насос переменной подачи с линией охлаждения при «нулевой» подаче.

2. В случае, когда функциональные подсистемы являются эпизодически действующими, т.е. система управления ЛА не является функциональной системой ГС, блок питания может иметь насос постоянной подачи с автоматом (агрегатом) разгрузки насоса.

3. Типовой блок питания имеет гидробак с системой наддува для обеспечения бескавитационного режима работы гидронасосов (ГС открытого типа). Значительно реже используются ГС закрытого и полужакрытого типа.

4. Для обеспечения надежности и долговечности ГС необходима фильтрация рабочей жидкости. В линии всасывания фильтры не устанавливаются. Фильтры в линиях нагнетания и слива могут иметь механические или электрические сигнализаторы засорения. Для удобства монтажа фильтры оснащены отсечными клапанами. Некоторые фильтры имеют перепускные клапаны.

5. До и после приводных гидронасосов устанавливаются разъемные клапаны, позволяющие демонтировать насос (или двигатель) без слива жидкости из ГС.

6. При отказе регуляторов подачи гидронасосов разрушению системы препятствуют предохранительные клапаны, соединяющие линии нагнетания и слива.

7. В линиях нагнетания на выходе из каждого гидронасоса (насосной станции, турбонасосной установки и др.) устанавливаются обратные клапаны, которые обеспечивают заданное движение рабочей жидкости по системе.

8. В линиях нагнетания за насосами устанавливают гидроаккумуляторы, которые позволяют сглаживать пульсации давления на выходе из насосов, а также обеспечивают питание функциональных подсистем на переходных режимах работы насосов. В ГС с насосами постоянной подачи наличие гидроаккумулятора большого объема позволяет сократить количество срабатываний автомата разгрузки насосов.

9. При проектировании ГС необходимо предусмотреть установку бортовых клапанов разъёма (всасывания и нагнетания) для подсоединения наземной гидроустановки, а также клапаны принудительного стравливания давления из ГС.

10. Обычно линия нагнетания разделена на общую линию нагнетания и линию нагнетания основных подсистем (органы управления, шасси, механизация). Регулирование работы системы в этом случае осуществляет подпорный (приоритетный) клапан.

11. Кроме указанных основных конструктивных элементов в блоках могут быть аварийные и резервные источники питания, сепараторы, дренажные баки, баллоны для наддува, гасители гидравлического удара, пожарные краны и т.п.

12. Аварийными и резервными источниками в блоках питания современных ЛА гражданской авиации являются:

- электроприводные насосные станции переменного и постоянного тока;
- турбонасосные установки с приводом от системы кондиционирования воздуха;
- гидронасосы с ветродвигателем;
- блоки передачи мощности (реверсивный блок гидромотор-гидронасос).

#### **Тема 1.4. Функциональные подсистемы вертолета**

Рассмотрим назначение и работу функциональных подсистем вертолета на примере ГС наиболее распространенных отечественных вертолетов Ми-171 и Ка-32.

##### **1.4.1. Гидросистема вертолета Ми-171**

Гидравлическая система вертолета предназначена для питания рабочей жидкостью агрегатов управления КАУ-115АМ (рис. 17), включенных в систему управления вертолетом (поперечного, ножного (путевого), продольного и общим шагом); гидроцилиндра управления фрикционом ручки ШАГ-ГАЗ; гидроцилиндра управления упором в продольном управлении вертолетом.

##### **Примечания**

1. Фрикцион надежно удерживает ручку ШАГ-ГАЗ в любом промежуточном положении, что обеспечивает возможность бесступенчатого изменения общего шага несущего винта. Фрикцион фиксирует ручку таким образом, что без нажатия на кнопку выключения фрикциона ручку ШАГ-ГАЗ можно перемещать только с усилием 20...25 кгс. Включается фрикцион нажатием соответствующей кнопки на ручке. При этом срабатывает электромагнитный кран ГА-192Т (17) гидросистемы, и жидкость через дозатор 18 поступает в цилиндр 19 фрикциона под поршень. Под давлением жидкости поршень совместно с плунжером перемещается, отжимает тарелку, и диски фрикциона освобождаются. При отпускании кнопки тарелка под действием усилий сжатых пружин вновь прижмет подвижные диски фрикциона к неподвижным. Диапазон отклонений ручки ШАГ-ГАЗ составляет угол, равный  $56^\circ$ , крайние положения ручки ШАГ-ГАЗ ограничиваются упором.

2. Гидравлический упор предназначен для загрузки на земле ручки управления дополнительным усилием  $(12\pm 3)$  кгс при отклонении ее назад за пределы, соответствующие положению наклона тарелки автомата перекоса назад на угол  $2^\circ\pm 12'$ . Включение гидроупора производится механизмами, установленными на штоках камер низкого давления главных стоек шасси. Каждый из механизмов состоит из микровыключателя, коромысла с толкателем и пружины. При не обжатом штоке камеры низкого давления амортизаторов тарелка автомата перекоса способна отклоняться назад на угол до  $5^\circ$ , что характерно для управления вертолетом в полете. После посадки вертолета шток камеры низкого давления амортизаторов обжимается, и шлиц-шарнир складывается. При этом он через толкатель поворачивает коромысло, которое освобождает концевой выключатель, в результате чего подается питание на электромагнитный кран ГА-192Т (17). Последний срабатывает и подает жидкость в цилиндр 20 гидроупора. Под давлением гидрожидкости шток цилиндра 20 перемещается и ограничивает диапазон отклонения тарелки автомата перекоса назад углом  $2^\circ\pm 12'$ . Ограничение отклонения тарелки автомата перекоса назад препятствует удару лопастей несущего винта о хвостовую балку при посадке вертолета с большим углом кабрирования. При необходимости увеличения угла наклона тарелки автомата перекоса назад на ручку управления необходимо приложить усилие не менее  $(12\pm 3)$  кгс.

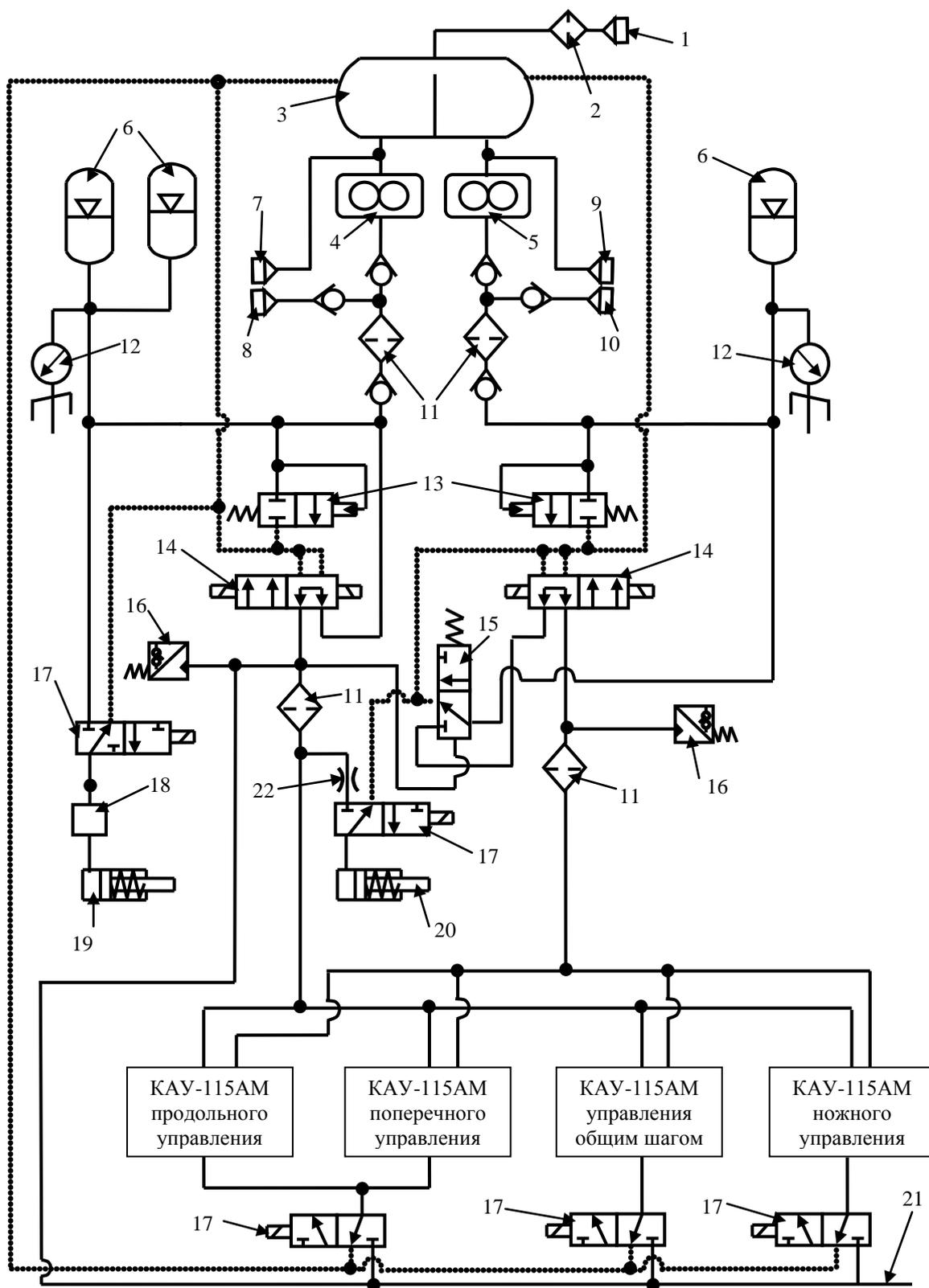


Рис. 17. Принципиальная схема гидросистемы вертолета Ми-171,

где 1- заливная горловина гидробака; 2- фильтр; 3-гидробак; 4-гидронасос основной гидросистемы (ОГС); 5-гидронасос дублирующей гидросистемы (ДГС); 6-гидроаккумулятор; 7,9-клапан всасывания ОГС и ДГС, соответственно; 8,10- клапан нагнетания ОГС и ДГС, соответственно; 11-фильтр; 12-датчик давления; 13- агрегат разгрузки насоса; 14- двухпозиционный гидрокран; 15- клапан аварийного питания; 16-сигнализатор давления; 17-электромагнитный кран включения; 18-дозатор; 19-цилиндр управления фрикционом ручки ШАГ-ГАЗ; 20-цилиндр управления упором в продольном управлении; 21-коллектор комбинированного управления (от автопилота); 22-дрессель

Гидравлическая система вертолета Ми-171 состоит из основной и дублирующей систем. В гидравлической системе осуществлен принцип дублирования агрегатов и трубопроводов основной гидросистемы (ОГС) агрегатами и трубопроводами дублирующей гидросистемы (ДГС), за исключением кранов включения (17) комбинированных агрегатов управления (КАУ-115АМ) на управление вертолетом от автопилота, агрегатов включения подачи жидкости к гидроцилиндру 19 управления фрикционом ручки ШАГ-ГАЗ, а также гидроцилиндру 20 управления упором в продольном управлении, которые работают только от ОГС вертолета.

Шестеренные насосы НШ-39М основной 4 и дублирующей 5 систем установлены на приводах главного редуктора, что обеспечивает нормальную работу гидросистемы в случае отказа двигателей и перехода вертолета на режим самовращения несущего винта. Гидробак 3, разделенный на две изолированные друг от друга полости, питает отдельно основную и дублирующую системы. В основной и дублирующей системах имеется по одному двухпозиционному электромагнитному крану 14, с помощью которых обеспечивается подключение питания потребителей от системы. Кроме того, электромагнитный кран 14 ОГС при его выключении позволяет проверить исправность работы дублирующей системы. При включении кранов 14 основной и дублирующей систем обеспечивается проверка кинематической цепи управления вертолетом. Для проверки работы гидросистемы от наземной гидроустановки установлена бортовая панель с четырьмя разъемными клапанами 7-10 для подсоединения шлангов наземной гидроустановки.

