



**Министерство образования Российской Федерации**  
**РЫБИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АВИАЦИОННАЯ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ им. П.А. СОЛОВЬЕВА**

**В.С. Чигрин, С.Е. Белова**

**СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПИТАНИЯ ГТД**

**Рыбинск «РГАТА» 2005**

Системы топливопитания ГТД / В.С. Чигрин, С.Е. Белова. Учеб. пособие. – Рыбинск: РГАТА, 2005. – 18 с.

Рассмотрены принципиальные схемы топливных систем ГТД, а также конструкция агрегатов этих систем.

Библиогр.: 4 назв., илл. 14

## **ВВЕДЕНИЕ**

Система топливопитания ГТД предназначена для подачи в камеру сгорания необходимого количества топлива в соответствии с заданным режимом работы двигателя, высотой и скоростью полета летательного аппарата.

### **1. Общие сведения о системах топливопитания ГТД**

Система топливопитания должна надежно работать на различных сортах топлива при различной его температуре и при умеренных требованиях к его химической активности, токсичности, степени очистки от механических примесей и воды. Топливная система должна также обеспечивать:

- возможность ручного управления и автоматического регулирования подачи топлива в целях изменения или поддержания заданного режима работы двигателя;
- хороший распыл топлива для лучшего его сгорания;
- возможность полного прекращения подачи топлива при остановке двигателя;
- подачу соответствующего количества топлива в пусковые воспламенители и форсунки камеры сгорания при запуске двигателя и при работе двигателя во всем эксплуатационном диапазоне;
- заданную высотность.

В современных ГТД применяют топлива, получаемые прямой перегонкой нефти. Из них наиболее распространены керосины Т-1, ТС-1, Т-2, Т-6, Т-7, Т-10, РТ, которые характеризуются достаточно высокими значениями плотности, удельной теплоты сгорания и термической стабильности.

Величина потребной подачи топлива в камеру сгорания двигателя зависит от режима работы двигателя, высоты и скорости полета летательного аппарата и составляет от 300...400 кг/ч до 10000...30000 кг/ч. Давление топлива, необходимое для обеспечения больших расходов топлива через форсунки и качественного его распыла, составляет от 3 до 15 МПа.

### **2. Устройство системы топливоподачи ГТД**

Система топливоподачи состоит из топливной системы летательного аппарата (от топливных баков до приводного подкачивающего насоса) и системы топливопитания ГТД.

В общем случае топливная система ГТД может иметь пусковую, основную и форсажную системы.

Принципиальная схема системы топливопитания ТРДФ представлена на рис. 1.

Основная система обеспечивает подачу топлива в основную камеру сгорания в течение всего времени работы двигателя.

Форсажная система подает топливо в форсажную камеру сгорания при работе двигателя на форсажном режиме.

Пусковая система основного топлива обеспечивает подачу топлива в пусковые воспламенители основной камеры сгорания при запуске двигателя. По окончании запуска (через 30...60 с) подача пускового топлива отключается.

Пусковая система форсажного топлива обеспечивает подачу топлива в

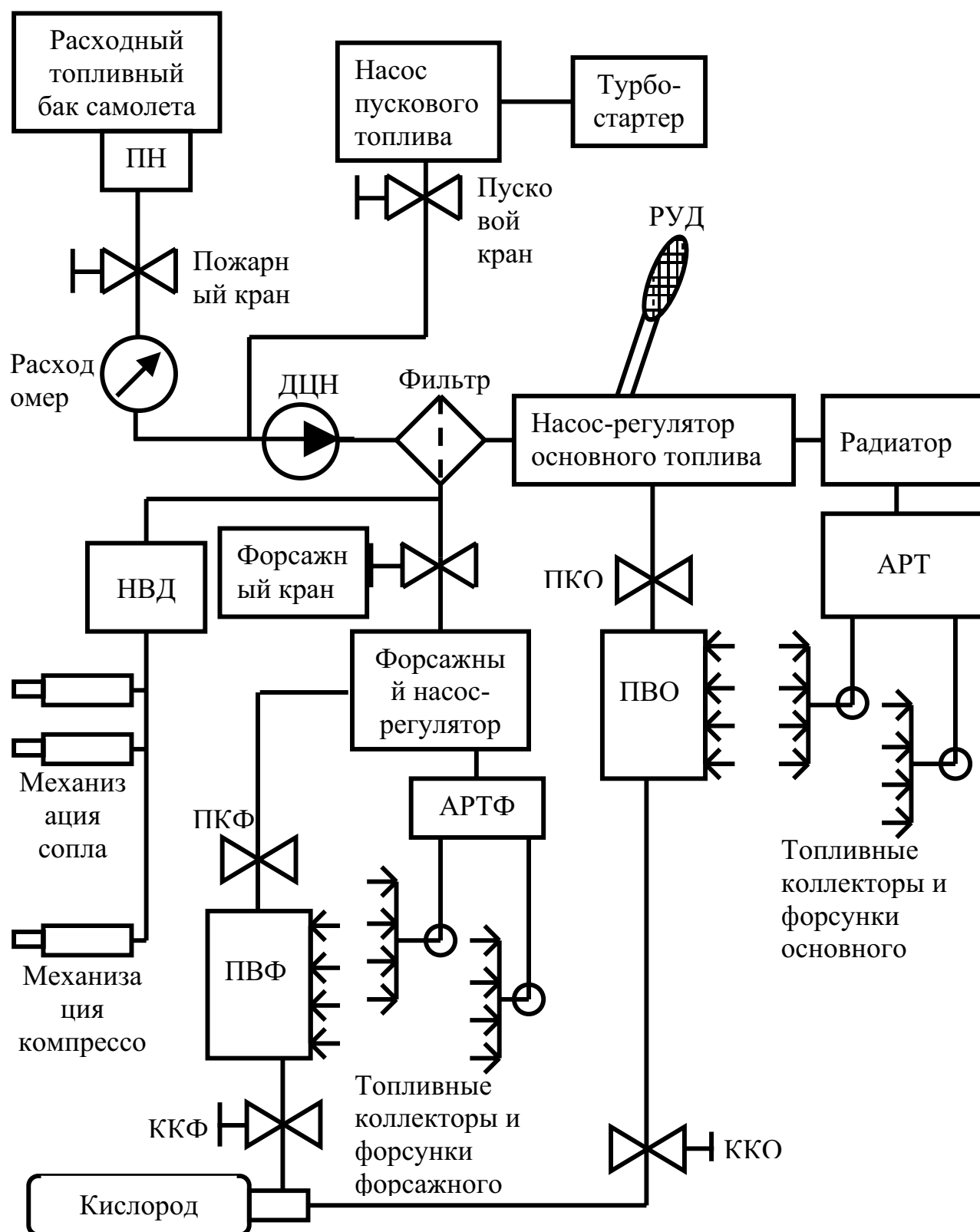


Рис. 1. Принципиальная схема системы топливопитания ТРДФ

пусковые воспламенители форсажной камеры сгорания при включении форсажа.

