

СИСТЕМА СМАЗКИ И СУФЛИРОВАНИЯ

Необходимость наличия системы смазки

Смазка применяется в таких узлах трения энергетических установок, как:

- подшипники качения**
- зубья шестерен**
- шлицы рессор**

Смазка обеспечивает:

- снижение коэффициента трения между контактирующими поверхностями**
- снижение потери мощности на трение**
- отвод тепла и продуктов износа из зоны трения и предохраняет поверхности от наклепа**

Так, для смазки тяжелонагруженного РУП может оказаться достаточным весьма незначительное количество масла (не более 100 г / ч), а для съема тепла, выделяемого им (10...20кВт), требуется подавать масла до 100г/с

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ СМАЗКИ

Система смазки должна:

- Обеспечить на всех режимах работы ГТД, высотах и скоростях полета потребную прокачку масла с температурой на входе не выше предельной.**
- Не допускать перерывов в подаче смазки к узлам трения**
- Недопустимо попадание масла или его паров в систему отбора воздуха для нужд ЛА на всех режимах работы.**
- Конструкция, технология изготовления, сборки и испытаний узлов и деталей, входящих в маслосистему двигателя, должны обеспечивать чистоту масла, регламентированную ГОСТом.**
- Необходимо обеспечить контролепригодность маслосистемы перед полетом и в полете как визуально, так и посредством автоматизированного контроля.**

УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ СМАЗКИ

Применяются две принципиальные системы смазки ГТД:

- Циркуляционная, в которой все масляные полости являются замкнутыми и масло используется многократно для смазывания и охлаждения деталей, вновь возвращаясь к ним после откачки, отделения воздуха, очистки и охлаждения
- Разомкнутая (нециркуляционная), в которой масло используется однократно и после смазывания и охлаждения выбрасывается в атмосферу через сопло, сгорая при этом.

РАЗОМКНУТАЯ (НЕЦИРКУЛЯЦИОННАЯ) МАСЛОСИСТЕМА

**Используется в малоресурсных ГТД
разового применения (крылатые ракеты),
в подъемных двигателях
с кратковременным циклом работы.**

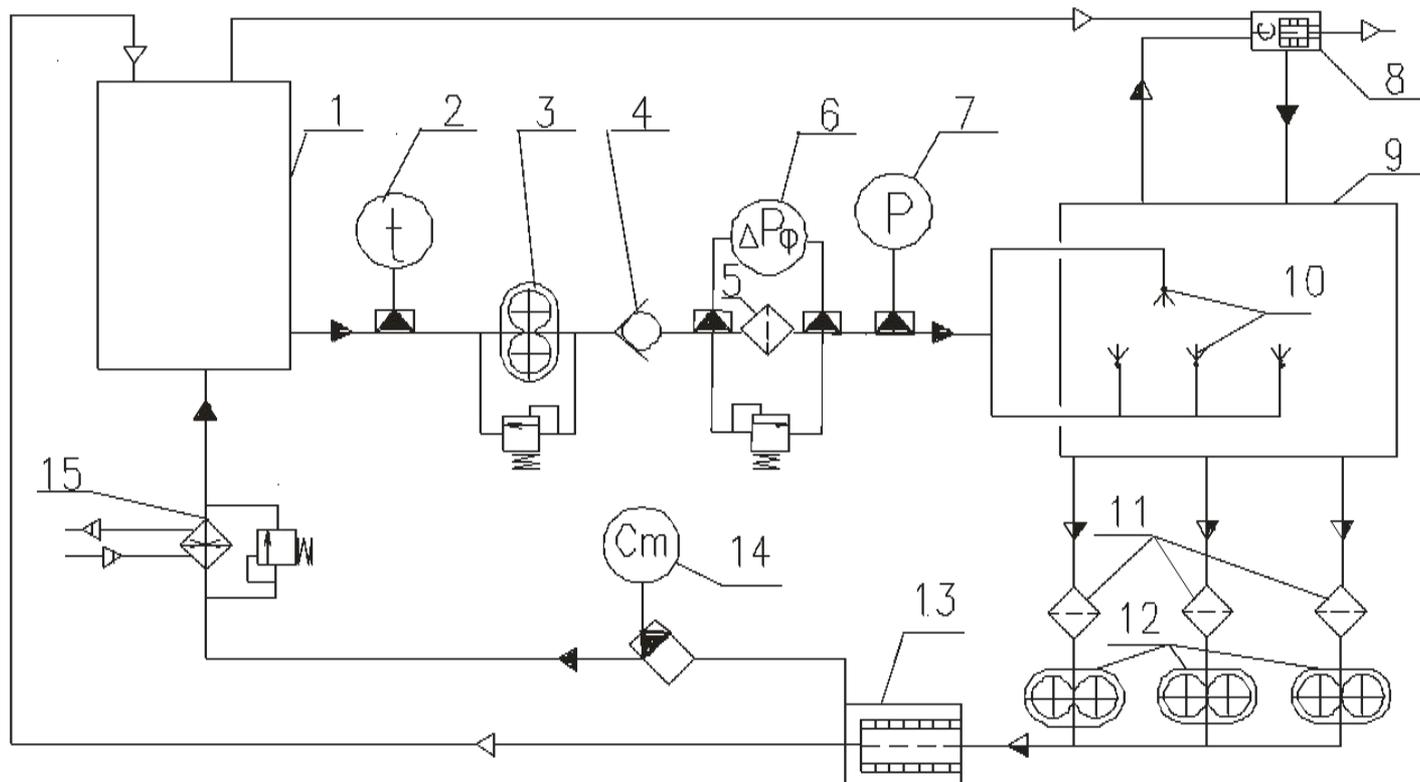
В последнее время она нашла применение в микро-ГТД.

**Эта схема наиболее проста,
но имеет большой расход смазки.**

**Иногда в таких схемах вместо масла
применяется керосин,
являющийся одновременно основным топливом.**

ЦИРКУЛЯЦИОННАЯ (ЗАМКНУТАЯ) СИСТЕМА

Состоит из трех подсистем: нагнетания, откачивания и суфлирования.



- 1 – маслобак; 2 – датчик температуры; 3 – нагнетающий насос (с редукционным клапаном);
4 – запорный клапан; 5 – фильтр (с перепускным клапаном);
6 – датчик сигнализации о загрязнении фильтра; 7 – датчик давления;
8 – суфлёр-сепаратор; 9 – условная масляная полость двигателя; 10 – форсунка;
11 – защитный фильтр; 12 – откачивающий насос; 13 – приводной центробежный
воздухоотделитель; 14 – датчик сигнализации наличия стружки в масле; 15 – теплообменник
(с перепускным клапаном).

Стрелками
показано

◁ – воздуха; ◀ – масла; ◄ – масло-воздушной смеси; ◁ – хладагента.

движение потоков:

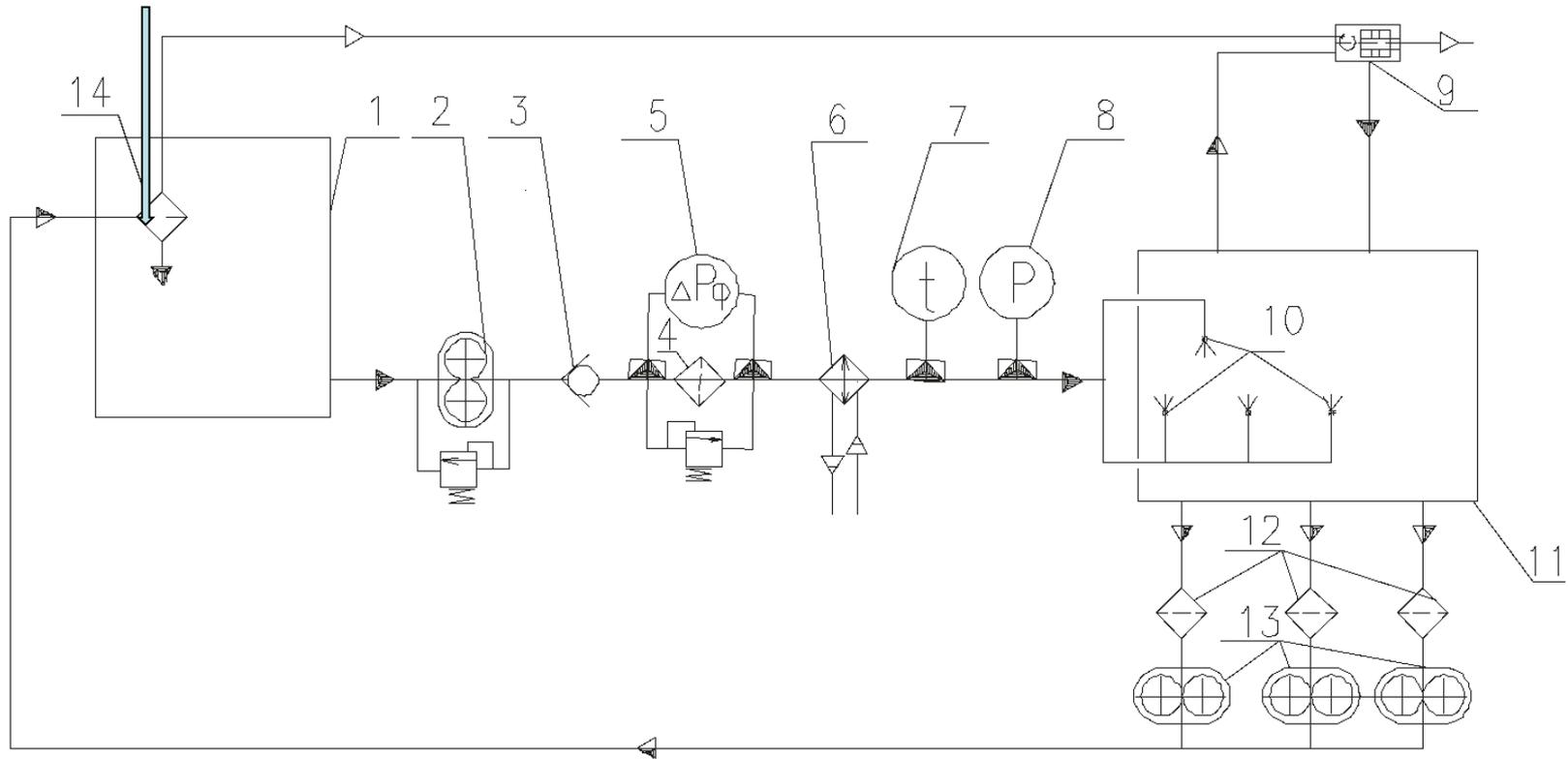
ПРИНЦИП РАБОТЫ ЗАМКНУТОЙ МАСЛОСИСТЕМЫ

Как видно из рассмотрения данной схемы, циркуляция масла в замкнутом контуре осуществлена через маслобак. Причем из двигателя масло возвращается в маслобак после его охлаждения в теплообменнике.

Сепарация откачиваемой из двигателя масло-воздушной смеси производится с помощью приводного центробежного воздухоотделителя (центрифуги). Поэтому на охлаждение в теплообменник поступает масло, практически не содержащее включений воздуха. Воздух из маслобака и из масляных полостей двигателя по системе суфлирования после его очистки в суфлере от частиц масла отводят в атмосферу (обычно на срез сопла). Такую схему масляной системы можно рассматривать как классическую.

МАСЛОСИСТЕМА С «ГОРЯЧИМ» МАСЛОБАКОМ

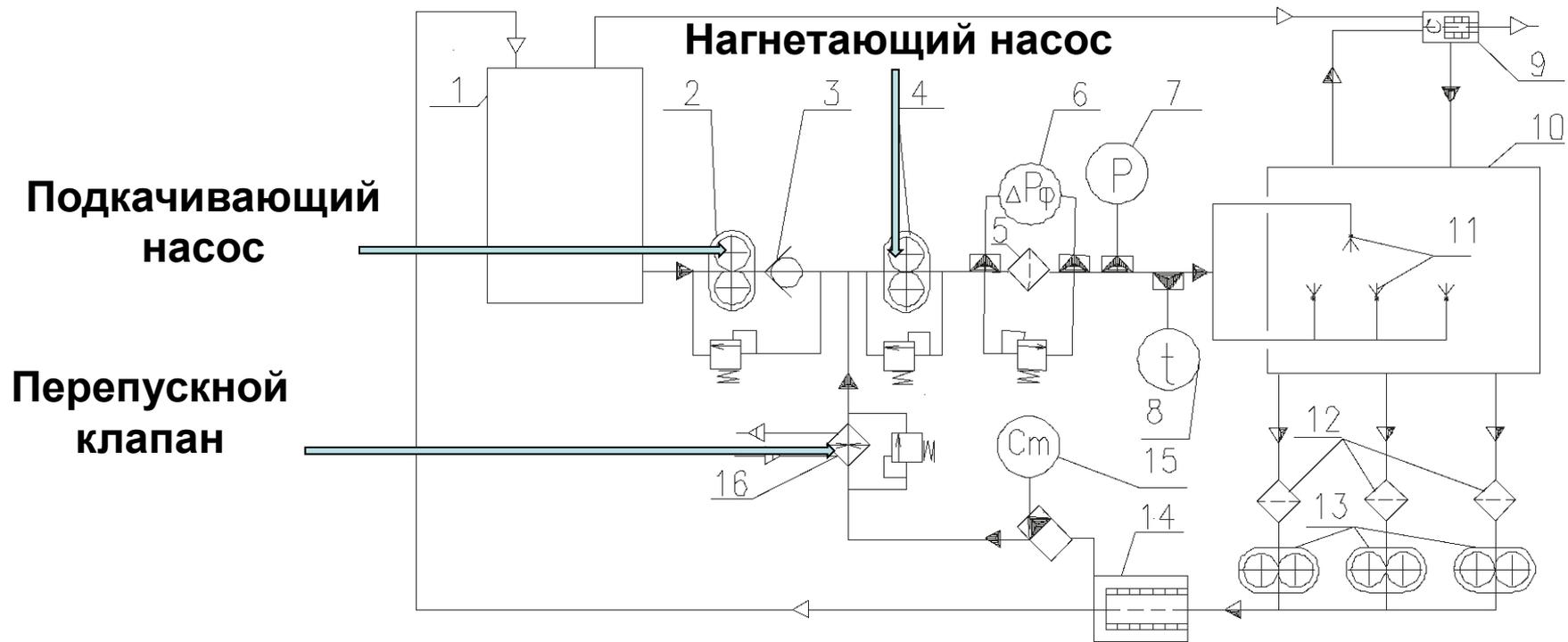
Статический
сепаратор



В такой схеме охлаждение масла происходит в линии подачи его в двигатель.

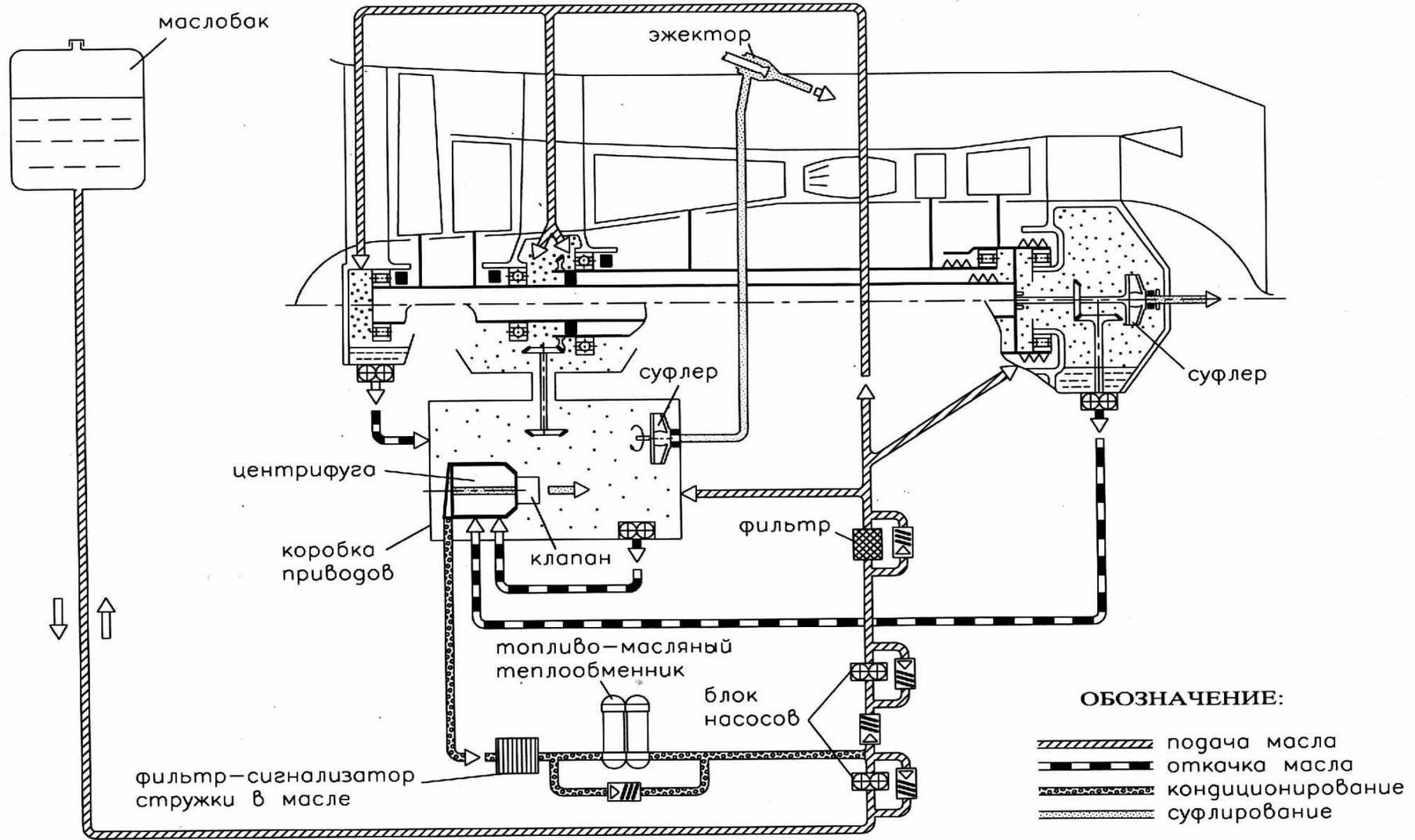
Воздух, отделенный от масла в статическом сепараторе, удаляют по системе суфлирования.