*Основная гидросистема предназначена для питания рабочей жидкостью агрегатов управления КАУ-115АМ поперечного управления, продольного управления, управления общим шагом, ножного управления, гидроцилиндров управления фрикционом ручки ШАГ-ГАЗ и упором в продольном управлении.*

В дублирующей гидросистеме применены такие же агрегаты, что и в основной гидросистеме, кроме клапана аварийного питания 15, который предназначен для автоматического включения дублирующей гидросистемы при отказе основной гидросистемы. При работающей основной гидросистеме насос 5 дублирующей гидросистемы работает вхолостую - на слив рабочей жидкости в бак через обратный клапан, фильтр грубой очистки 11, автомат разгрузки насоса 13 и клапан аварийного питания 15. При падении давления в основной гидросистеме до  $30 \pm 5$  кгс/см<sup>2</sup> автоматически срабатывает клапан аварийного питания 15 и включает дублирующую гидросистему. При этом насос 5 ДГС с холостой работы переходит на рабочий режим - повышения давления в системе.

Рабочая жидкость через клапан аварийного питания 15, двухпозиционный электромагнитный кран 14 и фильтр тонкой очистки 11 поступает к потребителям. От электромагнитного крана 14 рабочая жидкость также поступает к сигнализатору давления 16, который при достижении в дублирующей гидросистеме давления  $25 \pm 1,6$  кгс/см<sup>2</sup> замыкает электроцепь электромагнитного реле, которое, срабатывая, переключает кран 14 ОГС на выключение (несмотря на то, что переключатель находится в положении ВКЛ). Линия нагнетания ОГС до крана 14 запирается, а расположенная за краном соединяется со сливом в бак, давление в ней падает до нуля, срабатывает сигнализатор 16 ОГС и гаснет табло - **ОСНОВНАЯ ВКЛЮЧЕНА**.

Электромагнитные краны 17 предназначены для подачи рабочей жидкости к КАУ-117АМ при переключении их на комбинированный режим работы (включая автопилот), а также к гидроцилиндрам управления фрикционом ручки ШАГ-ГАЗ 19 и управления гидроупором в продольном управлении 20. При включенном электропитании рабочая жидкость подается к агрегатам, при выключенном электропитании рабочая жидкость из агрегатов сливается в бак гидросистемы.

#### *Подсистема управления фрикционом ручки ШАГ-ГАЗ*

Для включения системы используется электромагнитный кран 17. Рабочее давление крану подается от общей линии нагнетания основной ГС. Затем гидрожидкость проходит через дозатор 18, предназначенный для отключения трубопровода питания гидроцилиндра управления фрикционом ручки ШАГ-ГАЗ 19 при его повреждении для предотвращения вытекания жидкости из бака.

#### *Подсистема управления гидроупором в продольном управлении*

Рабочая жидкость из линии нагнетания через двухпозиционный кран 14, фильтр 11 и дроссель 22 поступает к электромагнитному крану 17 включения цилиндра управления гидроупором 20.

#### *Подсистема управления комбинированными агрегатами управления КАУ-115АМ*

Рабочая жидкость из линии нагнетания проходит фильтр 11 и поступает непосредственно на вход агрегатов КАУ-115АМ. Одновременно гидрожидкость под давлением подается к трем электромагнитным кранам 17, которые обеспечивают подключение автопилота к соответствующим агрегатам КАУ-115АМ.

### **1.4.2. Гидросистема вертолета Ка-32**

Гидравлическая система предназначена для привода гидравлических исполнительных механизмов различных систем вертолета и приведена на рис. 18 (на рисунке сплошными линиями показаны линии нагнетания и всасывания, точечной – линии слива). Гидравлическая система вертолета состоит из трех систем - основной, дублирующей и вспомогательной. Основная система обеспечивает подачу рабочей жидкости:

- к рулевым приводам, входящим в систему управления вертолетом;
- к тормозам колес основных опор шасси;
- к гидроцилиндру управления стрелой подъемного устройства (лебедки).

Дублирующая система обеспечивает подачу рабочей жидкости только к рулевым приводам.

Вспомогательная система предназначена для аварийной подачи рабочей жидкости:

- к тормозам колес основных опор шасси при отказе основной системы;
- для подъема и опускания носовой и хвостовой частей фюзеляжа.

Кроме того, вспомогательная система может быть подключена к основной гидросистеме и обеспечивать работу всех ее потребителей (на стоянке, для проверки систем вертолета).

Источниками подачи рабочей жидкости под заданным давлением в основную и дублирующую гидросистемы являются гидронасосы переменной подачи 1 с приводом от коробки приводов редуктора несущих винтов. Подачу рабочей жидкости во вспомогательную систему осуществляет насосная станция 2 с приводом от электродвигателя, работающего от электрической сети вертолета.

Для управления работой гидросистемы и подключения к ней потребителей в линиях установлены электрогидравлические распределители, обратные и предохранительные клапаны, редукторы и другие агрегаты. Часть фильтров, устройств управления и сигнализации работы гидросистемы размещены в блоке фильтров рулевой системы, что обеспечивает большую надежность работы рулевых приводов, входящих в систему управления вертолетом. Органы дистанционного управления гидросистемой, а также контрольные приборы и светосигнальные табло расположены на пультах и приборной доске в кабине экипажа.

В состав гидравлической системы вертолета входит также ручной гидронасос 7, подключенный к вспомогательной системе. При отсутствии наземной гидроустановки ручной насос позволяет без включения насосной станции производить подъем и опускание носовой и хвостовой частей фюзеляжа и осуществлять торможение колес при стоянке (стояночное торможение).

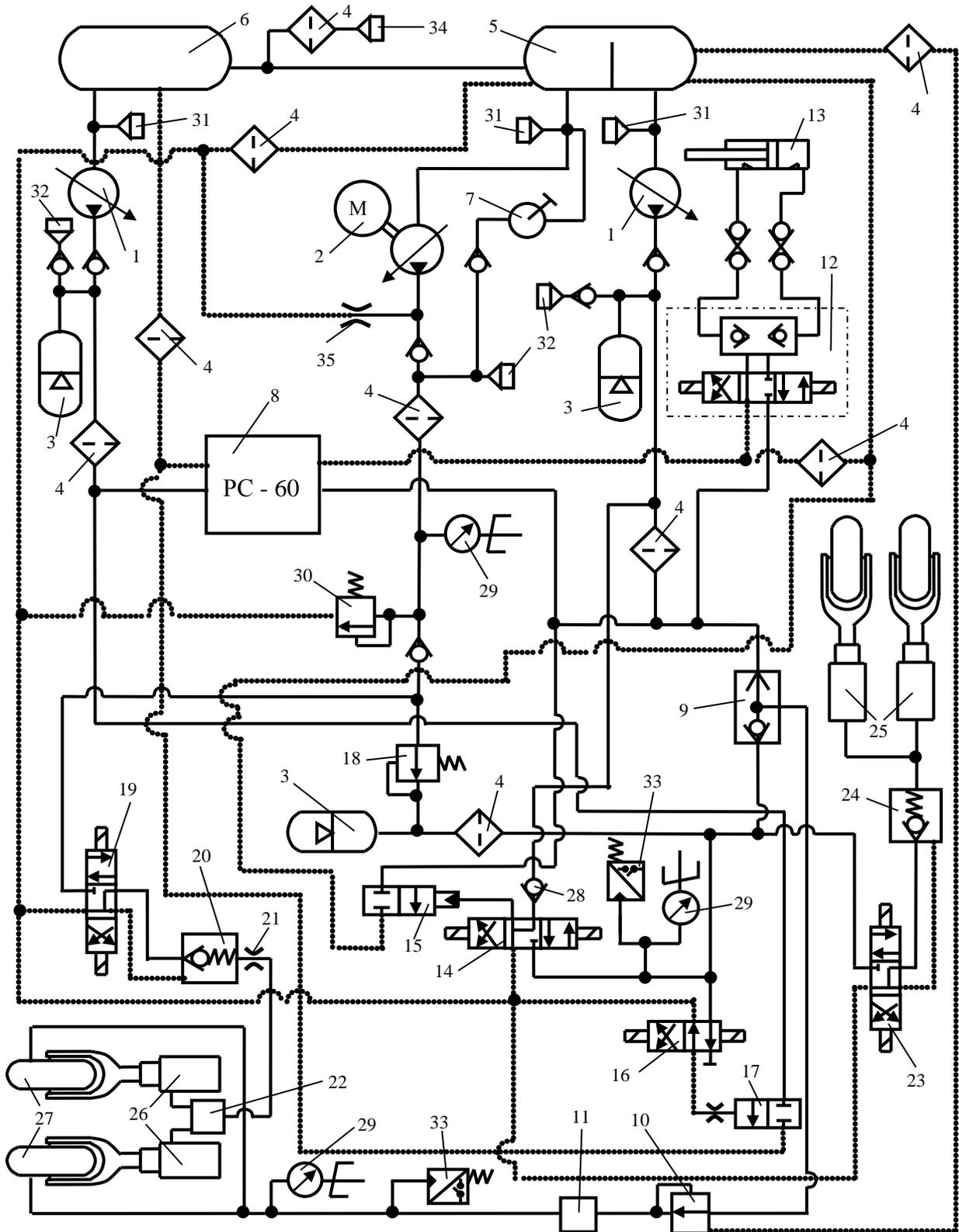


Рис. 18. Принципиальная схема гидросистемы вертолета Ка-32, где 1- приводной гидронасос; 2- насосная станция; 3- гидроаккумулятор; 4- фильтр; 5,6- гидробак; 7- ручной насос; 8- рулевая система; 9- переключатель; 10- клапан редукционный; 11- дозатор; 12- распределитель с гидрозамком; 13- гидроцилиндр управления стрелой; 14,16,19,23- распределитель; 15,17- клапан слива; 18- редуктор; 20,24- гидрозамок; 21,35- дроссель; 22-порционер; 25- гидроцилиндр подъема носовой части; 26- гидроцилиндр подъема хвостовой части; 27- тормозное колесо; 28- обратный клапан; 29- датчик давления; 30- предохранительный клапан; 31- бортовой клапан всасывания; 32- бортовой клапан нагнетания; 33- сигнализатор давления; 34- бортовой клапан заправки

Трубопроводы гидросистемы имеют нумерацию, нанесенную краской. Первая цифра указывает на принадлежность трубопровода к основной, дублирующей или вспомогательной гидросистемам. Цифрой 1 обозначаются трубопроводы основной гидросистемы, цифрой 2 – трубопроводы дублирующей гидросистемы, цифрой 3 – трубопроводы вспомогательной гидросистемы, цифрой 4 – трубопроводы системы наддува гидробаков. Вторая цифра указывает на принадлежность трубопроводов к одной из линий гидросистем. Цифрой 1 обозначаются трубопроводы линии всасывания, цифрой 2 – трубопроводы линии нагнетания, цифрой 3 – трубопроводы линии слива, цифрой 4 – трубопроводы линии дренажа. Последующие цифры после двух первых и точки указывают порядковый номер трубопровода в определенной линии гидросистемы. Например: трубопровод 12.025 принадлежит к линии нагнетания основной гидросистемы и имеет порядковый номер 025.

*Основные технические данные:*

- рабочая жидкость ..... АМГ-10;
- рабочее давление в основной и дублирующей гидросистемах, кгс/см<sup>2</sup> ..... 64-90;
- рабочее давление во вспомогательной гидросистеме:
- в линии подъема хвостовой части фюзеляжа, кгс/см<sup>2</sup> .....210;
- в линии подъема носовой части фюзеляжа и других, кгс/см<sup>2</sup> .....80;
- давление зарядки азотом гидроаккумуляторов основной, дублирующей и вспомогательной гидросистем, кгс/см<sup>2</sup> .....30;
- рабочий диапазон температуры рабочей жидкости, °С..... от -40 до +85;
- давление срабатывания предохранительных клапанов:
- основной и дублирующей гидросистем, кгс/см<sup>2</sup> .....110;
- вспомогательной гидросистемы, кгс/см<sup>2</sup> .....240;
- количество рабочей жидкости, заливаемой в баки:
- основной и вспомогательной гидросистем, л.....12;
- дублирующей гидросистемы, л.....11.