На схеме рис. 1. обозначены:

- ПН – баковый электроприводной подкачивающий насос;
- ДЦН – подкачивающий двигательный центробежный насос;
- РУД – рычаг управления двигателем;
- НВД – насос высокого давления, обеспечивающий работу гидроцилиндров управления соплом и механизацией компрессора;
- ПКО, ПКФ – пусковые краны основной и форсажной камер сгорания;
- ПВО, ПВФ – пусковые воспламенители основной и форсажной камер сгорания;
- АРТ, АРТФ – автоматические распределители топлива в коллекторы основной и форсажной камер сгорания;
- ККО, ККФ – краны подачи кислорода в пусковые воспламенители основной и форсажной камер сгорания.

Кислородная подпитка пусковых воспламенителей применяется для повышения надежности розжига топлива и запуска двигателя или включения форсажа на больших высотах и в зимних условиях.

Кроме своих прямых функций топливо выполняет функции рабочего тела в гидроцилиндрах управления механизацией компрессора и створками реактивного сопла. Для этого в систему включен специальный топливный насос высокого давления. Из гидроцилиндров топливо возвращается в топливную систему и далее поступает в камеру сгорания.

Для самолетов, летающих со скоростями более двух скоростей звука возможно включение в топливную систему специальных топливовоздушных радиаторов для охлаждения топлива. Воздух к таким радиаторам подается от самолетной холодильной установки.

### **3. Агрегаты топливной системы**

К агрегатам топливных систем относятся подкачивающие и основные топливные насосы, фильтры, автоматические распределители топлива, топливные коллекторы и топливные форсунки

#### **3.1. Подкачивающий топливный насос**

Подкачивающий топливный насос (ДЦН) создает напор топлива, необходимый для преодоления гидравлического сопротивления в трубопроводах и агрегатах системы топливопитания двигателя, расположенных до основного топливного насоса, а также для предотвращения явления кавитации на входе в основной топливный насос. Применение насоса подкачки увеличивает высостность топливной системы.

В качестве двигательных подкачивающих насосов могут использоваться насосы центробежного типа, реже – шестеренные или коловратные. Привод

двигательного подкачивающего насоса обеспечивается от ротора двигателя через коробку привода агрегатов.

На рис. 2 показана конструкция двигательного центробежного подкачивающего насоса ТРДФ АЛ-21Ф-3.

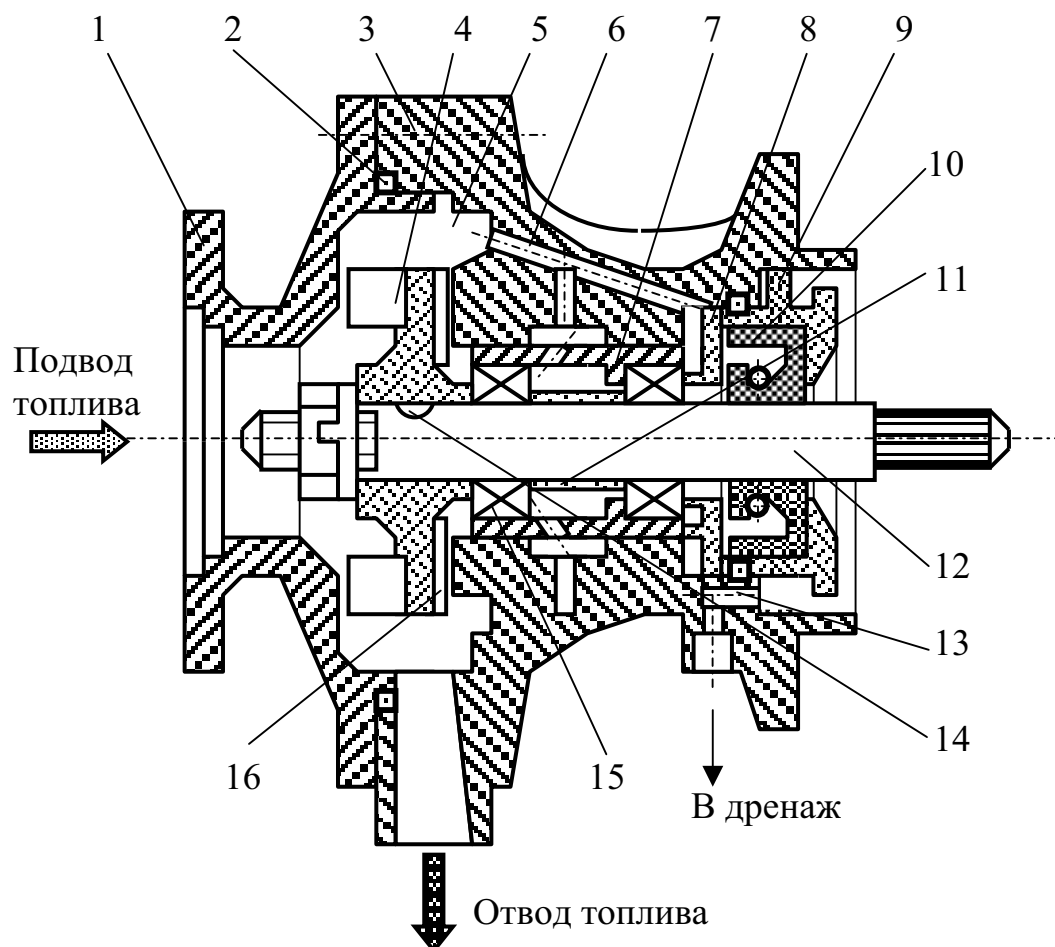


Рис. 2. Подкачивающий центробежный насос ДЦН-70:

1 – крышка корпуса; 2 – кольцо уплотнительное; 3 – корпус насоса; 4 – крыльчатка ротора; 5 – полость высокого давления; 6 – канал подвода топлива на смазку подшипников; 7 – стакан подшипников; 8, 11 – втулка; 9 – крышка уплотнительная; 10 – манжета; 12 – вал ротора; 13 – канал дренажа; 14 – шпонка; 15 – подшипник; 16 – импеллер

Качающим элементом центробежного насоса является рабочее колесо (крыльчатка), которое увлекает топливо из подводящей магистрали и отбрасывает его с повышенным давлением и скоростью в диффузор, где динамический напор преобразуется в статическое давление.

Предельные значения частоты вращения ротора насоса выбираются из условий прочности крыльчатки.

Число лопаток с учетом кавитационных качеств крыльчатки находится в пределах 6 – 14. Лопатки загибают либо по ходу вращения крыльчатки на угол  $110...150^\circ$  для повышения напора, либо против хода крыльчатки на угол  $18...40^\circ$  для обеспечения высокого значения КПД насоса.

Недостатками центробежных насосов являются резкое снижение напорности при уменьшении частоты вращения крыльчатки и значительный подогрев топлива на нерасчетных режимах.