КОРОТКОЗАМКНУТАЯ СИСТЕМА



На мощных ГТД масляную систему выполняют по типу короткозамкнутой циркуляционной схемы, в которой только небольшая часть – до 15%, пройдя через теплообменник, поступает в маслобак. Это необходимо для прогрева находящегося в баке масла. Основная часть масла подается через перепускной клапан на нагнетающий насос.

КОРОТКОЗАМКНУТАЯ МАСЛОСИСТЕМА ТРДД НК-8



ВЗАИМОСВЯЗЬ СИСТЕМЫ СУФЛИРОВАНИЯ С МАСЛОСИСТЕМОЙ

Отделение масляных полостей двигателя от воздушных осуществляется подвижными уплотнениями, устанавливаемыми между валами и статором.

Для предотвращения утечки масла через уплотнение давление воздуха перед ним должно быть больше давления внутри масляной полости. При создании такого перепада воздух будет непрерывно проникать внутрь масляных полостей опор, препятствуя утечкам масла из них. Очевидно, что для исключения накопления в масляных полостях воздуха необходимо непрерывно осуществлять его отвод оттуда. Эту функцию и выполняет система суфлирования.

ОТКРЫТЫЕ И ЗАКРЫТЫЕ СИСТЕМЫ СУФЛИРОВАНИЯ

В ГТД с так называемой открытой системой суфлирования полости сообщаются непосредственно с атмосферой и давление в них близко к атмосферному. Оно падает с высотой, поэтому снижается производительность маслонасосов. В большинстве двигателей для обеспечения высотности системы суфлирования выполняют закрытыми, устанавливая специальный баростатический клапан, настроенный на заданную величину.

В закрытых системах используется баростатический клапан

СИСТЕМЫ СУФЛИРОВАНИЯ

Непосредственный отвод воздуха из масляных полостей и отвод его из системы суфлирования без сепарации невозможен, так как в нём содержится распылённое масло, и эксплуатационный расход последнего составил бы десятки литров в час.

Основные потери масла (80...90%) происходят именно из-за плохого суфлирования, что приводит также к ухудшению экологии двигателя

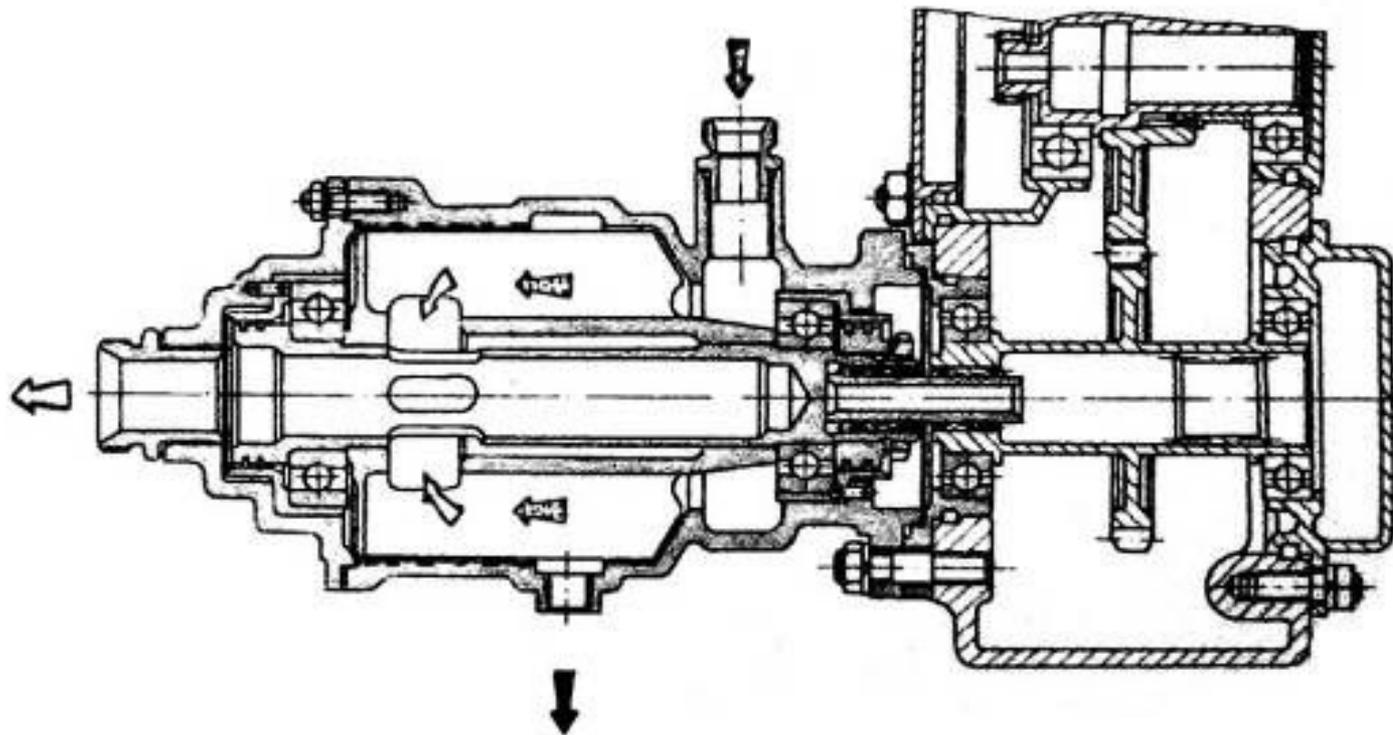
Сепараторы, отделяющие масло от воздуха, называются суфлерами. Они бывают статического или динамического типа. В статических нет подвижных элементов, и принцип их работы основан на осаждении частиц масла на стенках каналов, создающих искривление траектории потока воздухомасляной смеси. К такому виду сепараторов относятся неподвижные воздухоотделители типа «циклон» или «лоток».

КОНСТРУКЦИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СУФЛЁРОВ

Конструкция бывает трех типов:

- **осевые, в которых отделение масла от воздуха происходит при движении воздухомасляной смеси внутри рабочего колеса в осевом направлении**
- **радиальные, в которых в рабочем колесе масло отделяется от воздуха в потоке воздухомасляной смеси, движущейся в радиальном направлении.**
- **суфлирование через вал**