*Работа*

*А. Работа основной гидросистемы*

Из гидробака 5 (рис. 18) основной гидросистемы по трубопроводу всасывается рабочая жидкость под давлением наддува 0,4 кгс/см<sup>2</sup> и поступает к штуцеру всасывания гидронасоса 1.

*Подсистема питания рулевой системы РС-60*

Из гидронасоса по трубопроводам нагнетания через обратный клапан, защищающий гидронасос при работе гидросистемы от аэродромной гидроустановки, рабочая жидкость под давлением 64–90 кгс/см<sup>2</sup>, пройдя фильтр 4, поступает к штуцеру нагнетания (напор) рулевой системы РС-60 (8).

*Подсистема управления тормозами колес шасси*

После фильтра 4 рабочая жидкость по трубопроводу поступает к гидравлическому переключателю (челночному клапану) 9 и редукционному клапану 10. При нажатом штоке редукционного клапана гидрожидкость через дозатор 11 поступает в тормозные камеры колес шасси 27. Давление в системы контролируется сигнализатором давления 33 и датчиком давления 29.

*Подсистема управления стрелой подъемного устройства (лебедки)*

Гидрожидкость по трубопроводу через распределитель с гидрозамком 12 поступает к гидроцилиндру 13 управления стрелой подъемного устройства (лебедки).

Слив из системы тормозов, слив из системы управления стрелой лебедки и РС-60 осуществляется через соответствующие фильтры 4. С целью проверки работы рулевой системы от дублирующей гидросистемы предусмотрено отключение основной гидросистемы. Для этого переключатель на пульте управления ГС устанавливается в положение ОСН ОТКЛ, срабатывает распределитель 14 (на рисунке левый электромагнит) и

рабочая жидкость вспомогательной гидросистемы поступает к клапану слива 15, переключая его на перепуск рабочей жидкости из линии нагнетания основной гидросистемы в линию слива. Таким образом, чтобы отключить основную, а также и дублирующую гидросистемы необходимо, чтобы во вспомогательной гидросистеме было рабочее давление, т.е. насосная станция должна работать.

*Б. Работа дублирующей гидросистемы по управлению рулевой системой РС-60*

Из гидробака 6 дублирующей гидросистемы по трубопроводу всасывания рабочая жидкость под давлением наддува поступает к штуцеру всасывания гидронасоса 1. Из гидронасоса через обратный клапан и фильтр 4 рабочая жидкость под давлением 64 - 90 кгс/см<sup>2</sup> поступает к штуцеру нагнетания (напор) рулевой системы 8. С целью проверки работы рулевой системы от одной только основной гидросистемы предусмотрено отключение дублирующей гидросистемы. Для этого выключатель устанавливается в положение ОТКЛ, срабатывает распределитель 16 (левый электромагнит на рисунке) и рабочая жидкость вспомогательной гидросистемы поступает к клапану слива 17, переключая его на перепуск рабочей жидкости из линии нагнетания дублирующей гидросистемы в линию слива.

*В. Работа вспомогательной гидросистемы*

Из гидробака 5 по трубопроводу всасывания вспомогательной гидросистемы рабочая жидкость под давлением наддува поступает в насосную станцию 2. От насосной станции через обратный клапан рабочая жидкость под давлением 210 кгс/см<sup>2</sup> поступает в фильтр 4. За фильтром рабочая жидкость идет по двум линиям: по первой – через обратный клапан на гидравлический редуктор 18; по второй – на распределитель 19.

*Подсистема управления гидроцилиндром подъема хвостовой части*

При включении распределителя 19 гидрожидкость поступает на гидрозамок 20, дроссель 21 и порционер 22 и далее к цилиндрам 26 амортизационных стоек основных опор шасси для подъема и опускания хвостовой части фюзеляжа. Односторонний гидрозамок 20 обеспечивает при выключенном распределителе фиксацию амортизационных стоек в любом положении при подъеме или опускании хвостовой части фюзеляжа. Дроссель 21 позволяет производить плавный подъем или опускание фюзеляжа.

От редуктора 18, который понижает давление до 80 кгс/см<sup>2</sup>, рабочая жидкость подается в гидроаккумулятор 3 и в фильтр 4. Из фильтра рабочая жидкость поступает к распределителю 23 и челночному клапану 9.

*Подсистема управления гидроцилиндром подъема носовой части*

При включении распределителя 23 гидрожидкость подается на гидрозамок 24 и к цилиндрам амортизационных стоек 25 передних опор шасси для подъема и опускания носовой части фюзеляжа.

*Подсистема управления тормозами колес шасси*

Рабочая жидкость из линии нагнетания вспомогательной ГС через гидравлический переключатель 9, редукционный клапан 10, дозатор 11 поступает к тормозным камерам колес 27 основных опор шасси. Гидравлический переключатель обеспечивает переключение подачи рабочей жидкости к тормозам колес с основной гидросистемы на вспомогательную при падении давления в основной гидросистеме до 50 кгс/см<sup>2</sup>. Переключение со вспомогательной гидросистемы на основную происходит при повышении давления в основной гидросистеме выше 53 кгс/см<sup>2</sup>.

*Подсистема подключения линии нагнетания вспомогательной ГС к потребителям основной ГС*

Из линии нагнетания вспомогательной ГС гидрожидкость поступает также к распределителю 14, служащему для подсоединения вспомогательной гидросистемы к основной. Для этого переключатель устанавливается в положение НС К ОСН, срабатывает распределитель 14 (правый электромагнит на рисунке) и рабочая жидкость от

вспомогательной гидросистемы подается через обратный клапан 28 в основную гидросистему ко всем ее потребителям.

Параллельно с насосной станцией 2 подключен ручной насос 7, позволяющий производить подъем и опускание носовой и хвостовой частей фюзеляжа и торможение колес без включения насосной станции. Гидроаккумулятор 3 обеспечивает стояночное торможение колес. В нерабочем положении рукоятка ручного насоса хранится на левом борту фюзеляжа, между шпангоутами № 17 и 19, на крышке люка для доступа к электроаппаратуре с ее внутренней стороны. Давление, создаваемое насосной станцией, и давление во вспомогательной гидросистеме контролируются по манометрам на приборной доске, которые получают сигнал от датчиков давления 29.

Для наземной отработки систем в каждой из них установлены бортовые клапаны всасывания 31 и нагнетания 32. Для контроля работоспособности систем используются сигнализаторы давления 33. Для заправки баков гидрожидкостью используется бортовой клапан 34. Для охлаждения насосной станции 2 часть рабочей жидкости из линии нагнетания перекачивается обратно в бак через дроссель 35.

### **1.4.3. Типовые агрегаты гидравлических систем вертолета**

#### **Редуктор воздушный**

Воздушный редуктор предназначен для понижения и поддержания на заданном уровне давления воздуха (газа) в системе. В качестве примера рассмотрим конструкцию и работу редуктора РВ-0,4, установленного в системе наддува гидробаков вертолета Ка-32.

*Основные технические данные:*

- давление воздуха на входе в редуктор, кгс/см<sup>2</sup> ..... 2-10;
- давление воздуха на выходе из редуктора при отсутствии расхода, кгс/см<sup>2</sup>... 0,4±0,05;
- температура воздуха на входе, °С..... от -50 до +60;
- масса редуктора, не более кг ..... 0,7.

*Конструкция*

Воздушный редуктор (рис. 19) состоит из следующих основных деталей и узлов: корпуса редуктора 11, крышки редуктора 21, золотника 15, мембраны 9 и пружин 2 и 18. Корпус редуктора 11 изготовлен из латуни и никелирован снаружи. В два отверстия в корпусе ввернуты штуцера входной и выходной 19, служащие для подсоединения редуктора к воздушной сети. Входной и выходной штуцера выполнены из стали и оцинкованы.

Золотниковая камера в корпусе имеет на дне конус, служащий седлом золотника. Поверхность конического седла и внутренняя цилиндрическая поверхность золотниковой камеры выполнены с высоким классом шероховатости. На наружной поверхности золотниковой камеры имеется резьба для наворачивания гайки золотника 16. В золотниковой камере помещается латунный золотник 15 с вкладышем 12, который при движении вверх перекрывает отверстие в коническом седле корпуса 11. В золотнике вкладыш крепится резьбовой пробкой 13. В золотнике имеется два отверстия для соединения полости, в которой помещена пружина 18, с полостью низкого давления 22. Пружина 18 передает усилие золотнику посредством конического седла пружины 14, позволяющего золотнику самоустанавливаться на седле золотника.

В части корпуса, противоположной золотниковой камере, имеется расточка, образующая камеру низкого давления 22, расточка для узла мембраны 9 и резьба для вворачивания крышки редуктора 21. Камера низкого давления 22 тремя отверстиями соединяется с золотниковой камерой. Два из этих отверстий, расположенных диаметрально противоположно, служат для перемещения в них толкателей 7 золотника. Третье отверстие, большего диаметра, служит для выравнивания давления в золотниковой камере и камере низкого давления 22, которая в свою очередь двумя отверстиями соединяется с выходным каналом (правый по рис. 19 штуцер). Со стороны золотниковой камеры в центральной части

конического седла корпуса имеется отверстие диаметром 1 мм, соединяющее входной канал с золотниковой камерой.

Крышка редуктора, изготовленная из латуни и никелированная по наружной поверхности, при ввертывании в корпус прижимает мембрану 9 и обеспечивает таким образом герметичность соединения. Мембрана 9 и вкладыш 12 изготовлены из заготовки мембранного полотна. Мембрана в средней части зажимается между пробкой толкателя 6, шайбой 8 и гайкой 5. Гайка 5 закрыта колпачком 4, служащим седлом регулировочной пружины 2 и передающим усилие пружины 2 мембране 9. Усилие пружины регулируется винтом 1, ввертываемым в крышку редуктора 21. Крышка редуктора контрится с корпусом редуктора контрольной проволокой. Для обеспечения герметичности резьбовых соединений редуктора применяются алюминиевые прокладки 10, 17, 20.

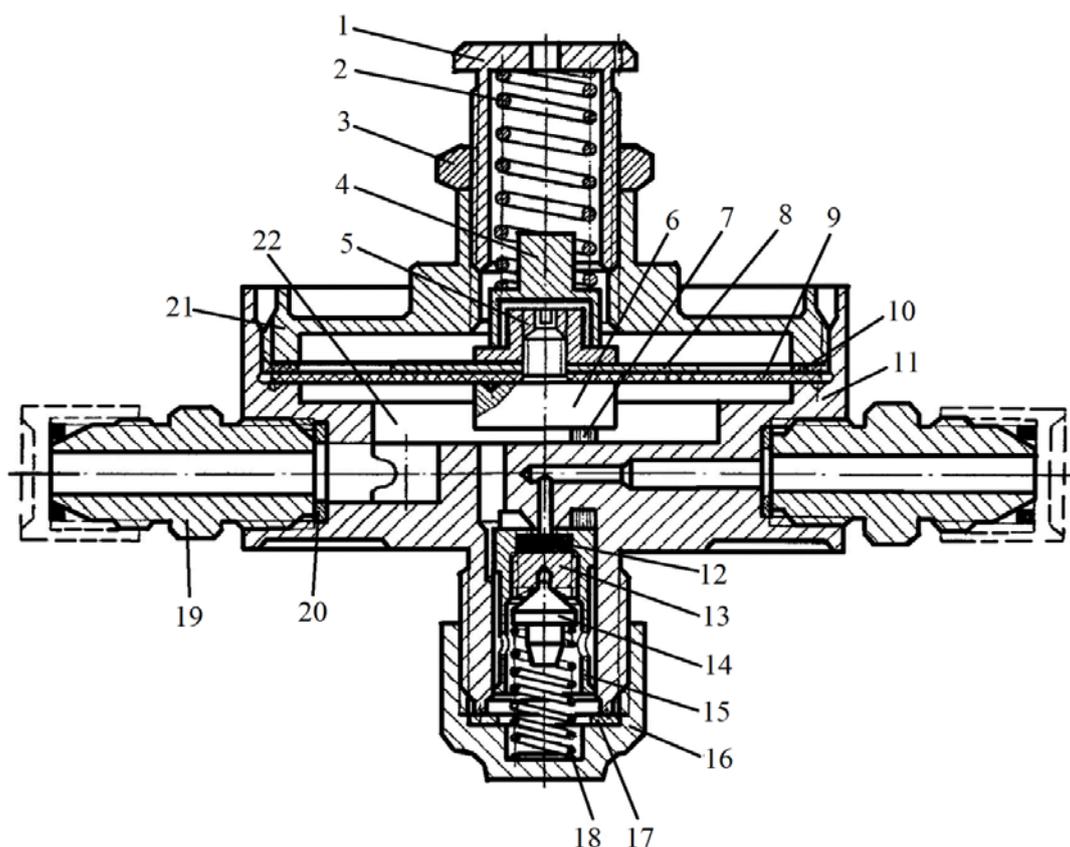


Рис. 19. Воздушный редуктор,

где 1- регулировочный винт; 2, 18- пружина; 3- контргайка; 4- колпачок; 5- гайка специальная; 6- пробка толкателя; 7- толкатель; 8- нажимная шайба; 9- мембрана; 10, 17, 20- прокладка; 11- корпус редуктора; 12- вкладыш; 13- резьбовая пробка; 14- седло пружины; 15- золотник; 16- гайка золотника; 19- штуцер; 21- крышка редуктора; 22- камера низкого давления