### 3.2. Основные и форсажные топливные насосы

Основные и форсажные топливные насосы подают топливо к форсункам под давлением, обеспечивающим надлежащее качество распыла. В качестве основных и форсажных топливных насосов применяют плунжерные, шестеренные и центробежные насосы.

В системах топливопитания ГТД с производительностью подачи топлива до 5000...10000 кг/ч могут применяться *плунжерные насосы*.

Плунжерные насосы имеют высокий коэффициент объемной подачи, создают давление топлива на выходе до 8...15 МПа.

Основное преимущество плунжерного насоса состоит в возможности достаточно простого регулирования подачи топлива при сохранении постоянной частоты вращения качающего узла без перепуска и дросселирования, что уменьшает нагрев топлива в насосе.

К недостаткам насосов данного типа относятся сложность конструкции насоса, чувствительность к коррозии и наличию в топливе механических примесей, ограниченная производительность, надежная работа при температуре топлива не выше 370...390К. Кроме того, плунжерные насосы требуют большого кавитационного запаса по давлению на входе (не менее 0,15...0,35 МПа).

По конструкции плунжерные насосы могут выполняться с радиальным или аксиальным расположением плунжеров. В топливных системах ГТД чаще используются насосы с аксиальным расположением плунжеров под углом к оси вращения (рис. 3).

Принцип работы плунжерного насоса: при вращении ротора плунжеры совершают возвратно-поступательные движения в стаканах ротора вдоль своих осей, поочередно засасывая и нагнетая топливо через окна распределительной золотниковой шайбы.

Объемная производительность плунжерного насоса складывается из подач отдельных плунжеров:

$$Q = i \frac{\pi d_n^2}{4} S_{\max} n \eta,$$

где  $i$  – количество плунжеров (обычно от пяти до одиннадцати штук);  $d_n$  – диаметр плунжера (10...20 мм);  $S_{\max}$  – ход плунжера от верхней мертвой точки до нижней мертвой точки за 1/2 оборота ротора (от 15 до 30 мм);  $n$  – частота вращения ротора насоса (4000...5000 об/мин; при большей частоте вращения возрастают инерционные нагрузки и увеличивается износ насоса);  $\eta$  – коэффициент объемной подачи (при давлении топлива на входе в насос 0,15...0,5 МПа и давлении на выходе 9...10 МПа  $\eta \approx 0,95...0,95$ ).

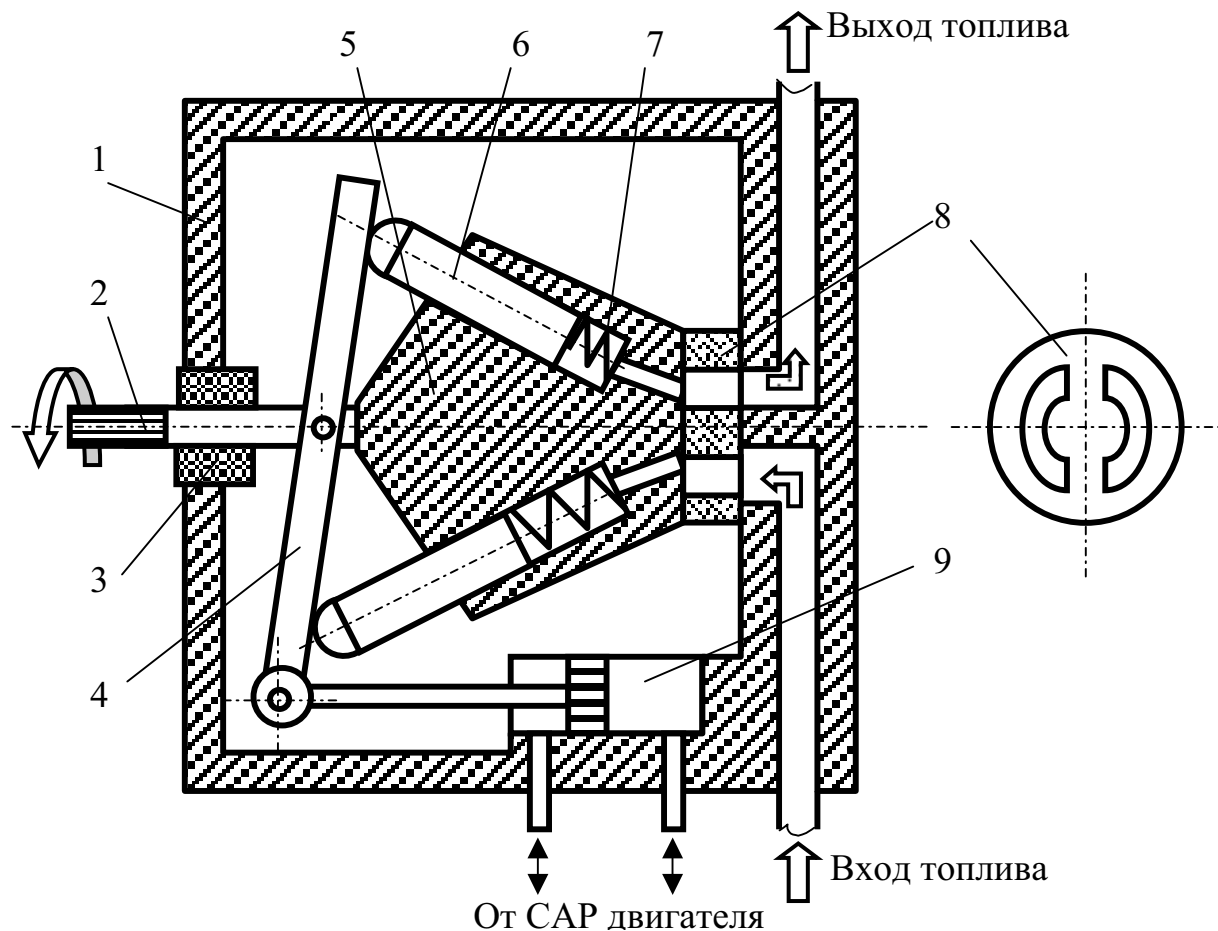


Рис. 3. Схема плунжерного топливного насоса:

1 – корпус; 2 – шлицевой вал привода; 3 – уплотнительный сальник; 4 – наклонная шайба; 5 – ротор; 6 – плунжер; 7 – пружина; 8 – золотниковая шайба; 9 – сервопривод

Количество плунжеров всегда выбирается нечетным для снижения пульсаций топлива на выходе из насоса. При четном числе плунжеров начало подачи одним плунжером будет совпадать с окончанием подачи другим, противоположным плунжером. При нечетном числе плунжеров за счет смещения фаз всасывания и нагнетания пульсации подачи топлива сглаживаются (рис. 4).