ОСЕВЫЕ СУФЛЕРЫ

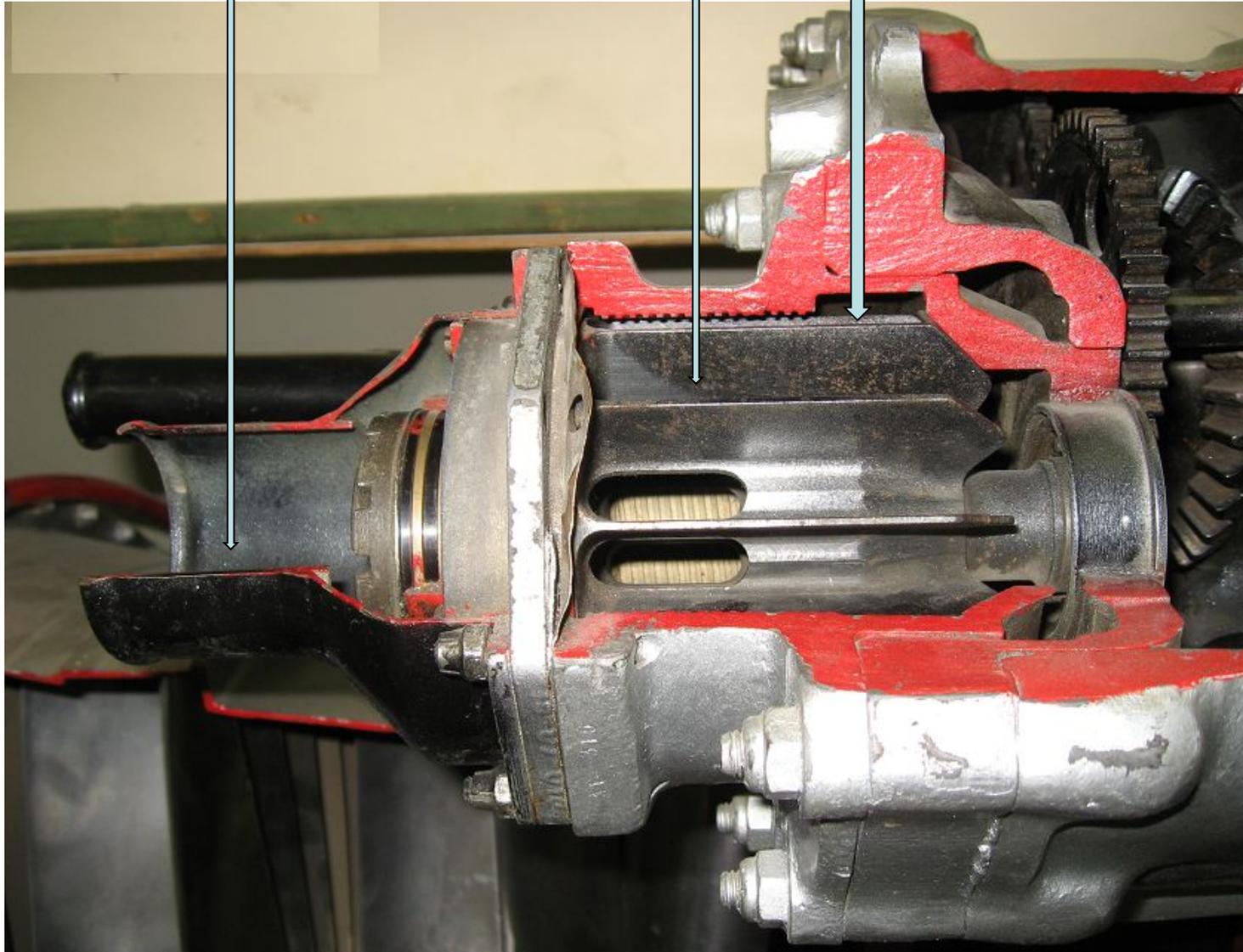


У осевых суфлёров, по сравнению с суфлёрами радиального типа, сложнее конструкция, однако их применяют на многих отечественных двигателях.