### *Работа*

Воздух из сети высокого давления поступает во входной канал А (рис. 20), а оттуда через регулируемое сечение в выходной канал Б и камеру низкого давления 22, сообщающиеся между собой. Из канала Б воздух поступает потребителям. Редуктор регулируется на заданное давление предварительной затяжкой винтом 1 пружины 2, которая при отсутствии давления воздуха в редукторе удерживает золотник 15 на некотором расстоянии от конического седла корпуса 11. При включении редуктора в воздушную сеть воздух, поступающий через регулируемое сечение в камеру 22, давит на мембрану 9, которая

начинает сжимать пружину 2. Так как золотник 15 толкателями 7 связан с пружиной 2, то при ее сжатии под действием пружины 18 он перемещается вверх и по достижении заданного давления в выходном канале и камере 22 перекрывает отверстие конического седла. Поступление воздуха из канала высокого давления в камеру низкого давления прекращается. При расходе воздуха в системе давление в камере низкого давления 22 понизится и станет меньше заданного, мембрана 9 под действием пружины 2 переместит золотник 15 и откроет регулируемое сечение седла. Воздух из канала высокого давления начнет поступать в камеру низкого давления и по достижении в системе заданного давления золотник снова перекроет регулируемое сечение. Этими действиями механизма поддерживается заданное приблизительно постоянное давление воздуха в системе наддува гидробаков вертолета.

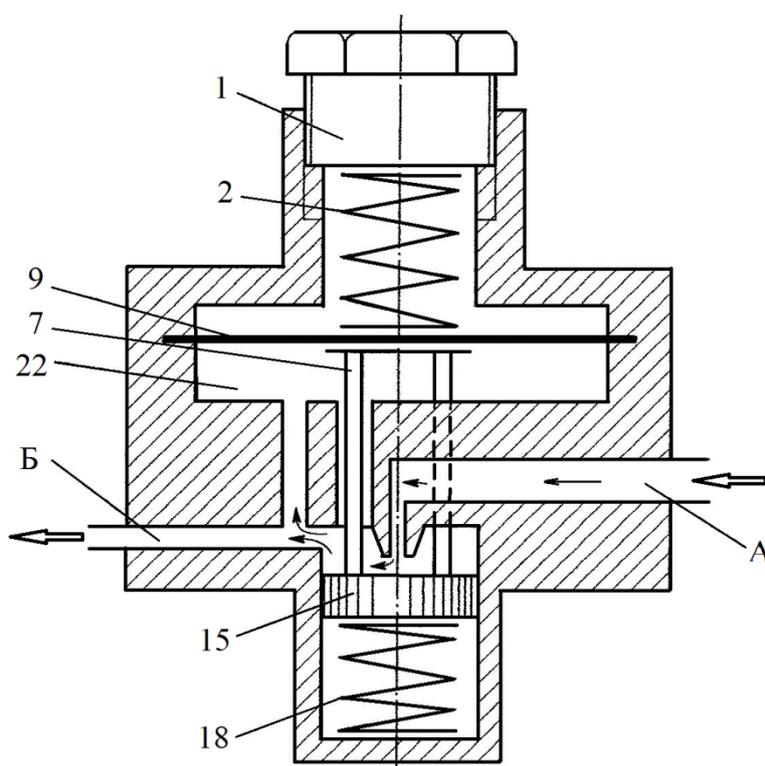


Рис. 20. Схема работы воздушного редуктора, где А- входной канал (камера высокого давления); Б- выходной канал (камера низкого давления)

#### **Фильтр - влагопоглотитель**

Фильтр – влагопоглотитель предназначен для уменьшения количества влаги в воздухе, поступающем от компрессора двигателя на наддув гидробака ГС вертолета. Конструктивные схемы устройств, предназначенных для осушения воздуха (отделения влаги) могут быть различны. В качестве примера рассмотрим конструкцию влагопоглотителя, установленного в системе наддува гидробаков вертолета Ка-32.

Фильтр - влагопоглотитель состоит из корпуса 1 (рис. 21), выполненного из органического стекла, на торцы которого навернуты крышки 3. Объем корпуса, ограниченный шайбами 4, сетками 5 и фильтровальной бумагой 6, заполнен силикагелем 2. Силикагель поджат пружинкой 8, упирающейся с одной стороны в крышку, с другой – в шайбу 4. Воздух от компрессоров двигателей, аэродромного источника или бортового пневматического насоса поступает в фильтр - влагопоглотитель через штуцер Б под давлением 2-6 кгс/см<sup>2</sup>. Влага, имеющаяся в воздухе, поглощается силикагелем, и сухой воздух поступает в систему наддува гидробаков через штуцер А. В процессе эксплуатации

вертолета по мере насыщения влагой цвет силикагеля меняется от фиолетового до розового. При полном насыщении влагой (весь силикагель розовый) силикагель заменяется на новый (осушенный).

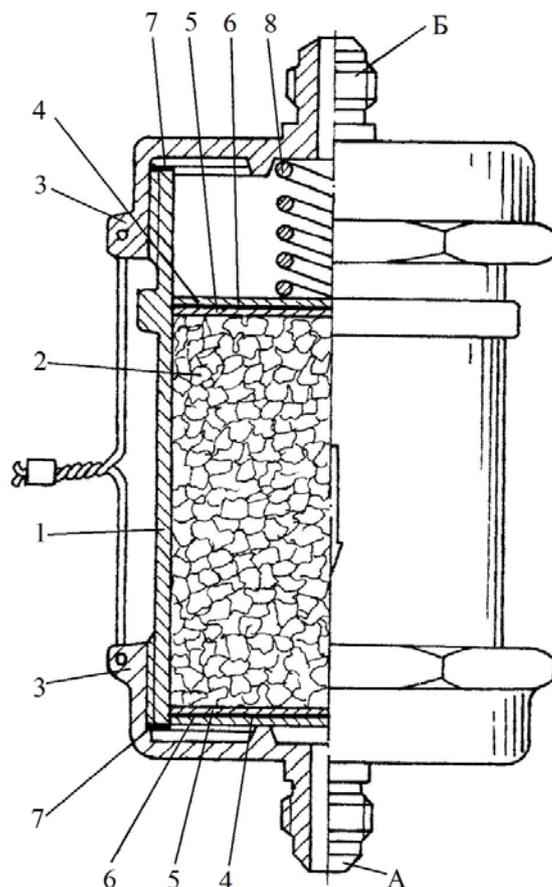


Рис. 21. Фильтр – влагопоглотитель, где 1- корпус; 2- силикагель; 3- крышка; 4- шайба; 5- сетка; 6- фильтровальная бумага; 7- кольцо; 8- пружина

### Гидробак

Рассмотрим типовую конструкцию гидробака на примере гидробака вертолета Ми-171 (рис. 22). На данном вертолете гидробак - сварной конструкции, он изготовлен из листового алюминиевого сплава. Гидробак состоит из двух днищ 1, обечайки 2 с зигами 14 для лент крепления, перегородки и арматуры для крепления трубопроводов. Бак внутренней перегородкой 8 разделен на два отсека, из которых раздельно подается жидкость к насосам основной и дублирующей систем. Через заливную горловину 6 отсеки бака сообщаются между собой с целью предотвращения переполнения одного из отсеков при работе системы. В заливной горловине установлены сетчатый фильтр 15 и пробка с мерной линейкой для контроля над количеством жидкости в баке. Сверху на заливную горловину установлена крышка 7. На днищах 1 бака установлены мерные стекла 16 для визуального контроля уровня жидкости в баке.

В верхней части обечайки 2 имеются штуцеры 3 и 10 для подсоединения трубопроводов слива жидкости из автоматов разгрузки насосов. Под этими штуцерами установлены трубки с большим числом отверстий малого диаметра для устранения пенообразования при работе насосов в режиме холостого хода. К штуцерам 4 и 9 подсоединены дренажные трубопроводы, к штуцеру 5 - трубопровод слива жидкости из

гидроагрегатов, а к двум боковым штуцерам 11 - трубопроводы слива жидкости из гидроусилителей. К штуцерам тройников 12 и 13, установленных в нижней части бака, подсоединяют всасывающие трубопроводы от насосов и бортовых всасывающих клапанов. Снаружи отсек бака основной системы окрашен серой эмалью, а отсек бака дублирующей системы - зеленой. Бак крепится на конструкции фюзеляжа посредством двух стяжных лент. Под ленты проложены войлочные прокладки.

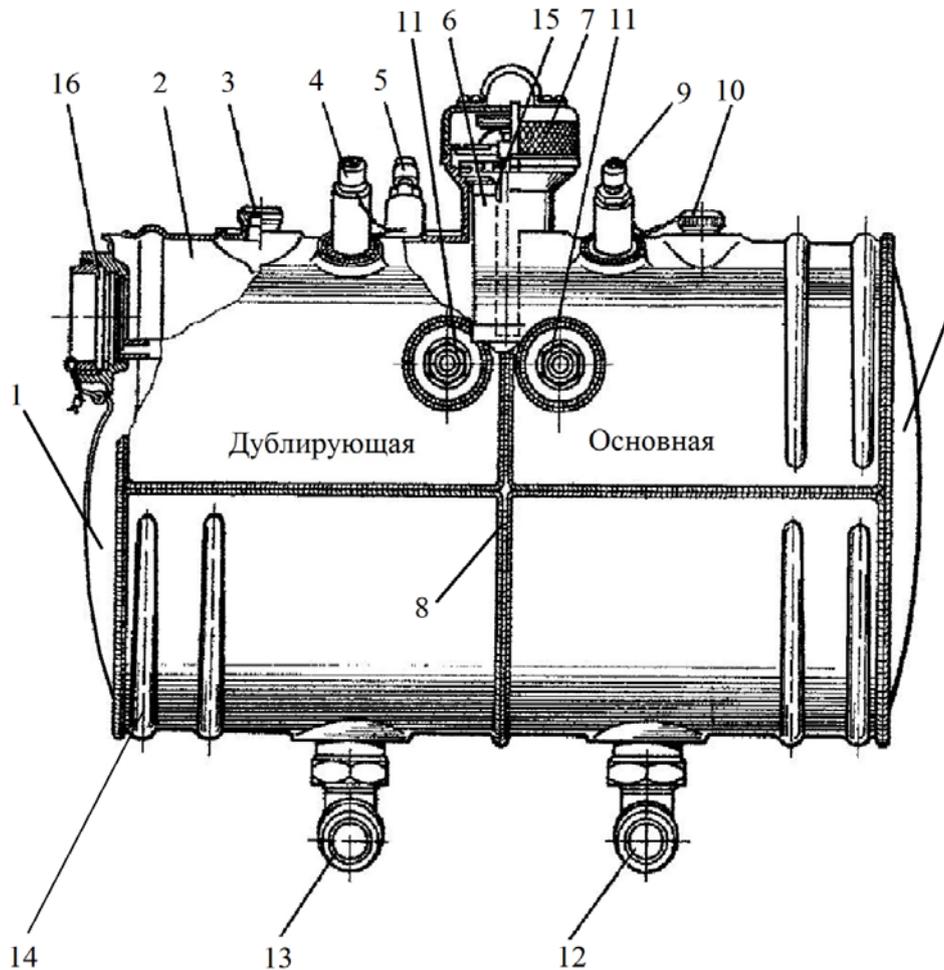


Рис. 22. Гидробак,

где 1- днище; 2 - обечайка; 3, 10- штуцеры слива жидкости из агрегатов разгрузки насосов; 4, 9- дренажные штуцеры (штуцеры суфлирования); 5- штуцер слива жидкости из гидроагрегатов; 6- заливная горловина; 7- крышка; 8- перегородка; 11- штуцеры слива жидкости из гидроусилителей; 12, 13- штуцеры (тройники) подсоединения всасывающих трубопроводов; 14- зиги; 15- фильтр; 16- мерное стекло

### Гидроаккумулятор

Гидроаккумуляторы в гидросистеме современного ЛА предназначены:

- для гашения пульсации давления жидкости в гидросистеме (при работе насосов);
- для обеспечения заданных режимов работы автомата (агрегата) разгрузки гидронасоса постоянной подачи путем уменьшения числа включений - выключений;
- для восполнения повышенного расхода жидкости на переходных режимах работы потребителей (пассивный источник энергии).