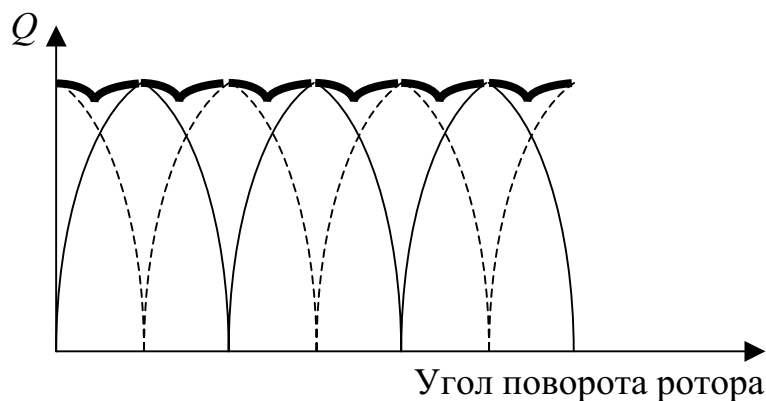


Рис. 4. Изменение производительности плунжерного насоса от угла поворота ротора

Регулирование производительности плунжерного насоса достигается изменением хода плунжеров за счет управления углом установки наклонной шайбы с помощью сервопривода. Максимальный угол установки наклонной шайбы составляет  $13...15^{\circ}$ .

Производительность насоса, при которой достигается его наименьшая удельная масса (то есть, отношение массы насоса к его производительности) составляет  $5000...6000$  кг/ч.

Плунжеры изготавливаются из цементируемой стали (12ХНЗФ, ХВГ), барабан ротора из сурьмянистой бронзы или стали (с бронзовыми гильзами под плунжеры), корпус насоса – из литейных алюминиевых сплавов АЛ-4, АЛ-5, АЛ-9.

*Шестеренные топливные насосы* по сравнению с плунжерными имеют ряд преимуществ:

- просты по конструкции, компактны;
- при одинаковых габаритах и массе превосходят по производительности плунжерные насосы в 1,5 – 2 раза;
- производительность шестеренного насоса можно повысить применением нескольких качающих секций;
- мало чувствительны к чистоте и сорту топлива.

Основными недостатками шестеренных топливных насосов являются:

- трудность обеспечения высокого давления топлива из-за значительных утечек через радиальные и торцевые зазоры (современные шестеренные насосы обеспечивают при использовании подкачивающего центробежного насоса давление топлива на выходе не более  $8...12$  МПа);
- изменение производительности насоса производится изменением перепуска топлива, что увеличивает потребляемую мощность на привод насоса и ведет к дополнительному нагреву циркулирующего топлива;
- объемный КПД шестеренного насоса ниже, чем плунжерного, и составляет  $\eta \approx 0,75...0,82$ .

Схема качающего узла топливного шестеренного насоса приведена на рис. 5.

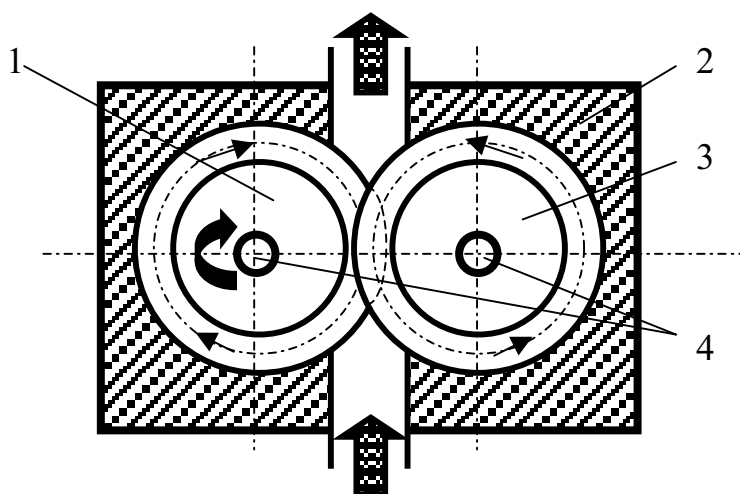


Рис. 5. Схема качающего узла шестеренного насоса:

- 1 – ведущая шестерня; 2 – корпус; 3 – ведомая шестерня;  
4 – валики шестерен с подшипниками

Основными элементами качающего узла шестеренного топливного насоса являются ведущая шестерня, приводимая во вращение через привод от ротора двигателя, ведомая шестерня, приводимая во вращение от ведущей шестерни, корпус, валики шестерен, подшипники, торцевые уплотнения.

Для снижения пульсаций подачи топлива шестерни имеют достаточно большое число зубьев (до 10 – 18), несмотря на то, что это ведет к увеличению габаритов насоса.

Частота вращения шестерен ограничивается максимально допустимой окружной скоростью на головках зубьев (не более 10...17 м/с при наличии подкачивающего насоса), что обусловлено обеспечением заполнения топливом впадин между зубьями. При подаче топлива к торцам шестерен окружная скорость на головках зубьев может быть доведена до 50 м/с.

Скорость топлива на входе в насос ограничена величиной 4...5 м/с, что связано с возможностью возникновения кавитации как в самом насосе, так и в подводящих и отводящих трубопроводах.

Наиболее нагруженные элементы в топливном шестеренном насосе – опоры шестерен. На них действуют боковая сила от разности давления топлива на входе и выходе, пульсационные нагрузки, сила реакции крутящего момента. В опоры топливных шестеренных насосов устанавливают роликовые игольчатые подшипники, которые смазываются и охлаждаются топливом.

Шестерни изготавливают из цементируемых или азотируемых сталей (12ХНЗФ, 18ХНВА, ЭИ247), корпус – литой из стали или литейных алюминиевых сплавов, оребренный для увеличения поверхности охлаждения.

*Центробежные топливные насосы* находят широкое применение не только в качестве подкачивающих, но и как основные и форсажные насосы высокого давления. Они при сравнительно малых габаритах обеспечивают производительность до 35000...40000 кг/час при давлении на выходе основного насоса до 8...9 МПа при давлении подкачивающего насоса 0,2...0,6 МПа. Крыльчатка в высоконапорных топливных насосах выполняется, как правило, открытого типа (рис. 6). Открытые крыльчатки просты в изготовлении, выдерживают высокие центробежные нагрузки, но имеют повышенные гидравлические потери из-за перетекания по торцевым поверхностям.