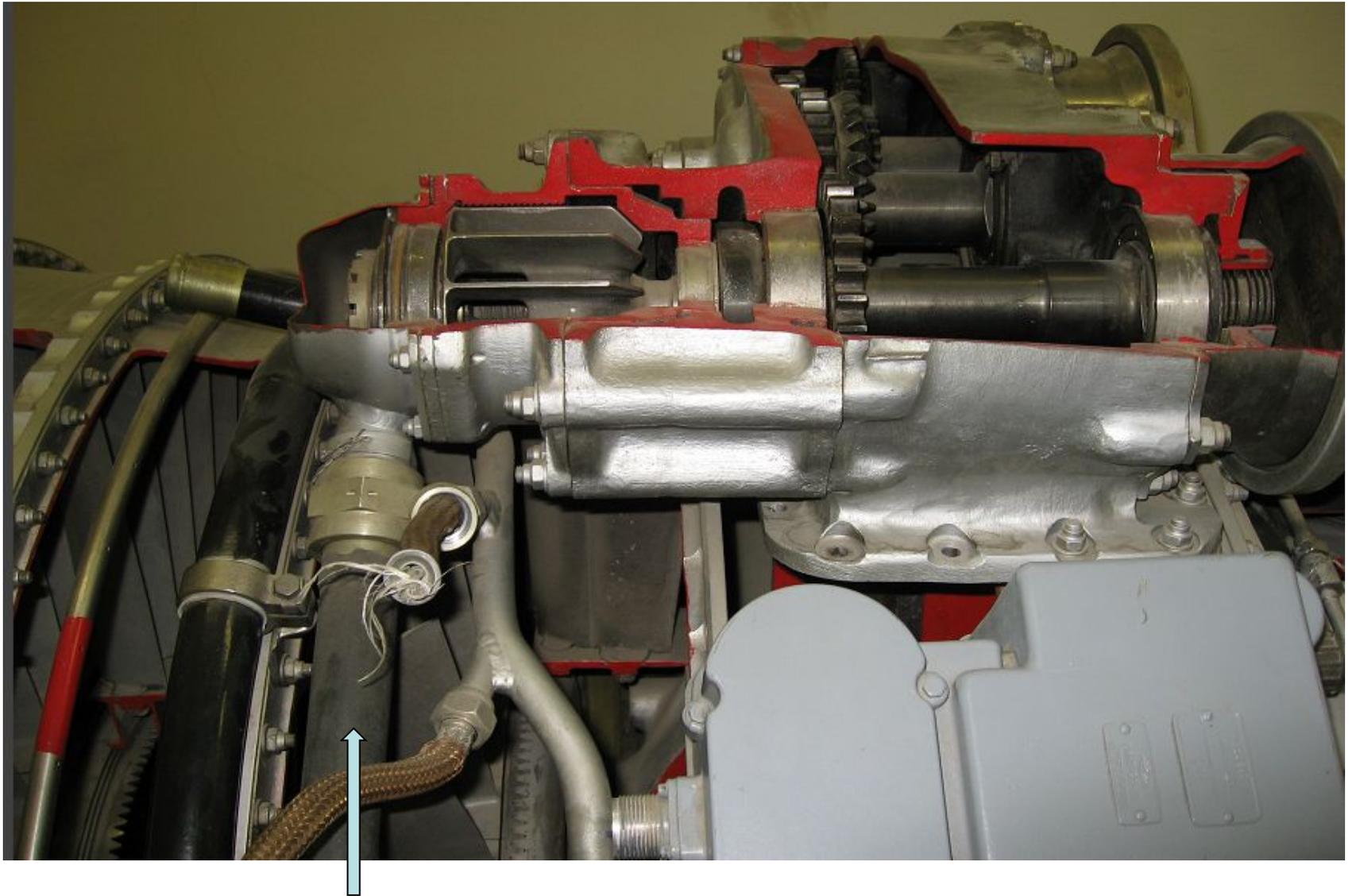
ОСЕВОЙ СУФЛЕР ТРДД Д20П

ВЫХОД ВОЗДУХА

ВЫХОД МАСЛА

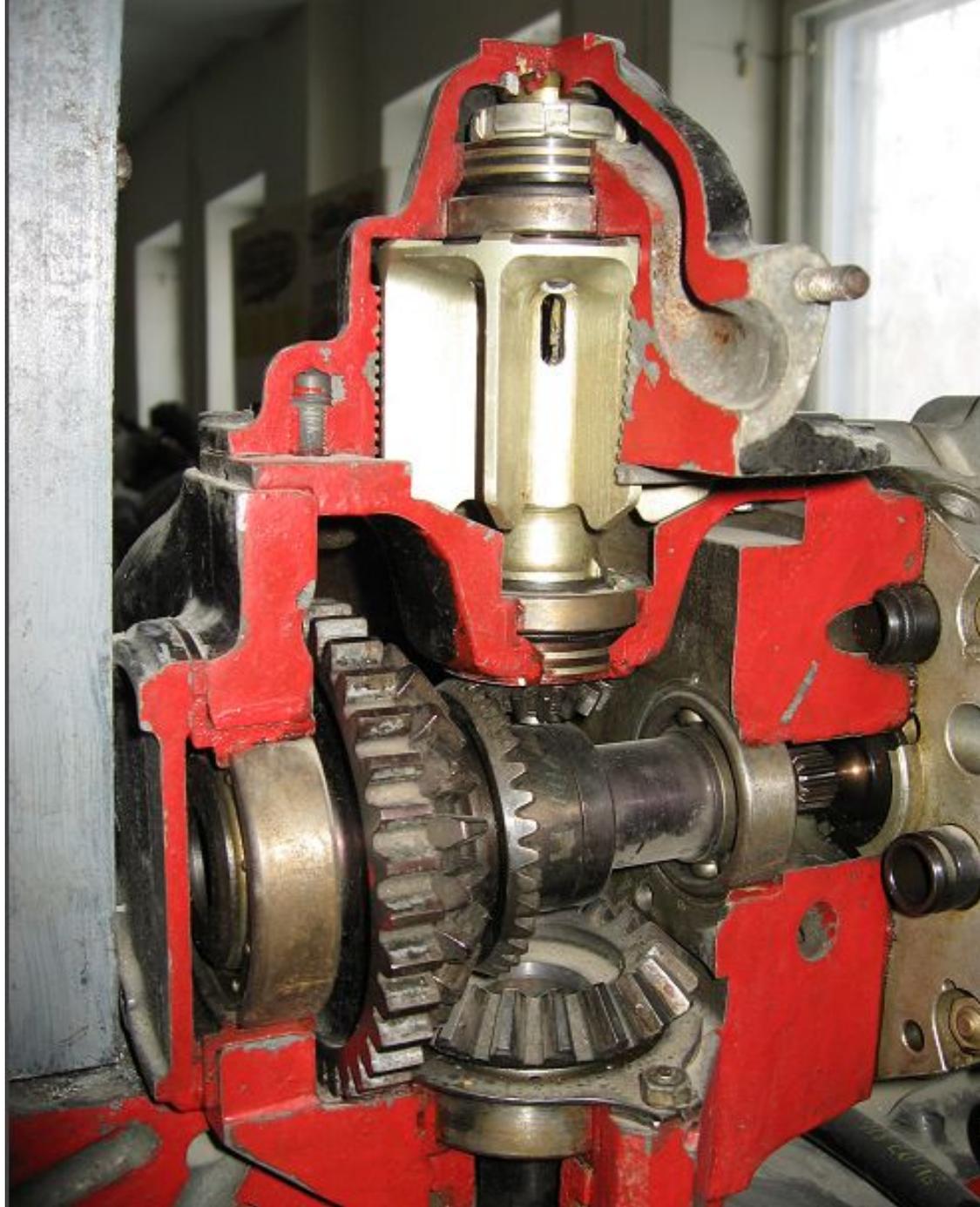


ОСЕВОЙ СУФЛЕР ТРДД Д30



ТРУБОПРОВОД ОТВОДА ВОЗДУХА НА СРЕЗ СОПЛА

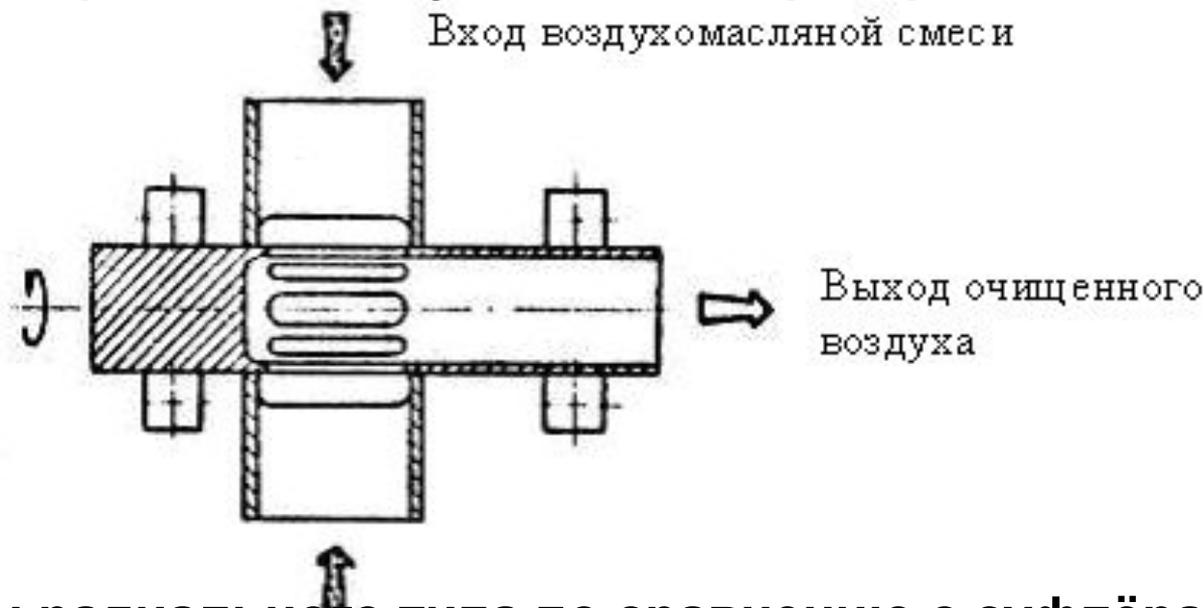
ОСЕВОЙ СУФЛЕР ТВД АИ-24



РАДИАЛЬНЫЕ СУФЛЕРЫ

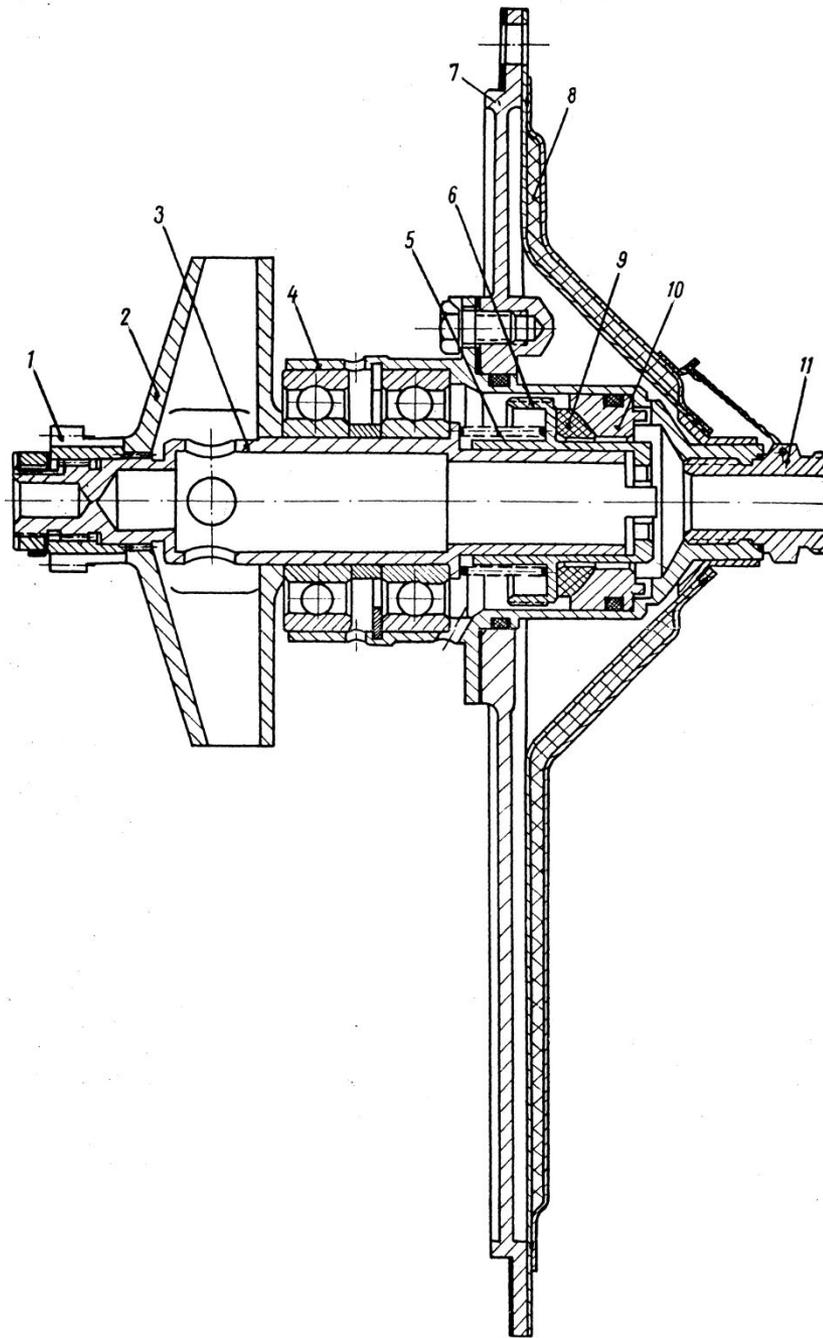
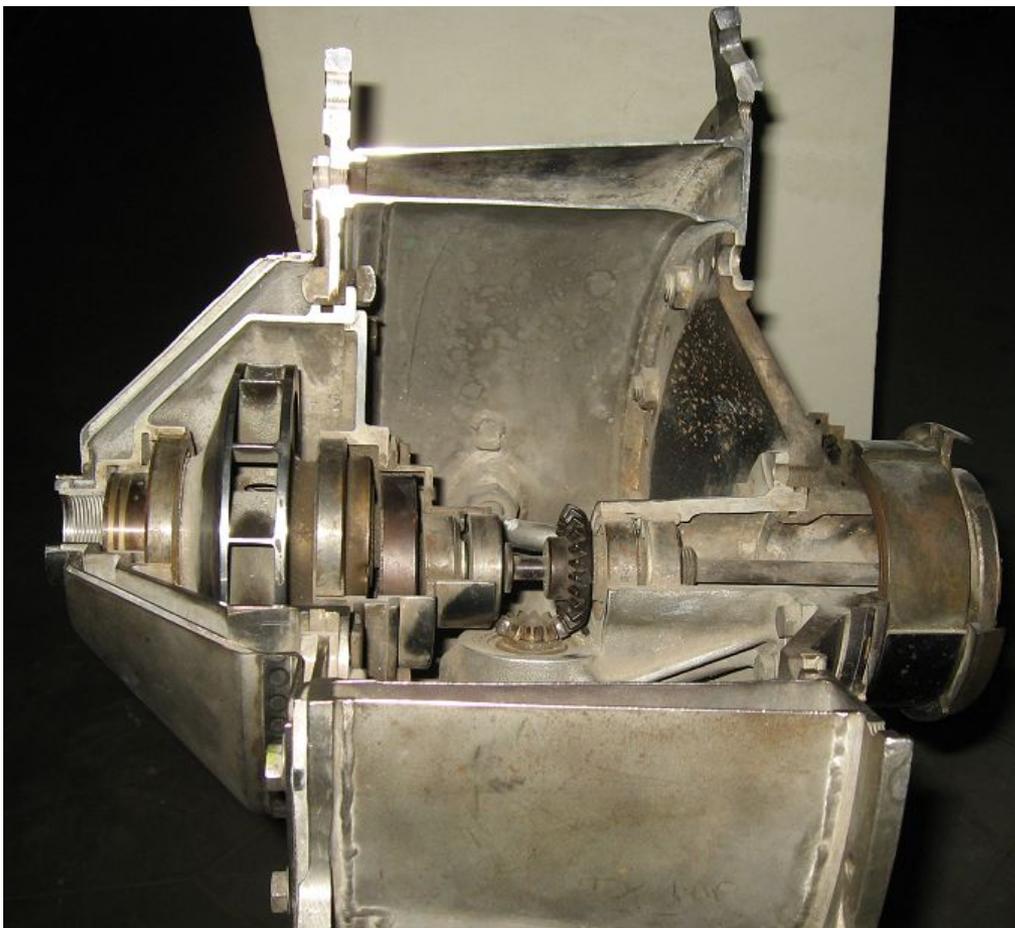
Центробежные суфлёры радиального типа получили широкое распространение, начиная с шестидесятых годов прошлого века.