Конструктивно гидроаккумуляторы могут быть цилиндрическими с плавающим поршнем, разделяющем газовую и гидравлическую полости, и сферическим. Рассмотрим конструкцию и работу сферического гидроаккумулятора.

Гидроаккумулятор (рис. 23) сварен из двух полусферических обечаек, отштампованных из листовой стали. Верхняя обечайка 5 имеет срез, к которому приварена горловина 4 с буртиком и наружной резьбой под гайку 2 крепления крышки 3. Внутри корпуса гидроаккумулятора установлена резиновая сферическая диафрагма 6, верхний пояс которой зажимается гайкой 2 между буртиком горловины 4 и крышкой 3. Крепление диафрагмы и ее конструктивное выполнение обеспечивают во время работы деформацию лишь нижней части диафрагмы с минимальной кривизной изгиба. С этой же целью верхняя часть диафрагмы выполнена толще нижней, а на ее внутренней поверхности имеется утолщение в виде круглого резинового пояса 13, приклеенного к диафрагме.

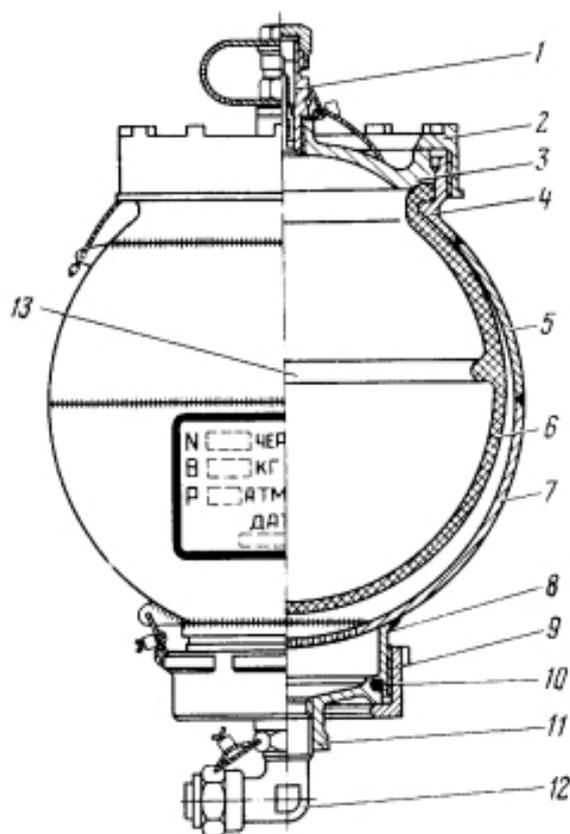


Рис. 23. Гидроаккумулятор,

где 1- зарядный клапан; 2- гайка; 3- крышка; 4- горловина; 5- верхняя обечайка; 6- резиновая диафрагма; 7- нижняя обечайка; 8- стакан; 9- гайка; 10- уплотнительное кольцо; 11- крышка; 12- угольник; 13- пояс

В крышку 3 ввернут стандартный зарядный клапан 1, через который газовая камера гидроаккумулятора заряжается техническим азотом. К нижней обечайке 7 приварен стакан 8, к которому накидной гайкой 9 крепится крышка 11 с резиновым уплотнительным кольцом 10. В крышку 11 ввернут угольник 12 для крепления трубопровода линии нагнетания гидросистемы. В нижней части обечайки 7 над камерой, образованной стаканом 8, просверлено большое число отверстий малого диаметра для равномерного поступления жидкости и предотвращения продавливания диафрагмы в стакан 8 при отсутствии давления

гидрожидкости в системе. С этой же целью на диафрагме против сверлений выполнено утолщение. При зарядке гидроаккумулятора азотом диафрагма плотно облегает всю внутреннюю поверхность корпуса. При подаче жидкости под давлением через штуцер 12 она отжимает диафрагму от нижней полусферы и сжимает азот до рабочего давления с целью аккумулирования энергии и ее расхода в гидросистеме по назначению.

### Насос шестеренный

Источником энергии в гидросистеме вертолета Ми-171 является шестеренный насос НШ-39М (рис. 24). Это насос высокого давления, который предназначен для подачи жидкости к гидроусилителям КАУ-115АМ и другим потребителям. Насос крепится к главному редуктору вертолета.

*Технические характеристики:*

- рабочее давление, кгс/см<sup>2</sup> .....75;
- максимальное давление, кгс/см<sup>2</sup> .....90;
- номинальная частота вращения, об/мин .....2500;
- производительность при 2500 об/мин и давлении 65 кгс/см<sup>2</sup>, л/мин ..... 30.

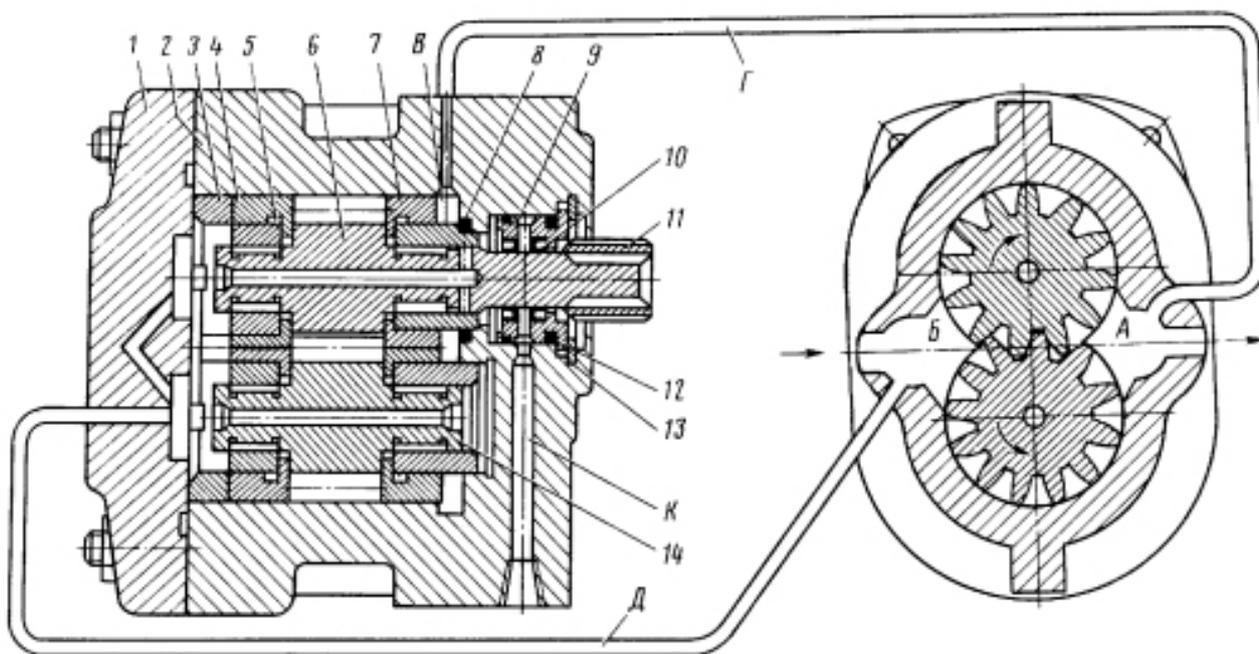


Рис. 24. Гидронасос НШ-39М,

где 1- крышка; 2- корпус; 3- кольцо; 4- неподвижный диск; 5- наружное кольцо игольчатого подшипника; 6- ведущее зубчатое колесо; 7- подвижный диск; 8, 12- резиновые кольца; 9- стакан; 10- уплотнительная манжета; 11- шлицевая втулка; 13- стопорное кольцо; 14- ведомое зубчатое колесо; А- полость нагнетания; Б- полость всасывания; В- камера подвижных дисков; Г- канал подвода жидкости под давлением; Д- канал отвода утечек жидкости в камеру всасывания; К- канал отвода жидкости, просочившейся через контактные уплотнения

### Конструкция

В литом корпусе 2, изготовленном из алюминиевого сплава, установлены ведущее 6 и ведомое 14 зубчатые колеса, подвижные 7 и неподвижные 4 диски с кольцами 3, наружные кольца 5 игольчатых подшипников, стакан 9 с двумя армированными уплотнительными манжетами 10 и резиновыми кольцами 12. Резиновые кольца 8 обеспечивают уплотнение камеры В. Стакан в корпусе фиксируется стопорным кольцом 13. На хвостовике ведущего зубчатого колеса 6 имеются шлицы, на которые установлена шлицевая втулка 11 для

соединения с приводом насоса на главном редукторе. Для отвода просочившейся гидрожидкости из под крышки в полость Б предусмотрен канал Д, а для контроля за работой уплотнения хвостовика ведущего зубчатого колеса в корпусе имеется канал К. Зубчатые колеса имеют цапфы с буртиками для монтажа игольчатых подшипников. В крышке 1 корпуса насоса установлены штуцеры всасывания и нагнетания. Корпус и крышка соединены шпильками, уплотнение разъема обеспечивается резиновым кольцом. Для крепления насоса к редуктору на корпусе имеется фланец.

#### *Работа*

При вращении зубчатых колес жидкость из полости всасывания Б заполняет впадины зубьев и переносится в камеру нагнетания А. Объем камеры А за счет зубчатого зацепления уменьшается, и жидкость вытесняется в нагнетающую полость насоса. С целью уменьшения утечки жидкости через торцовые зазоры зубчатых колес в насосе предусмотрены два подвижных бронзовых диска 7. Диски под давлением жидкости в полости В плотно прижимаются к торцам зубчатых колес, обеспечивая устранение зазора между торцами дисков и зубчатых колес. Жидкость в полость В подается из нагнетающей полости насоса через канал Г, представляющий собой проточку, выполненную в корпусе насоса.

#### **Насосная станция**

Рассмотрим принципиальную схему и работу типовой насосной станции (рис. 25). Она состоит из гидравлического насоса переменной подачи и соединенного с ним через рессору приводного электродвигателя переменного (постоянного) тока (на рисунке не показан). Гидравлический насос аксиально-плунжерного типа. Необходимое давление на всасывании создает центробежный насос подкачки, крыльчатка 5 которого установлена на одном валу 2 с основным насосом.