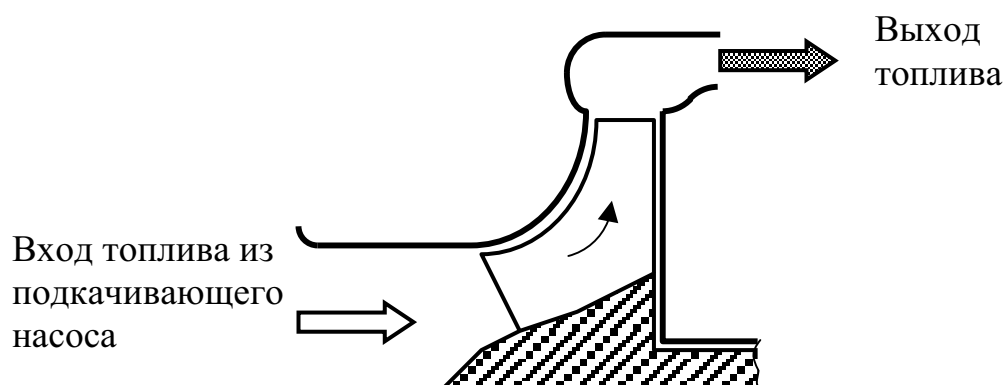


Рис. 6. Схема центробежного топливного насоса высокого давления с крыльчаткой открытого типа

### 3.3. Топливные форсунки

Подача топлива в основные и форсажные камеры сгорания осуществляется с помощью топливных форсунок. Для получения высокого коэффициента полноты сгорания топлива, устойчивого горения и надежного запуска к конструкции форсунок предъявляются следующие требования:

- обеспечение распыла топлива на всех режимах работы двигателя (средний диаметр капель должен составлять от 30 до 100 мкм). На тонкость распыла оказывает влияние давление топлива перед форсункой. Минимальное давление топлива, при котором обеспечивается хорошее распыливание топлива составляет 3...6 МПа;

- равномерность подачи и распределения топлива по объему зоны горения, что обеспечивает полноту сгорания топлива, равномерное поле температур перед турбиной и заданные экологические характеристики камеры сгорания. Неравномерность подачи топлива отдельными форсунками одного комплекта не должна превышать на максимальном режиме 2...3 %, а на режиме малого газа – 10...20 %. Секториальная неравномерность внутри каждого факела относительно оси распыливания – не более 20...30%;

- необходимая величина угла факела: на режиме запуска двигателя при воспламенении топлива угол факела должен составлять 60...70°, на режиме малого газа – 110...120°, на основных режимах работы двигателя – 80...90°. На запуске создаются хорошие условия для воспламенения за счет концентрации сравнительно небольшого количества топлива в относительно небольшом объеме; на режиме малого газа увеличение угла распыла позволяет охватить и прогреть максимальный объем жаровой трубы; на максимальном режиме топливо выходит из форсунок под большим давлением и не должно попадать на стенки жаровой трубы, чтобы не вызвать ее прогара (но если сильно уменьшить угол факела, то топливо будет догорать в турбине);

- герметичность форсунок, износоустойчивость, предотвращение нагарообразования;

- малые масса и габариты, простота конструкции.

Условия работы топливных форсунок в ГТД весьма тяжелые и характеризуются следующими факторами:

- неравномерность температур деталей форсунки (наружная часть находится в области высокотемпературного газа, а внутренние детали имеют температуру топлива);

- повышенные вибрации, так как форсунки устанавливаются на упругом основании (тонкостенной оболочке камеры сгорания или на сравнительно нежестком топливном коллекторе;

- возможность возникновения кавитации, так как подогретое топливо течет в каналах форсунок с большой скоростью;

- форсунка может использоваться в качестве одной из опор жаровой трубы.

Эти факторы должны использоваться при разработке конструкции форсунки и компоновке ее на двигателе.

По способу подачи топлива форсунки делятся на два типа; испарительные и распыливающие.

*Испарительные форсунки* подают топливо в виде парогазовой смеси за счет предварительного нагрева, испарения и частичного термического крекинга жидкого топлива. Они просты по конструкции, обеспечивают высокую полноту сгорания топлива, но сложны в доводке и регулировании, взрывоопасны при прогарах испарительных трубок, поэтому широкого распространения пока не получили. Испарительные форсунки установлены на ВСУ ТА-6А самолетов Ил-76 и на турбовальном двигателе Т700-GE-700 американской фирмы Дженерал Электрик.

*Распыливающие форсунки* подают топливо в виде мелкораспыленных капель и бывают двух типов: струйные и центробежные.

*Струйные форсунки* просты по конструкции, но не обеспечивают хорошего распыла топлива и заданного распределения его по объему камеры сгорания. Они нашли применение в форсажных камерах сгорания. В основных камерах сгорания используются редко (турбовальный двигатель ГТД-3Ф вертолета Ка-25, турбовинтовые двигатели Walter M-601, M-602 для пассажирского самолета L-410, малоразмерные двигатели для беспилотных летательных аппаратов).

*Центробежные форсунки* бывают нерегулируемыми и регулируемыми. Нерегулируемые центробежные форсунки применяются в пусковых системах и форсажных камерах, регулируемые – в основных камерах сгорания ГТД, где необходимо изменение расхода топлива в широких пределах в зависимости от режимов работы двигателя и полета самолета.

В центробежной форсунке топливо поступает по тангенциальному каналу в камеру закручивания, в которой движется к выходному соплу от периферии к центру (рис. 7). При этом тангенциальная скорость движения топлива возрастает, а давление падает до значения давления воздуха в камере сгорания. Выходя из сопла форсунки, частицы топлива образуют полый конус с углом  $\alpha$  у вершины.

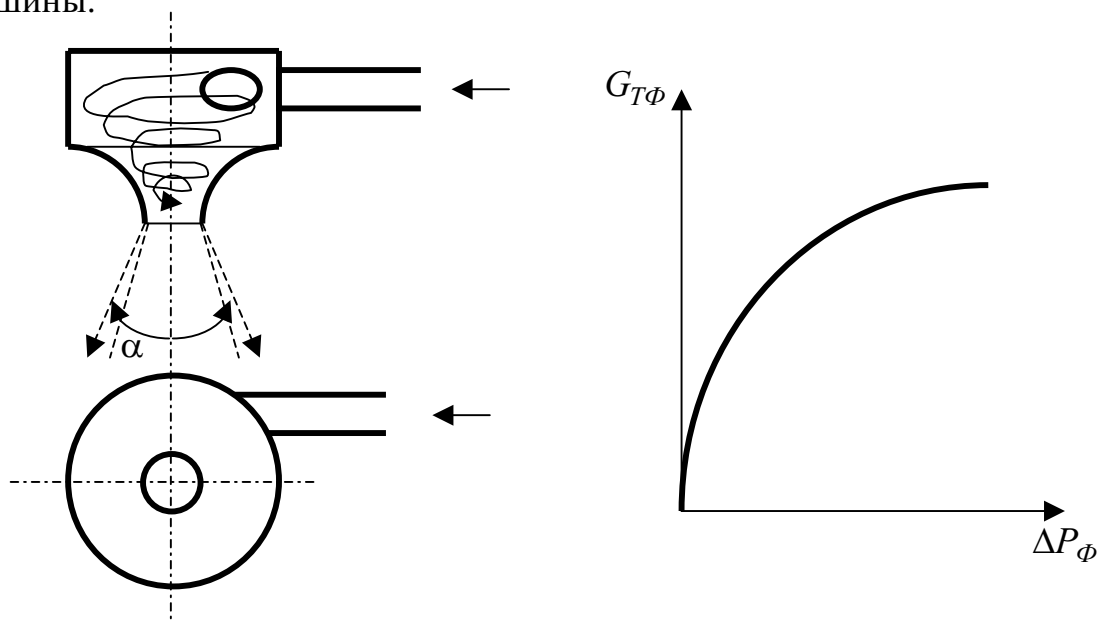


Рис. 7. Принцип работы центробежной форсунки

Расход топлива через центробежную форсунку определяется по формуле

$$G_{T\Phi} = \mu F_C \sqrt{2\rho \Delta P_\Phi},$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода топлива через форсунку ( $\mu = 0,3 \dots 0,4$ );

$F_C$  – площадь выходного сечения сопла форсунки;  $\rho$  – массовая плотность топлива;  $\Delta P_\Phi = P_{ТОПЛ} - P_{ВОЗД}$  – перепад давления на форсунке.