Их применяют ведущие зарубежные фирмы («Пратт-Уитни», «Роллс-Ройс» и «Дженерал Электрик»), а в России – на двигателях ОАО «СНТК им. Н.Д. Кузнецова», Ступинского конструкторского бюро машиностроения и Калужского моторостроительного завода.



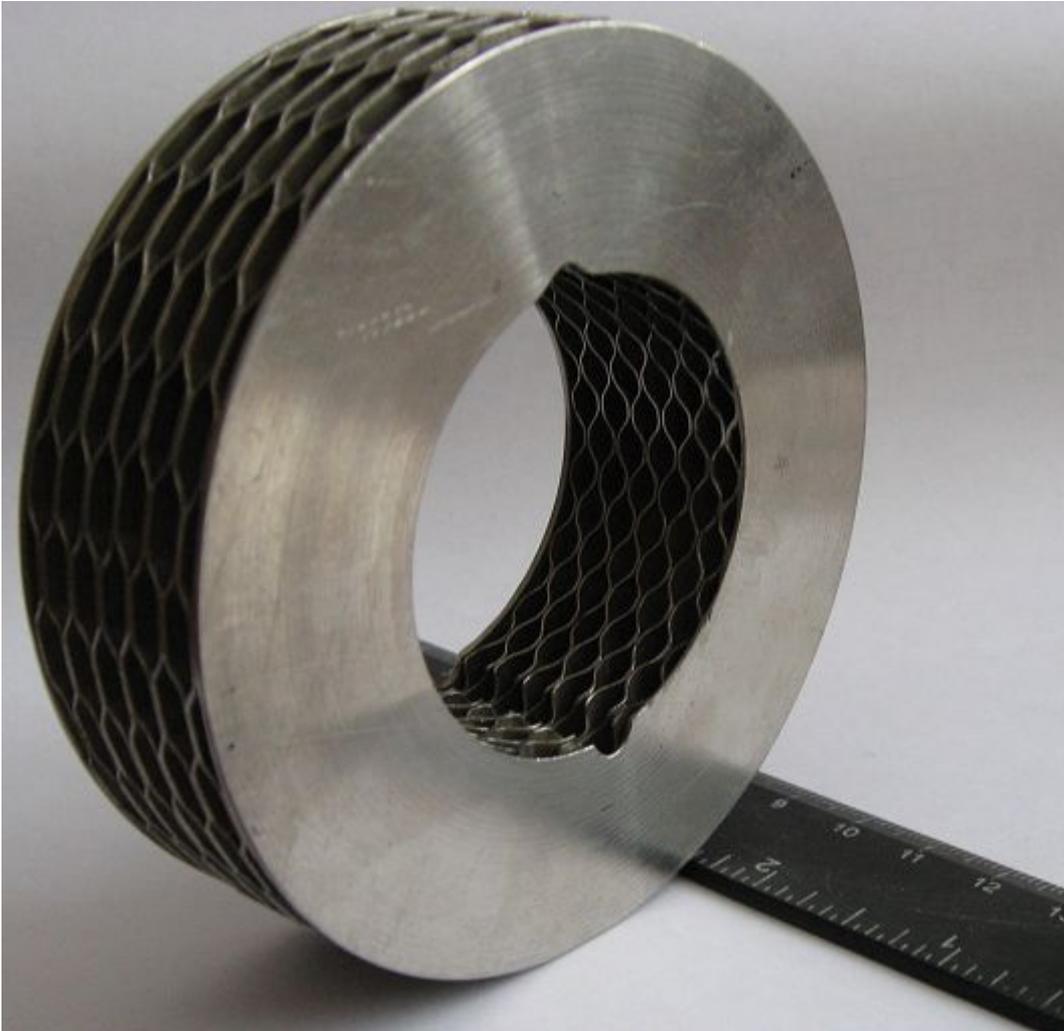
Суфлёры радиального типа по сравнению с суфлёрами осевого типа имеют значительно меньшую длину. С точки зрения обеспечения компактности конструкции двигателя предпочтение следует отдавать суфлёру радиального типа

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ РАДИАЛЬНЫЙ СУФЛЕР ЗАДНЕЙ ОПОРЫ ТРДД НК-8-4



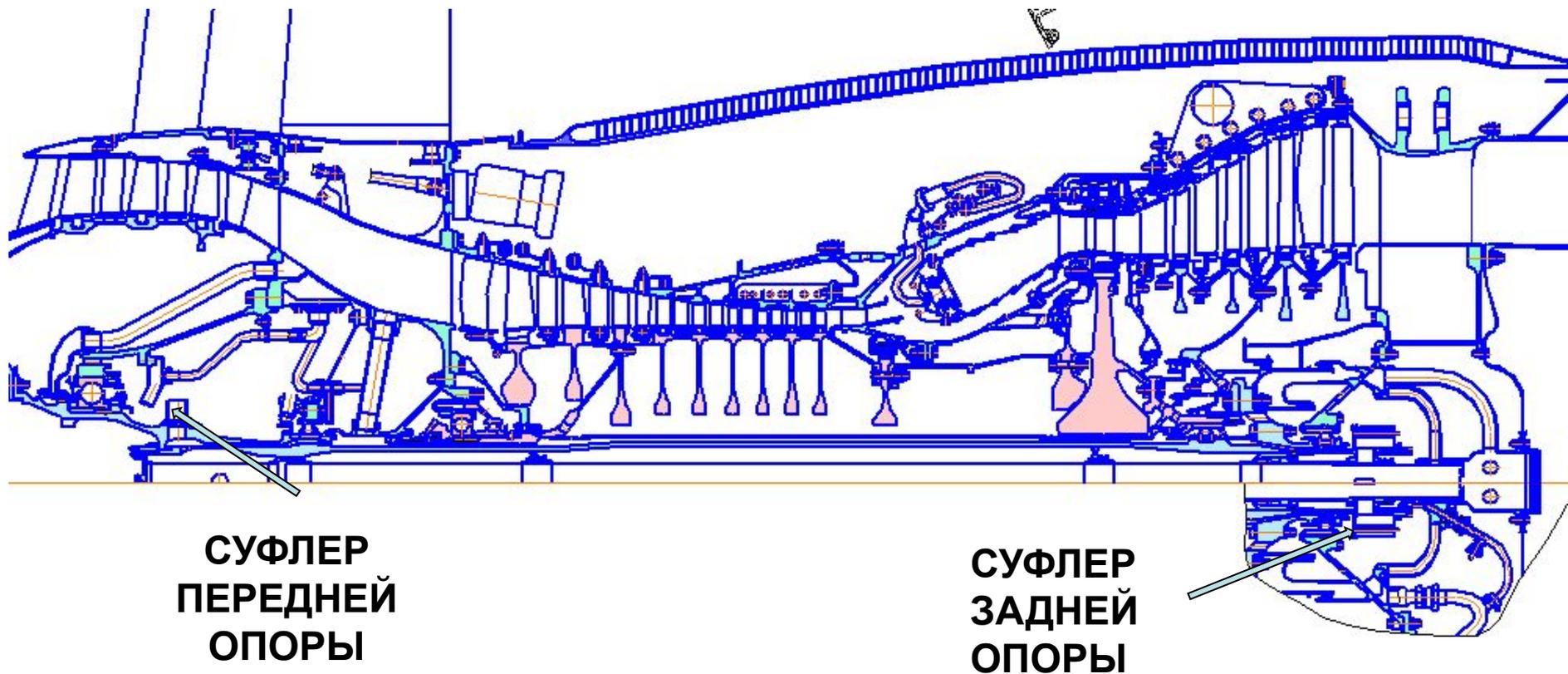
СОТОВЫЕ И ПОРИСТЫЕ СУФЛЕРЫ

В последнее время стали применять суфлеры сотовой конструкции, имеющих гораздо большую поверхность сепарирования. Есть также варианты конструкций с использованием пористых перегородок, в том числе из материала МР.