Насос на рис. 25 изображен в режиме максимальной подачи. Блок цилиндров 4 получает вращение от вала 2, связанного через рессору с валом электродвигателя. При этом плунжеры скользят башмаками по рабочему торцу опорной шайбы 1. Благодаря наклону этой шайбы относительно блока цилиндров, плунжеры совершают возвратно-поступательное движение в отверстиях блока цилиндров. Перемещаясь влево, плунжеры всасывают рабочую жидкость из подводящей магистрали, перемещаясь вправо, подают рабочую жидкость под давлением в линию нагнетания. В каждый момент поворота блока цилиндров одна группа плунжеров находится в фазе всасывания, другая - в фазе нагнетания. Центробежный насос подкачки создает необходимое давление всасывания и тем самым обеспечивает бескавитационную работу основного насоса. Изменение подачи насоса в зависимости от давления нагнетания производится с помощью регулятора подачи. Золотник 7 регулятора настраивается на определенное значение давления нагнетания путем предварительной затяжки пружины 8 регулировочным винтом 9. При увеличении давления выше заданного золотник 7 перемещается влево (по рисунку), сжимая пружину 8, и соединяет через проточку в золотнике канал линии нагнетания с каналом под поршнем 10. Поршень 10, преодолевая усилие пружины 11, отклоняет опорную шайбу 1 и уменьшает угол ее наклона. При этом уменьшается рабочий ход плунжеров и, соответственно, уменьшается подача насоса. При повороте опорной шайбы до нулевого угла, насос выходит на нулевую подачу (холостой ход). При понижении давления в линии нагнетания золотник 7 под действием пружины 8 возвратится в исходное положение и соединит канал под поршнем 10 с линией слива. Под действием пружины 11 увеличится угол наклона опорной шайбы 1.



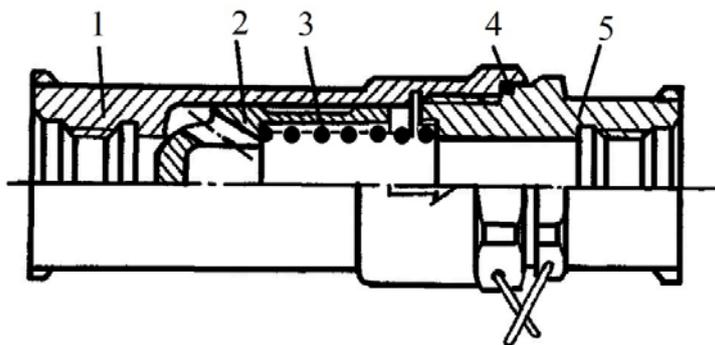


Рис. 26. Обратный клапан,  
где 1-корпус; 2- клапан; 3- пружина; 4- резиновое кольцо; 5- штуцер

### Фильтр гидравлический

Рассмотрим конструкцию на примере фильтра отстойного типа (рис. 27) с отсечным клапаном, который устанавливается в гидросистеме вертолета Ка-32. Фильтр предназначен для очистки рабочей жидкости гидросистемы от механических примесей.

*Основные технические данные:*

- тонкость фильтрации, мкм ..... 12-16;
- диапазон температур рабочей жидкости, °С ..... от -60 до +120;
- диапазон температур окружающей среды, °С ..... от -60 до +100.

Гидравлический фильтр состоит из крышки 3, стакана 1, фильтроэлемента 2 и системы перекрывного устройства. Крышка 3 выполнена из алюминиевого сплава и имеет гнезда для установки штуцеров входа и выхода. В центральной части крышки с внутренней стороны размещается перекрывное устройство. Стакан 1 также выполнен из алюминиевого сплава и служит для установки фильтрующего элемента. Фильтроэлемент 2 предназначен для очистки рабочей жидкости от механических примесей размером до 12-16 мкм и состоит из гофрированного цилиндра, внутри которого для жесткости находится стальной каркас. Гофрированный цилиндр состоит из двух сеток: наружной сетки – проволоочной тканой фильтрующей и внутренней сетки – каркасной нержавеющей. По торцам к фильтроэлементу приваривается днище снизу и фланец сверху. Фланец служит для крепления фильтроэлемента в стакане и является опорой перепускного клапана 6.

Перекрывное устройство служит для перекрытия потока рабочей жидкости при снятии стакана для промывки фильтроэлемента. Оно состоит из стопорного кольца 14, седла 13 с уплотнительным кольцом 5, отсечного клапана 15, пружин 8 и 10, шайб 7 и 11, а также штифта 9. Шайба 11 служит для исключения надирания дна крышки 3 торцом пружины 8 и для регулировки давления открытия перепускного клапана 6. Шайба 7 служит для обеспечения плавного открытия и закрытия перепускного клапана 6. Для обеспечения герметичности между крышкой 3 и стаканом 1 установлено уплотнительное кольцо 4. Уплотнительные кольца 5 и 12 устанавливаются для предотвращения перетекания нефильтованной рабочей жидкости в полость отфильтрованной. Все уплотнительные кольца выполнены из маслостойкой резины.

Рабочая жидкость через входной штуцер (вход – на рис. 27), кольцевой зазор между перепускным клапаном 6, седлом 13 и прорези фланца фильтроэлемента 2 попадает в полость А стакана 1. Пройдя через фильтроэлемент, очищенная рабочая жидкость попадает в полость Б и выходит через выходной штуцер (выход – на рис. 27). При засорении фильтроэлемента, когда перепад давления на фильтроэлементе возрастает до  $7 \text{ кгс/см}^2$ ,

открывается перепускной клапан 6 и рабочая жидкость через кольцевую щель между клапаном и фланцем фильтроэлемента попадает непосредственно в полость Б, минуя фильтроэлемент (рис. 27 – схема работы перепускного клапана).

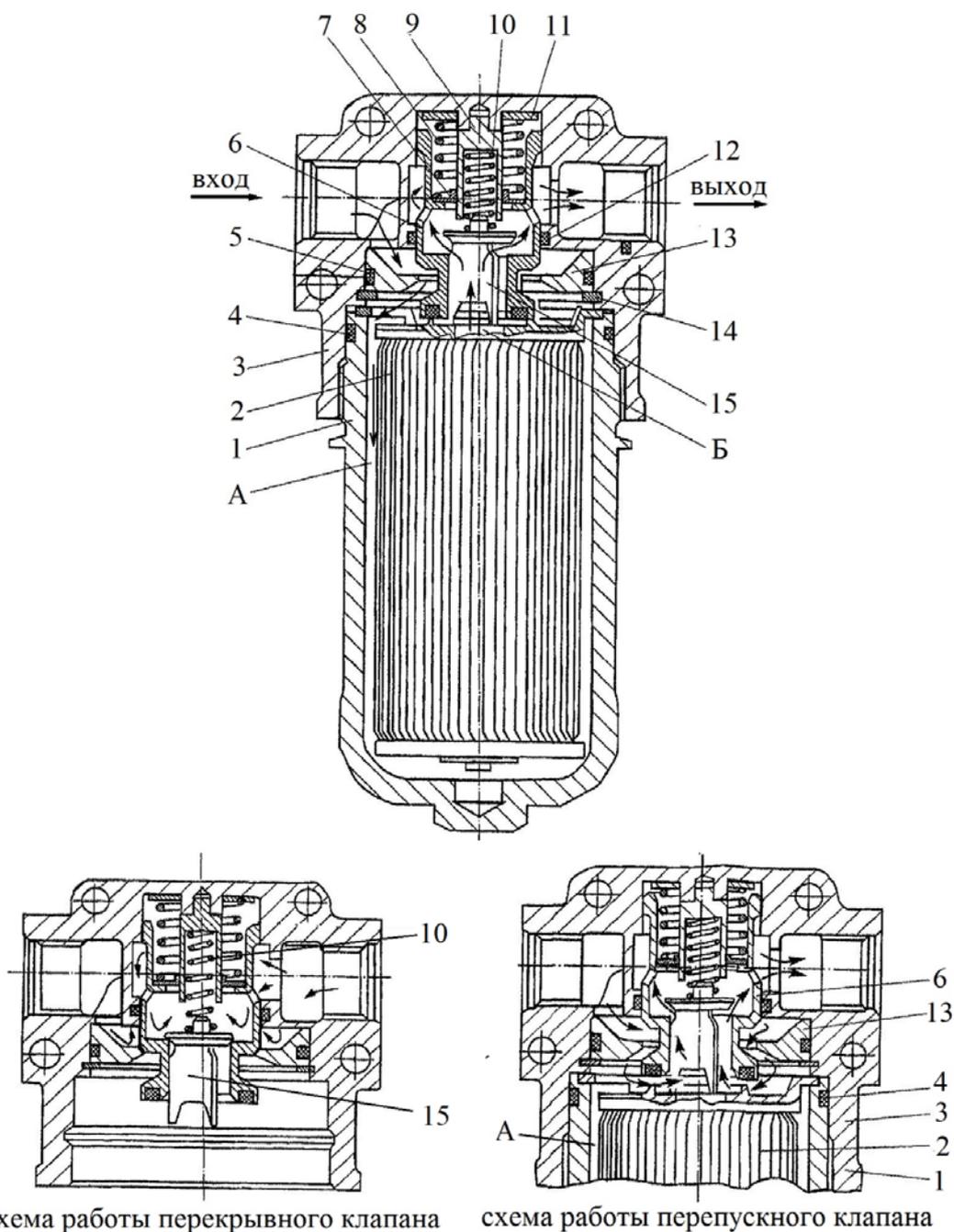


Рис. 27. Фильтр гидравлический,

где 1- стакан; 2- фильтроэлемент; 3- крышка; 4, 5, 12- кольцо уплотнительное; 6- клапан перепускной; 7, 11- шайба; 8, 10- пружина; 9- штифт; 13- седло; 14- кольцо стопорное; 15- клапан отсечной

Для того чтобы снять фильтроэлемент для промывки, необходимо вывернуть стакан 1 из крышки 3. При этом клапан 6 начнет перемещаться вниз под действием пружины 8 до соприкосновения фаской с посадочной кромкой седла 13. В результате устраняется вытекание рабочей жидкости из полости А в атмосферу. Одновременно под действием

пружины 10 закроется и второй отсечной клапан 15, перекрывая вытекание жидкости из полости Б (рис. 27 – схема работы перекрывного клапана). Клапаны 6 и 15 устанавливаются на своих посадочных местах и создают герметичность ранее, чем уплотнительное кольцо 4, надетое на стакан, выйдет из контакта с крышкой 3. Таким образом, количество рабочей жидкости, теряемой из гидросистемы при снятии фильтроэлемента, равняется объему внутренней полости стакана.

### **Бортовой клапан всасывания**

Бортовые клапаны всасывания и нагнетания предназначены для подсоединения наземной гидроустановки. Присоединительные размеры бортовых клапанов унифицированы и обеспечивают соединение с клапаном - наконечником наземной гидроустановки. По конструкции клапаны всасывания и нагнетания подобны. В качестве примера рассмотрим конструкцию типового клапана всасывания (рис. 28). Клапан состоит из корпуса 4, внутри которого размещен конусный клапан 5, поджатый пружиной 6. Второй конец пружины опирается на упорную втулку 7, зафиксированную стопорным кольцом 8. Для установки и крепления клапана на корпусе 4 имеет фланец с четырьмя отверстиями и хвостовик с проточкой под уплотнительное кольцо. Присоединительная часть клапана закрыта заглушкой 3 и крышкой 1. При подключении шланга наземной гидроустановки конусные клапаны бортового клапана всасывания и клапана-наконечника на шланге отжимают друг друга, обеспечивая свободный проход рабочей жидкости из гидробака ЛА к насосу наземной гидроустановки.