Регулирование расхода в одноканальной односопловой форсунке выполняется изменением перепада давления, что обеспечивает соотношение расходов на максимальном и минимальном режимах  $\frac{G_{T\Phi \max}}{G_{T\Phi \min}} = 4 \dots 6$ .

Одноканальные форсунки применяются в камерах сгорания вспомогательных ГТД, турбостартерах (ТС-19, ТС-21, С-3), форсажных камерах в сочетании со струйными форсунками (Р29, АЛ-21) и в основных камерах двигателей с небольшим диапазоном изменения расходов топлива по режимам (Д-36, Д-136).

Потребный диапазон расходов топлива у маневренных летательных аппаратов (истребителей, штурмовиков, боевых вертолетов) составляет  $\frac{G_{T\Phi \max}}{G_{T\Phi \min}} = 40 \dots 50$  и не может быть обеспечен изменением перепада давления.

Для изменения расхода топлива в широком диапазоне применяют регулирование изменением площади сопла форсунки  $F_C$  и регулирование изменением коэффициента расхода  $\mu$  с одновременным изменением перепада давления.

Регулирование изменением площади сопла выполняется в двух сопловых (рис. 8) или трехсопловых форсунках.

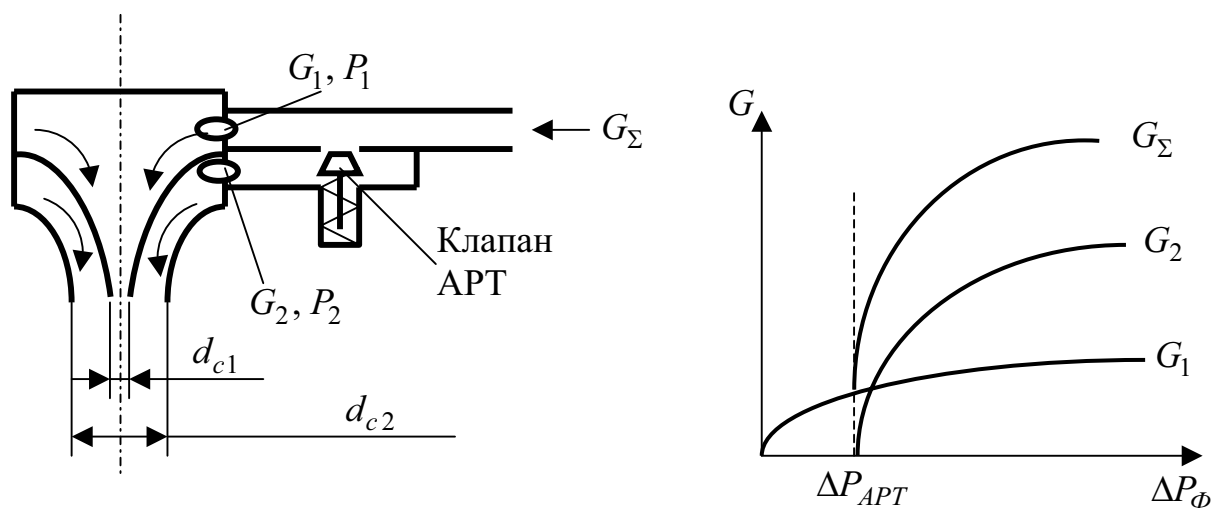


Рис. 8. Принцип работы двухканальной двухсопловой центробежной форсунки

При малых давлениях топлива клапан автоматического распределения топлива (АРТ) закрыт, расход топлива определяется одним соплом  $d_1$  (расход  $G_1$ ). При достижении давления топлива  $1 \dots 1,8$  МПа открывается АРТ и в

работу включается второе сопло  $d_2$  с расходом  $G_2$ , тогда суммарный расход топлива через оба сопла составляет  $G_{\Sigma} = G_1 + G_2$ .

Недостатки таких форсунок:

- неудовлетворительный распыл топлива в момент включения клапана, так как истечение из сопла в этот момент происходит под малым избыточным давлением;
- неравномерность расхода топлива в момент включения АРТ в форсунках верхней и нижней частей топливного коллектора из-за влияния давления столба топлива в коллекторе.

Регулирование изменением коэффициента расхода может выполняться в двухступенчатых (трехступенчатых), плунжерных форсунках и в форсунках с перепуском топлива.

Схема двухступенчатой однокамерной топливной форсунки приведена на рис. 9.

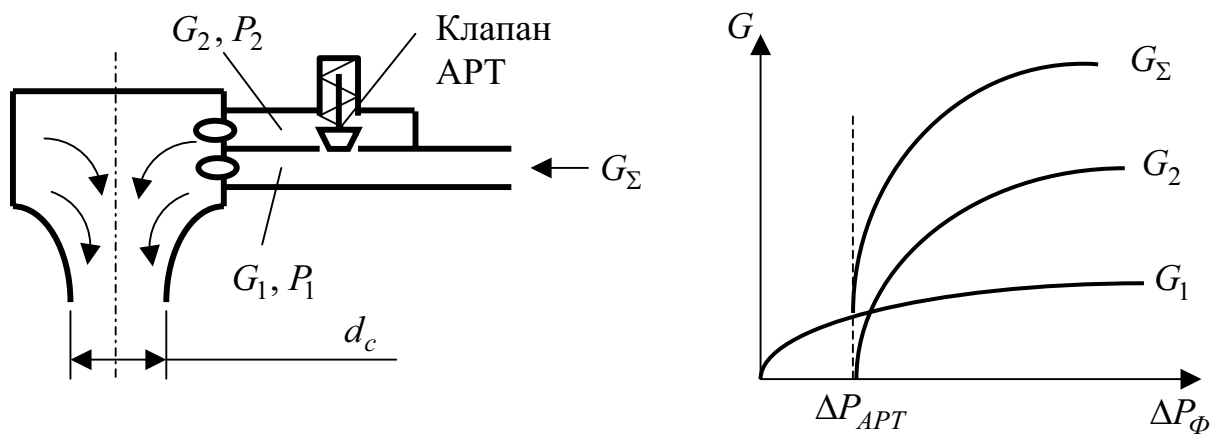


Рис. 9. Принцип работы двухступенчатой однокамерной центробежной топливной форсунки

В плунжерной форсунке (рис. 10) за счет смещения плунжера по мере роста давления топлива уменьшается дросселирование перед входными каналами основного контура и в работу включаются последующие тангенциальные каналы, что приводит к увеличению коэффициента расхода  $\mu$ .