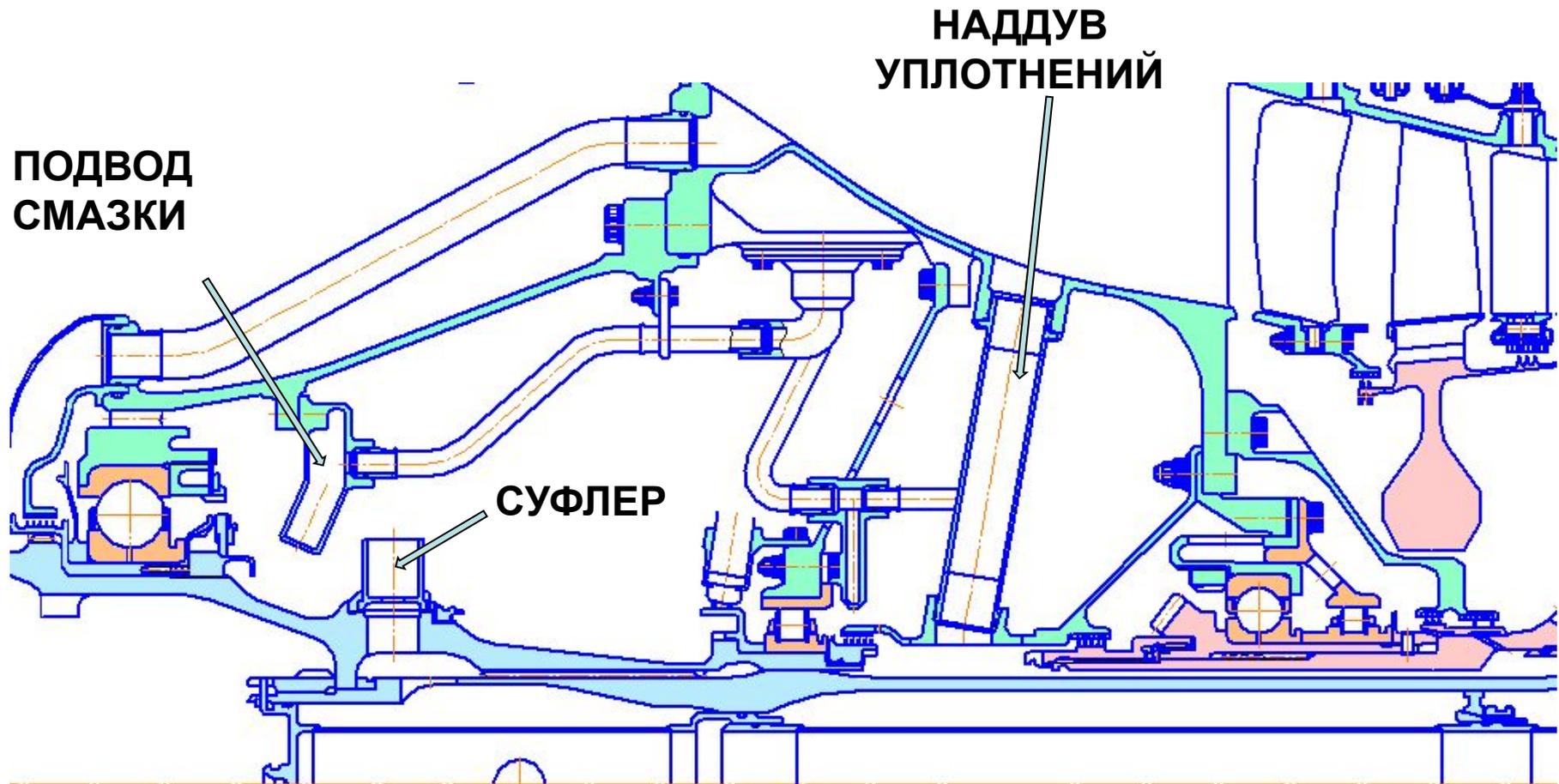


**Суфлер сотовой
конструкции**

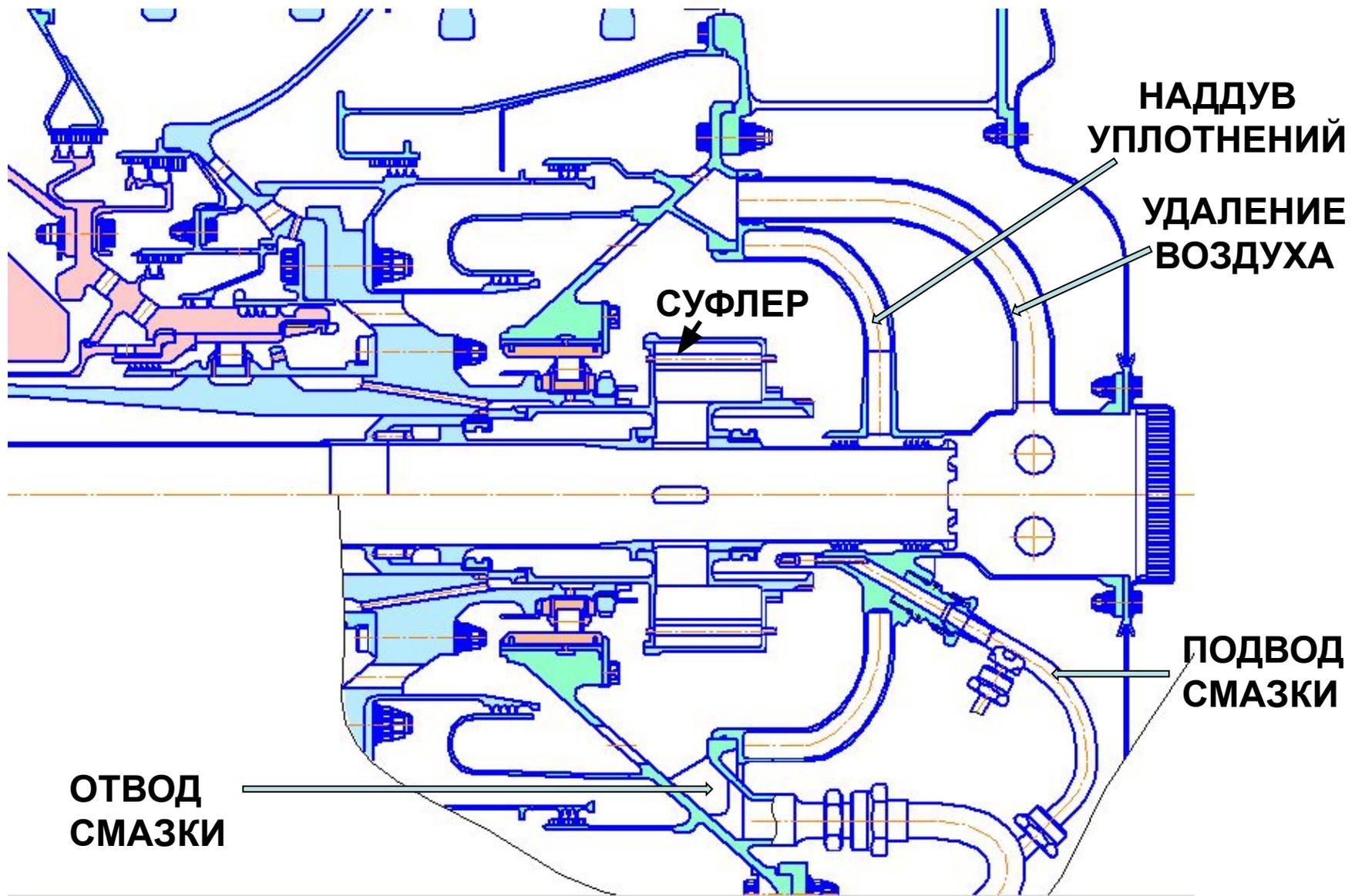
СИСТЕМА СУФЛИРОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ВАЛ ТРДД CFM-56