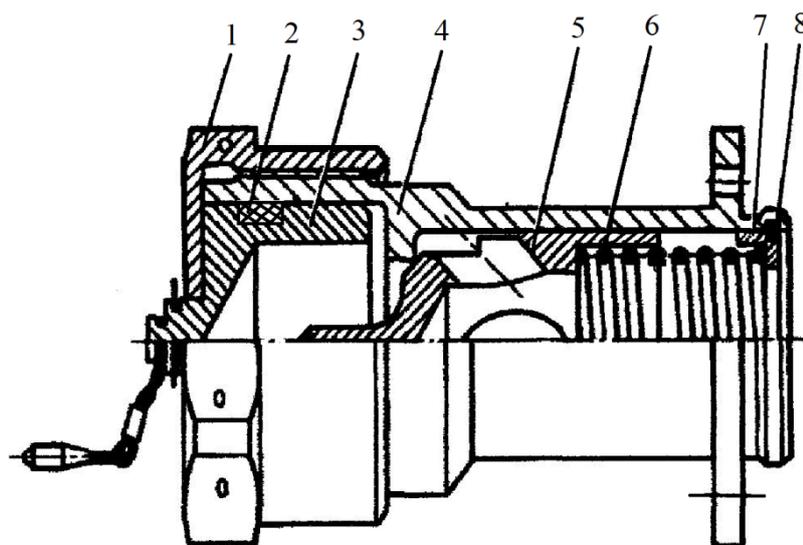


Рис. 28. Бортовой клапан всасывания, где 1- крышка; 2- уплотнительный пакет; 3- заглушка; 4- корпус; 5- клапан; 6- пружина; 7- упорная втулка; 8- стопорное кольцо

### **Зарядный клапан**

Зарядный клапан предназначен для зарядки воздухом (азотом) газовой полости гидроаккумулятора, газовой камеры амортизатора шасси и др. Конструктивная схема типового зарядного клапана приведена на рис. 29. Основным элементом является подпружиненный клапан 5, который в исходном состоянии посредством резинового уплотнителя 4 опирается на седло корпуса 3, перекрывая проход газа к потребителю. Металлическая уплотнительная прокладка 1 обеспечивает герметичность устройства со стороны колпачка 2. Клапан 5 отжимается от седла корпуса 3 при нажатии на его шток

специальным приспособлением для зарядки. В исходное (закрытое) положение клапан 5 возвращается пружиной, а также давлением во внутренней полости заправляемой емкости.

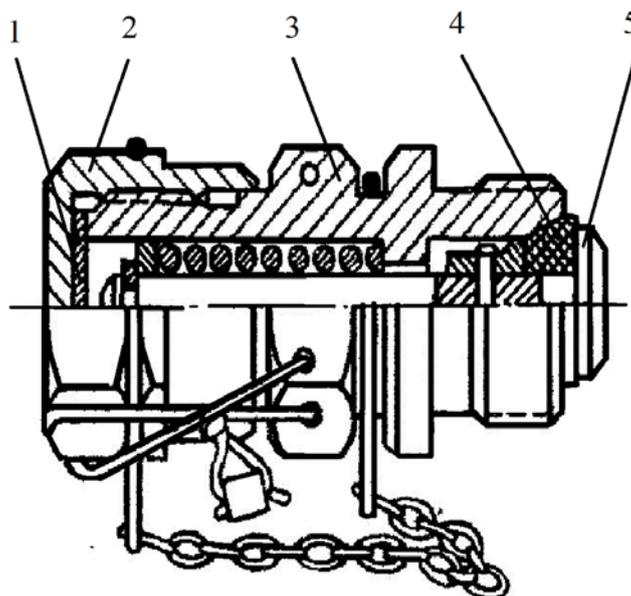


Рис. 29. Зарядный клапан,  
где 1- уплотнительная прокладка; 2- колпачок; 3- корпус; 4- резиновый уплотнитель; 5-клапан

### Односторонний дроссель

Конструкция дросселя показана на рис. 30. Односторонний дроссель работает в режиме обратного клапана при потоке рабочей жидкости по стрелке на корпусе, когда клапан 2 отходит от седла корпуса 1, сжимая пружину 7, и свободно пропускает рабочую жидкость на выход, и в режиме дросселя при потоке рабочей жидкости против стрелки. Расход рабочей жидкости и перепад давления на дросселе зависит от количества установленных в клапан дроссельных шайб 3. В частности, на рис. 30 показаны две дроссельные шайбы с периферийными отверстиями и две дроссельные шайбы с центральным отверстием. Корпус дросселя состоит из двух частей 1 и 8, для герметизации устройства установлено резиновое кольцо 5. Все детали дросселя стальные, кроме колец 4, которые изготовлены из алюминиевого сплава.

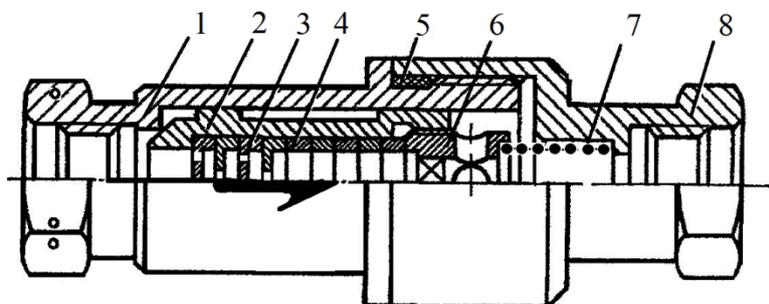


Рис. 30. Односторонний дроссель,  
где 1, 8- корпус; 2- клапан; 3- дроссельная шайба; 4- кольцо; 5- резиновое кольцо; 6- упор; 7- пружина

### Предохранительный клапан

Рассмотрим конструкцию и работу предохранительного клапана (рис. 31, 32) на примере клапана РД-22, установленного в гидросистеме вертолета Ка-32. Предохранительный клапан является клапаном прямого действия и предназначен для защиты гидросистемы от повышения давления сверх допустимого значения. Применяемые защитные покрытия и материалы позволяют надежно эксплуатировать клапан в различных климатических условиях.

*Основные технические данные:*

- рабочая жидкость ..... минеральное масло АМГ-10;
- рабочий диапазон температур, °С:
  - окружающей среды..... от -60 до +60;
  - рабочей жидкости..... от -60 до +100.
- номинальное давление открытия клапана  $P_0$  может быть отрегулировано при изготовлении на любую величину в пределах от 150 до 250 кгс/см<sup>2</sup> согласно требованию заказчика;
- масса сухого клапана без соединительной арматуры не более 0,73 кг.

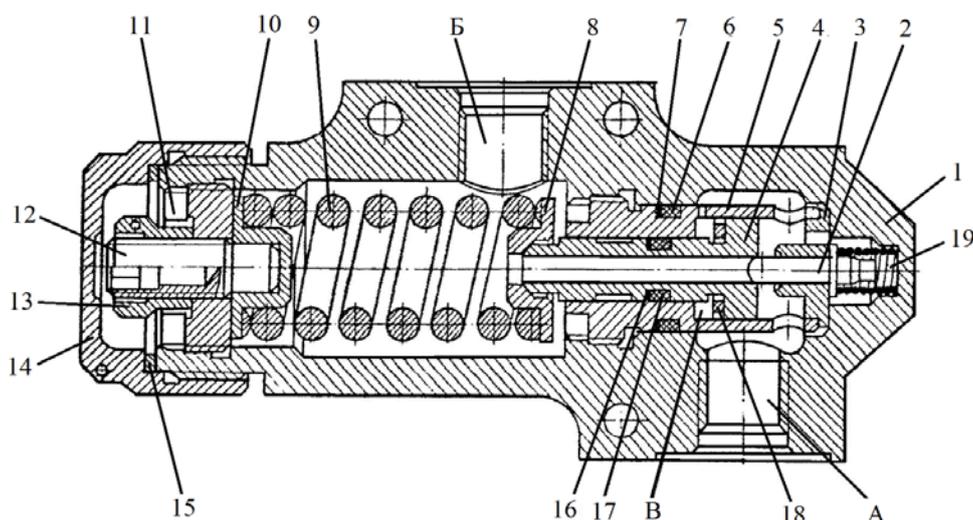


Рис. 31. Предохранительный клапан,

где 1- корпус; 2- клапан; 3- направляющая; 4- поршень; 5- гильза; 6, 15, 17- уплотнительное кольцо; 7, 16- защитная шайба; 8, 10- опора; 9, 19- пружина; 11- пробка; 12- регулировочный винт; 13- гайка контрольная; 14- колпачок; 18- шайба

#### Конструкция

В корпус 1 клапана ввинчена гильза 5 так, что своим правым (по рисунку) торцом она удерживает направляющую 3, имеющую небольшой осевой люфт для предотвращения защемления направляющей при температурных деформациях. В осевом отверстии направляющей 3 с зазором перемещается клапан 2, который отжимается в крайнее левое положение пружиной 19. Левый конец клапана выполнен в виде сферической поверхности. К ступенчатому цилиндру гильзы 5 с малым зазором приработан поршень 4, имеющий продольное осевое отверстие. На правом конце отверстия поршень 4 имеет седло (в виде узкой сферической фаски), в которое садится клапан 2.

Для обеспечения герметичности и четкого срабатывания клапана 2 поверхность посадочного седла в поршне 4 и сферическая поверхность клапана 2 обработаны до десятого класса шероховатости. Левый конец поршня 4 оканчивается сферической поверхностью, на

которую садится конус опоры 8, передающей усилие пружины 9 на поршень 4. Пружина отжимает поршень в правое положение, при котором его седло закрывается клапаном 2. Левый конец пружины центрируется опорой 10.

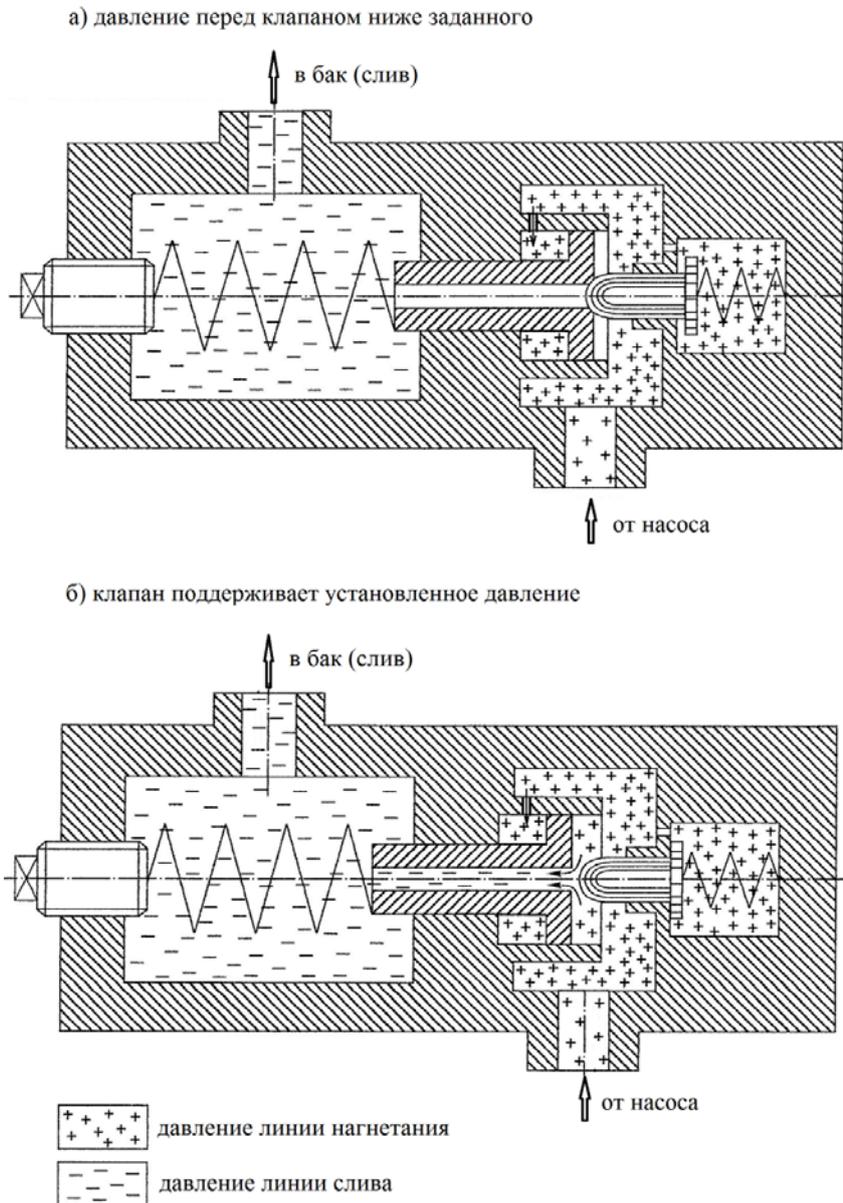


Рис. 32. Схема работы предохранительного клапана

Регулировка предохранительного клапана осуществляется путем изменения предварительной затяжки пружины 9 регулировочным винтом 12, который контрится гайкой 13. Регулировочный винт ввинчивается во внутреннюю резьбу пробки 11, которая своей внешней резьбой ввинчена в корпус 1 до упора в торец канавки и законтрена кернением. Слева внутренняя полость закрывается колпачком 14, который навинчивается на корпус 1 и уплотняется металлическим уплотнительным кольцом 15. Внутреннее уплотнение клапана осуществляется резиновыми уплотнительными кольцами 6 и 17, предохраняемыми от выдавливания фторопластовыми защитными шайбами 7 и 16. Для устойчивости против автоколебаний клапан имеет демпфер, замкнутая полость которого образована кольцевым зазором В между гильзой 5 и большей по диаметру ступенью поршня 4, и соединяется с

внешней полостью гильзы отверстием малого диаметра, через которое жидкость перегоняется из одной полости в другую, создавая сопротивление резкому изменению положения поршня. При движении поршня вправо демпфирующая полость В увеличивается, а при движении влево - уменьшается. Шайба 18 ограничивает перемещение поршня 4 влево при повышении давления.