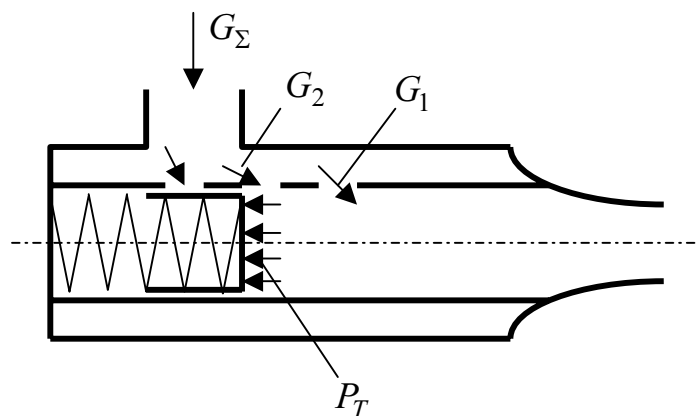


Рис. 10. Плунжерная форсунка

Недостатком однокамерных двухступенчатых и плунжерных форсунок является неравномерность расхода отдельных форсунок, работающих от общего топливного коллектора, из-за разных гидравлических сопротивлений входных каналов и различной настройки пружин клапанов или плунжеров. Недостаток, связанный с различным расположением форсунок на топливном коллекторе, проявляется в меньшей мере, так как в момент подключения очередной ступени в камере закручивания уже находится топливо под давлением.

В меньшей мере эти недостатки присущи форсунке с перепуском топлива (рис. 11). В такой форсунке в камеру закручивания подается весь суммарный расход топлива, а его избыток возвращается на вход в насос через магистраль слива. С ростом давления количество сливаемого топлива уменьшается.

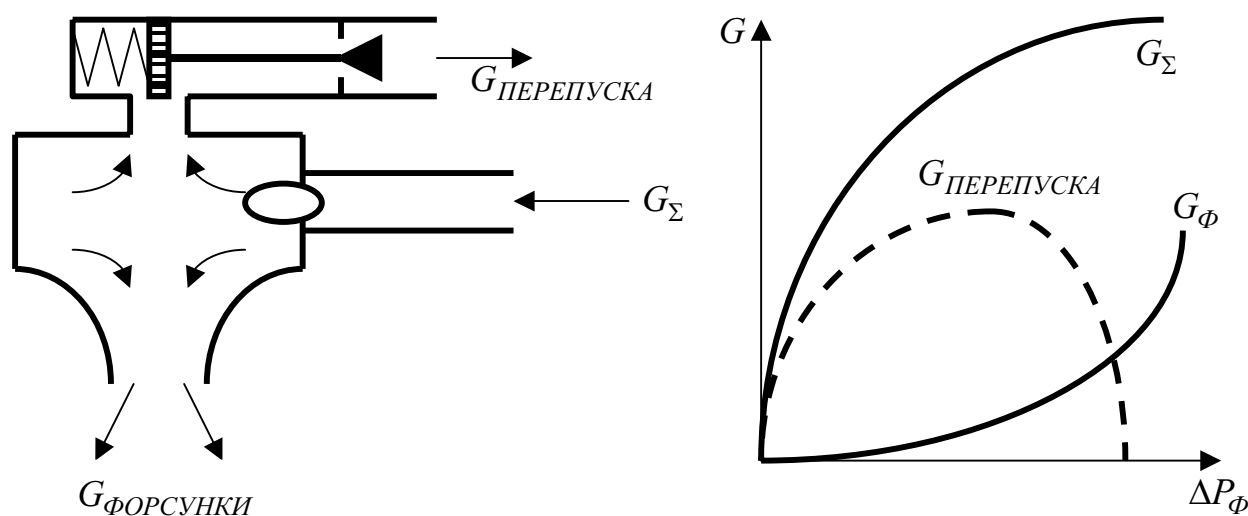


Рис. 11. Принцип работы форсунки с перепуском топлива

Недостатками форсунки с перепуском топлива являются излишняя нагрузка насоса на режимах с малыми расходами топлива, постоянный угол конуса распыла и нагрев топлива при перепуске.

Недостатки, присущие рассмотренным схемам, в меньшей мере проявляются в двухступенчатой двухкамерной форсунке (рис. 12). В таких форсунках разделительная перегородка уменьшает влияние разницы давлений в камерах на равномерность расхода, так как уменьшается перетекание топлива из одной полости в другую.

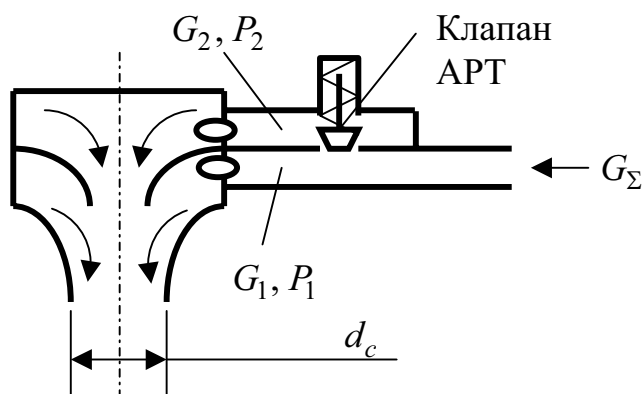


Рис. 12. Принцип работы двухступенчатой однокамерной центробежной топливной форсунки

### 3.4. Топливные фильтры

Наличие примесей в топливе приводит к интенсивному износу качающих узлов, заеданию плунжеров и золотников, засорению жиклеров и форсунок. Поэтому топливо многократно фильтруется при подаче в двигатель и в самой топливной системе двигателя. Самолетные топливные фильтры должны задерживать частицы диаметром более 16...20 мкм, а топливные фильтры двигателя – до 3...4 мкм.

Фильтры устанавливаются как до основного топливного насоса (фильтры низкого давления), так и после основного насоса (фильтры высокого давления).

*Сетчатые фильтры* саржевого плетения изготавливаются из латунной, бронзовой или никелевой проволоки. Они просты, долговечны, имеют малое гидравлическое сопротивление. Тонкость фильтрации – порядка 16...20 мкм. Сетчатые фильтры высокого давления имеют до 10000 отверстий на 1 см<sup>2</sup>.

*Пористые фильтры* применяются в каналах с относительно небольшим расходом топлива (в агрегатах системы автоматики). Они изготавливаются спеканием медных или бронзовых зерен (90...95%) с оловом (5...10%), при этом между зернами образуются мелкие поры.

*Щелевые фильтры* представляют собой резьбовой каркас, на который виток к витку намотана проволока таким образом, что между витками образуются зазоры, через которые проходит топливо. Такие фильтры устанавливаются непосредственно в топливных форсунках.