### Работа

Рассмотрим схему работы предохранительного клапана (рис. 32). Давление подводится в правую полость клапана от насоса через штуцер, соединяющий клапан с насосом. Из левой (по рисунку) полости происходит слив масла через штуцер в бак. Когда давление в гидросистеме не больше установленного регулировкой, поршень находится в правом положении и клапан закрыт. При повышении давления в гидросистеме поршень преодолевает усилие пружины и перемещается влево. Вместе с поршнем перемещается клапан, который будет перемещаться до упора своим фланцем в торец направляющей. В этот момент усилие при перемещении поршня уменьшается на величину, зависящую от площади седла поршня. При дальнейшем повышении давления поршень отходит от клапана и полость линии нагнетания от насоса соединяется с линией слива в бак через узкую кольцевую щель, т.е. клапан открывается. Жидкость начинает стравливаться в бак, давление в гидросистеме падает. Когда давление достигнет значения меньшего, чем давление открытия, поршень под действием усилия пружины 9 перемещается вправо к клапану. Клапан своей сферой садится в седло поршня (закрывается) и отсекает линию нагнетания от линии слива. В этот момент давление в гидросистеме не превышает давления открытия клапана.

### Электромагнитный клапан

Типовой электромагнитный клапан изображен на рис. 33.

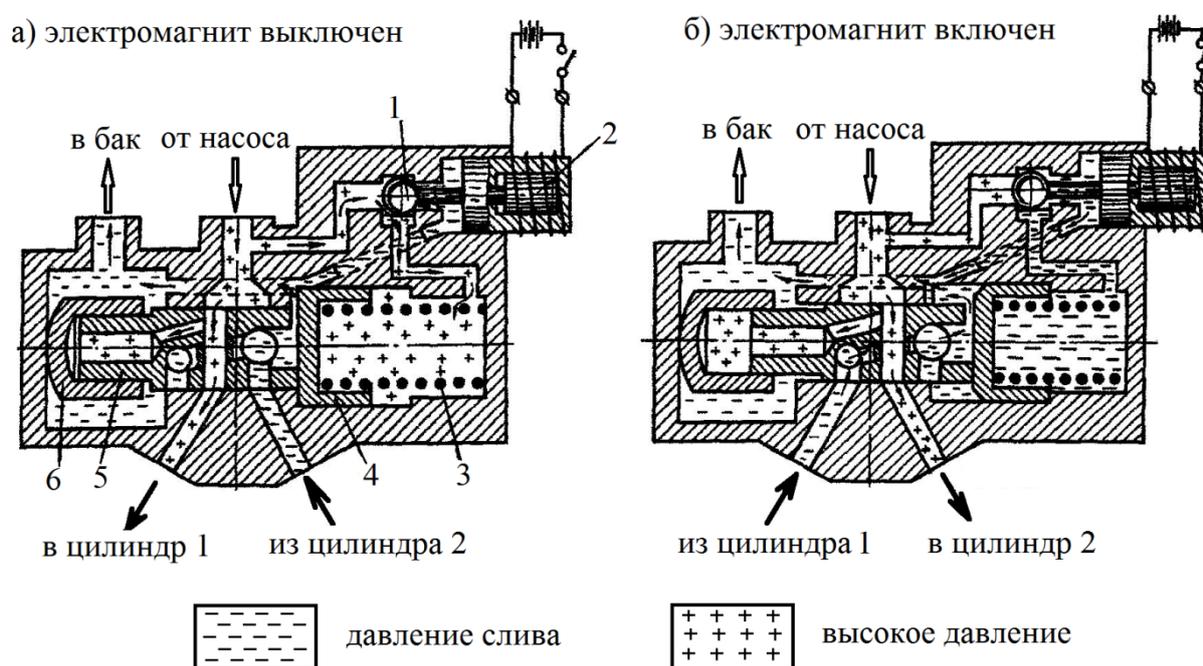


Рис. 33. Схема работы электромагнитного клапана

где 1- шариковый клапан; 2- электромагнит; 3- пружина; 4- поршень; 5- золотник; 6- поршень

Электромагнитный клапан (кран) включает электромагнит 2 и плоский распределительный золотник 5, размещенные в одном корпусе. В корпусе установлены

шариковый клапан 1, управляемый электромагнитом 2, два поршня 4 и 6, пружина 3 и собственно золотник 5.

В золотнике имеются три отверстия, среднее из которых при любом положении золотника сообщается с полостью штуцера «от насоса». Крайние отверстия сообщаются сквозными сверлениями с боковыми нерабочими поверхностями золотника, имеющими фрезерованные каналы, которые выходят в полости штуцера «в бак». Уплотнение золотника обеспечивается тщательной обработкой сопрягающихся поверхностей. В корпус ввернуты четыре штуцера: «в бак», «от насоса», «цилиндр 1», «цилиндр 2». При выключенном электромагните 2 (рис. 33а) поршень 4 под действием пружины 3 и рабочего давления перемещается влево. Плоский золотник занимает такое положение, что штуцер «от насоса» через золотник сообщается со штуцером «цилиндр 1», а штуцер «цилиндр 2» сообщается со штуцером «в бак». Если электромагнит включен (рис. 33б), то под действием рабочего давления золотник 5 перемещается вправо, сжимая пружину 3. Тогда штуцер «от насоса» сообщается со штуцером «цилиндр 2», а штуцер «в бак» - со штуцером «цилиндр 1».

### Челночный клапан

Челночный клапан (рис. 34) в гидравлической системе вертолета предназначен для подключения потребителей к линии нагнетания 1 или линии нагнетания 2, в зависимости от давления гидрожидкости в этих линиях.

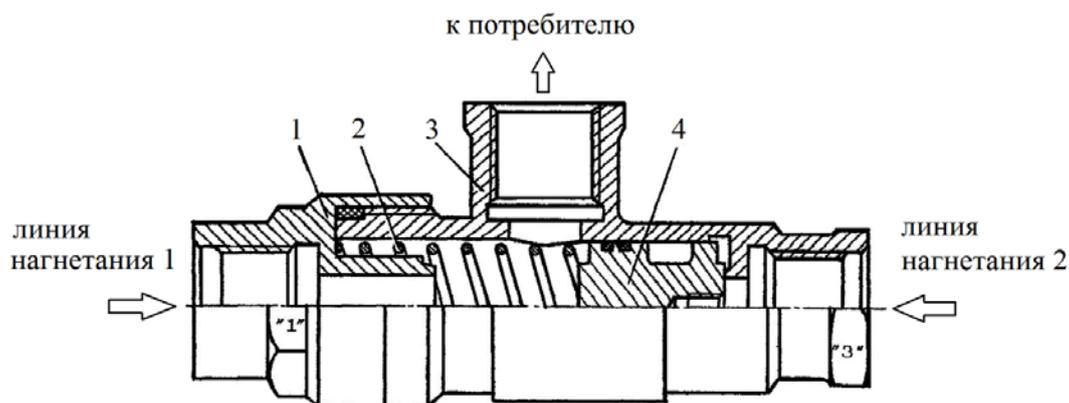


Рис. 34. Челночный клапан,  
где, 1- штуцер; 2- пружина; 3- корпус; 4- поршень

При отсутствии давления в подводящих линиях нагнетания шток 4 прижат пружиной 2 к седлу на корпусе 3 и линия подвода гидрожидкости к потребителю соединена с линией нагнетания 1. В случае увеличения давления в линии нагнетания 2 шток 4 перемещается влево, сжимая пружину 2, что приводит к отключению потребителя от линии нагнетания 1 и его подключению к линии нагнетания 2.

## Литература

1. Системы оборудования летательных аппаратов/ под ред. А.М. Матвеевко и В.И.Бекасова – М.: Машиностроение, 1986.
2. Егер С.М., Матвеевко А.М., Шаталов И.А.. Основы авиационной техники - М.: МАИ, 1998.
3. Авиационные правила, часть 29 «Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории» - М.: МАК, 2003.
4. Вертолет Ми-171. Руководство по технической эксплуатации, книга III, часть 2. Вертолетные системы – М.: Машиностроение, 1995.
5. Вертолет Ка-32А11ВС. Руководство по технической эксплуатации, раздел 29. Гидравлическая система – М.: Машиностроение, 2005.
6. Самолет Ил-76ТД. Инструкция по технической эксплуатации, часть III, глава 33 «Гидравлическая система» - М., 1978.
7. Самолет Ту-204. Руководство по технической эксплуатации, раздел 029, М., 1997.
8. Самолет RRJ-95В. Руководство по технической эксплуатации, раздел 029, М., 2010.
9. Training Manual A320. ATA29, Hydraulic Power, Line and Base Maintenance, Lufthansa, 1995.
10. Training Manual A380. ATA29, Hydraulic Power, Line and Base Maintenance, Lufthansa, 2005.
11. Boeing 737. Training Manual, ATA29, Hydraulic Power, 1968.

## СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1.1. Сравнительный анализ энергетических систем. Принцип действия гидравлических систем.....	3
1.1.1. Введение.....	3
1.1.2. Сравнительный анализ энергетических систем.....	3
1.1.3. Принцип действия гидравлической системы. Определения.....	7
1.1.4. Рабочие жидкости гидравлических систем.....	9
1.1.5. Фильтрация гидрожидкости.....	11
Тема 1.2. Проектирование гидравлических систем. Авиационные правила, часть 29: Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории.....	13
1.2.1. Основные положения норм летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории.....	13
1.2.2. Создание схемы гидравлической системы с помощью теории надежности. Поэтапное проектирование гидросистемы ЛА и его систем.....	16
1.2.3. Выбор типа источника энергии в блоке питания гидросистемы.....	20
Тема 1.3. Блоки питания гидравлических систем.....	23
1.3.1. Общие положения.....	23
1.3.2. Система обеспечения бескавитационного режима работы источников энергии.....	23
1.3.3. Система источников энергии, управления, контроля и индикации.....	26
1.3.4. Особенности систем источников энергии, управления, контроля и индикации современных самолетов.....	30
1.3.5. Элементный состав блоков питания гидравлических систем.....	42
Тема 1.4. Функциональные подсистемы вертолета.....	43
1.4.1. Гидросистема вертолета Ми-171.....	43
1.4.2. Гидросистема вертолета Ка-32.....	46
1.4.3. Типовые агрегаты гидравлических систем вертолета.....	50
Литература.....	67