В ранних конструкциях ГТД применялись *тканевые* (фетровые, шелковые, капроновые) и *бумажные фильтры*. Они обеспечивают высокую степень фильтрации топлива, но имеют малый ресурс и впитывают воду, находящуюся в топливе, что может привести к обмерзанию фильтра при низких температурах.

На случай засорения фильтроэлемента в конструкции фильтра предусматривается специальный клапан, перепускающий неочищенное топливо к выходному штуцеру.

Промывка фильтроэлементов в эксплуатации производится в бензине Б-70 на ультразвуковых установках.

### 3.5. Трубопроводы топливных систем

Система топливопитания авиационного ГТД включает всасывающие, нагнетающие и сливные трубопроводы. Наибольшее применение нашли жесткие стальные трубопроводы, которые изготавливаются из стали 20А или Х18Н10Т с нанесением антикоррозионного покрытия.

Трубопроводы имеют технологические и монтажные разъемы. К соединениям трубопроводов предъявляются жесткие требования по обеспечению герметичности при всех условиях эксплуатации. Трубопроводы соединяют между собой и с агрегатами посредством ниппельных, штуцерных или фланцевых соединений. Элементами ниппельного соединения являются трубопроводы, ниппель, накидная гайка и штуцер (рис. 13).

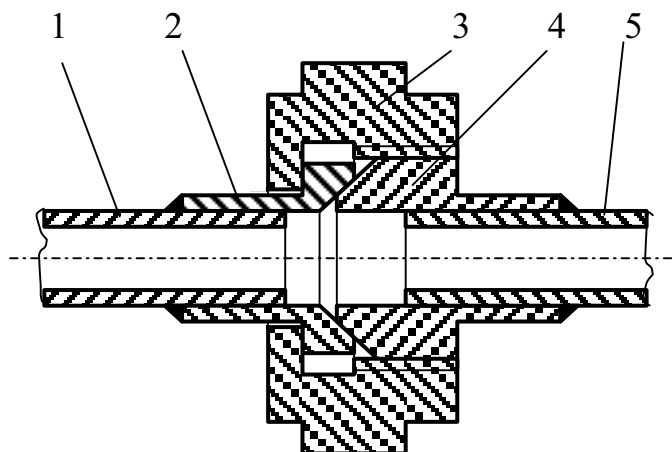


Рис. 13. Ниппельное соединение:

1,5 – соединительные трубки; 2 – ниппель; 3 – гайка; 4 – конус

Уплотнение соединения осуществляется за счет плотного контакта между внутренним конусом ниппеля и ответной конической или сферической поверхностью.

Для улучшения антифрикционных свойств резьбовой пары резьба гайки покрывается техническим серебром.

Элементы штуцерного соединения уплотняют с помощью резинового уплотняющего кольца (рис. 14).

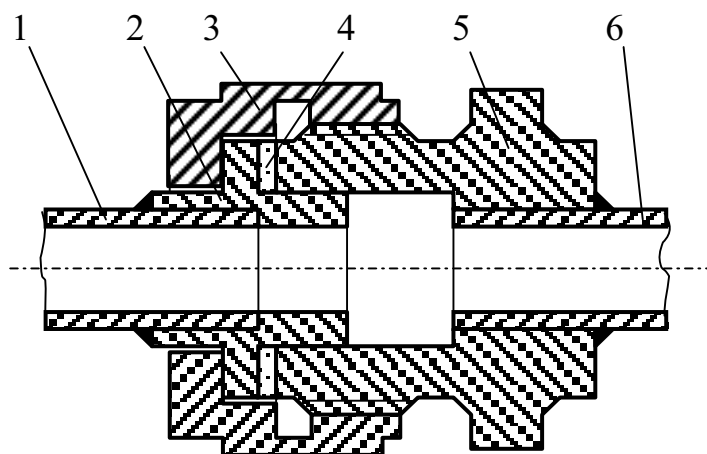


Рис. 14. Штуцерное соединение:

1, 6 – соединительные трубы; 2,5 – детали арматуры;  
3 – гайка; 4 – прокладка

Фланцевые соединения трубопроводов с агрегатами уплотняются с помощью резиновых колец.

Отдельные трубопроводы имеют телескопическое соединение. Телескопические соединения применяют для компенсации монтажных напряжений и тепловых расширений, возникающих вследствие неравномерного нагрева деталей двигателя и небольшого перекаса труб.

Поломки трубопроводов происходят, как правило, в местах приварки или припайки ниппеля или деталей соединительной арматуры, под зажимами

крепления трубопровода к корпусу двигателя, а также в местах максимальной изогнутости. Разрушения трубопроводов носят усталостный характер.

Для снижения уровня вибраций участки трубопроводов отстраивают от резонансов повышением жесткости самого трубопровода или изменением способа крепления. Под колодками креплений устанавливают демпферы колебаний (проволочные, резиновые, фторопластовые). Иногда между жесткими трубами устанавливают участки гибких трубопроводов – резино-тканевых шлангов с внешней упрочняющей металлической оплеткой и внутренним металлическим каркасом. Такие трубопроводы нечувствительны к вибрациям, удобны в монтаже, но имеют повышенную массу.

#### **4. Возможные неисправности систем топливопитания ГТД**

Неисправности в системах топливопитания ГТД могут стать причиной падения тяги (мощности) двигателя, незапуски или самовыключения двигателя, прогара стенок жаровых труб камер сгорания, стенок форсажных камер и створок реактивного сопла, перегрева турбины, нарушения нормальной работы автоматики компрессора и реактивного сопла, ухудшения экономичности двигателя, пожара на летательном аппарате.

Неисправности в системе топливопитания возникают вследствие:

- засорения топлива частицами механических примесей, что приводит к ухудшению работы пар трения насосов и топливотрегулирующей аппаратуры, засорению жиклеров и фильтров;
- коррозии деталей агрегатов из-за наличия в топливе сернистых соединений и воды;
- нарушения регулировки насосов-регуляторов и других агрегатов;
- засорения топливных фильтров кристаллами льда, появляющимися при замерзании воды, содержащейся в топливе;
- наличия воздушных пробок в трубопроводах и агрегатах;
- нарушения нормальной работы топливных форсунок, вызванных негерметичностью, эрозией сопел и каналов, коксованием топлива у сопла форсунки;
- нарушения герметичности насосов, трубопроводов и других агрегатов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструкция авиационных двигателей. Ч 2, Харьков: ХВВАИУ, 1981. – 327 с.
2. Кузьмин А.А., Отрешко Н.Н. Конструкция агрегатов систем топливопитания ГТД. Харьков: ХВВАИУ, 1985. – 54 с.
3. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели, конструкция и расчет деталей. – М.: Машиностроение, 1981. – 552 с.
4. Хмелик Б.Я., Нехорошев Б.Г. Агрегаты авиационных силовых установок. Харьков: ХАИ, 1979. – 69 с.