МАСЛОПОЛОСТЬ ПЕРЕДНЕЙ ОПОРЫ ТРДД CFM-56

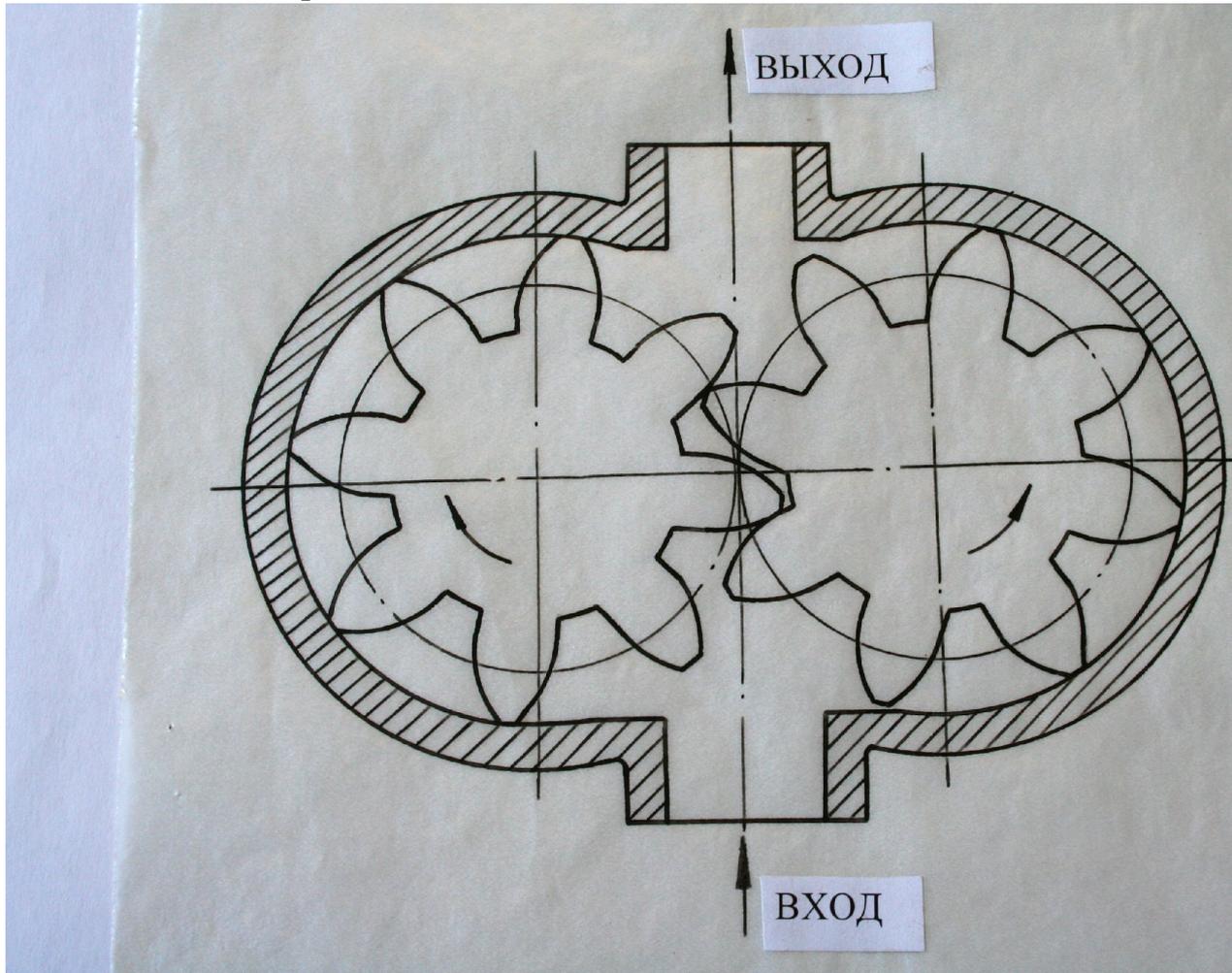


МАСЛОПОЛОСТЬ ЗАДНЕЙ ОПОРЫ ТРДД CFM-56



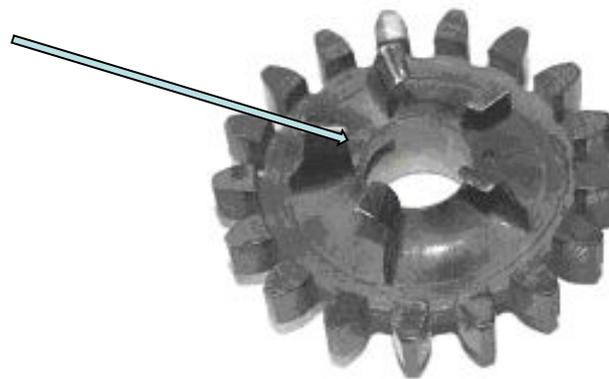
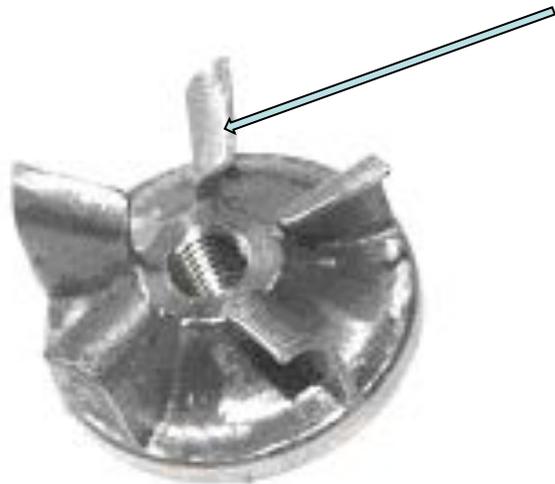
МАСЛОНАСОСЫ

В масляных системах ГТД подачу масла в двигатель и его откачку осуществляют с помощью объемных насосов. Наибольшее распространение получили насосы шестеренного типа.

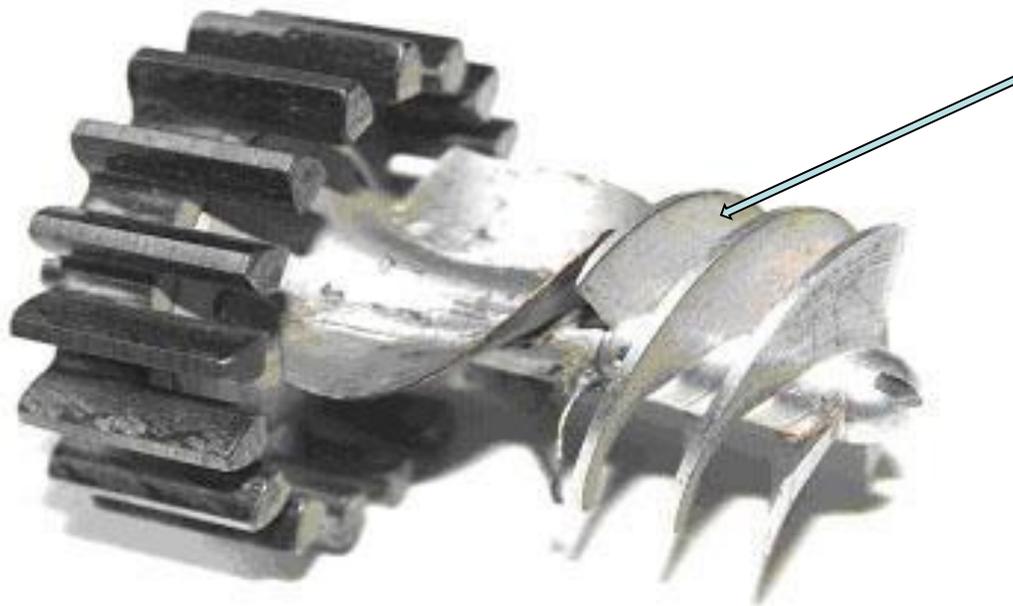


ЛОПАТОЧНЫЕ И ШНЕКОЛОПАТОЧНЫЕ НАСОСЫ

лопатки



шнек



ЦЕНТРИФУГИ (ВОЗДУХООТДЕЛИТЕЛИ)

Опыт эксплуатации авиационных ГТД показывает, что одной из возможных причин нарушения нормальной работы их масляных систем является недопустимое содержание воздуха в масле, поступающем в двигатель.

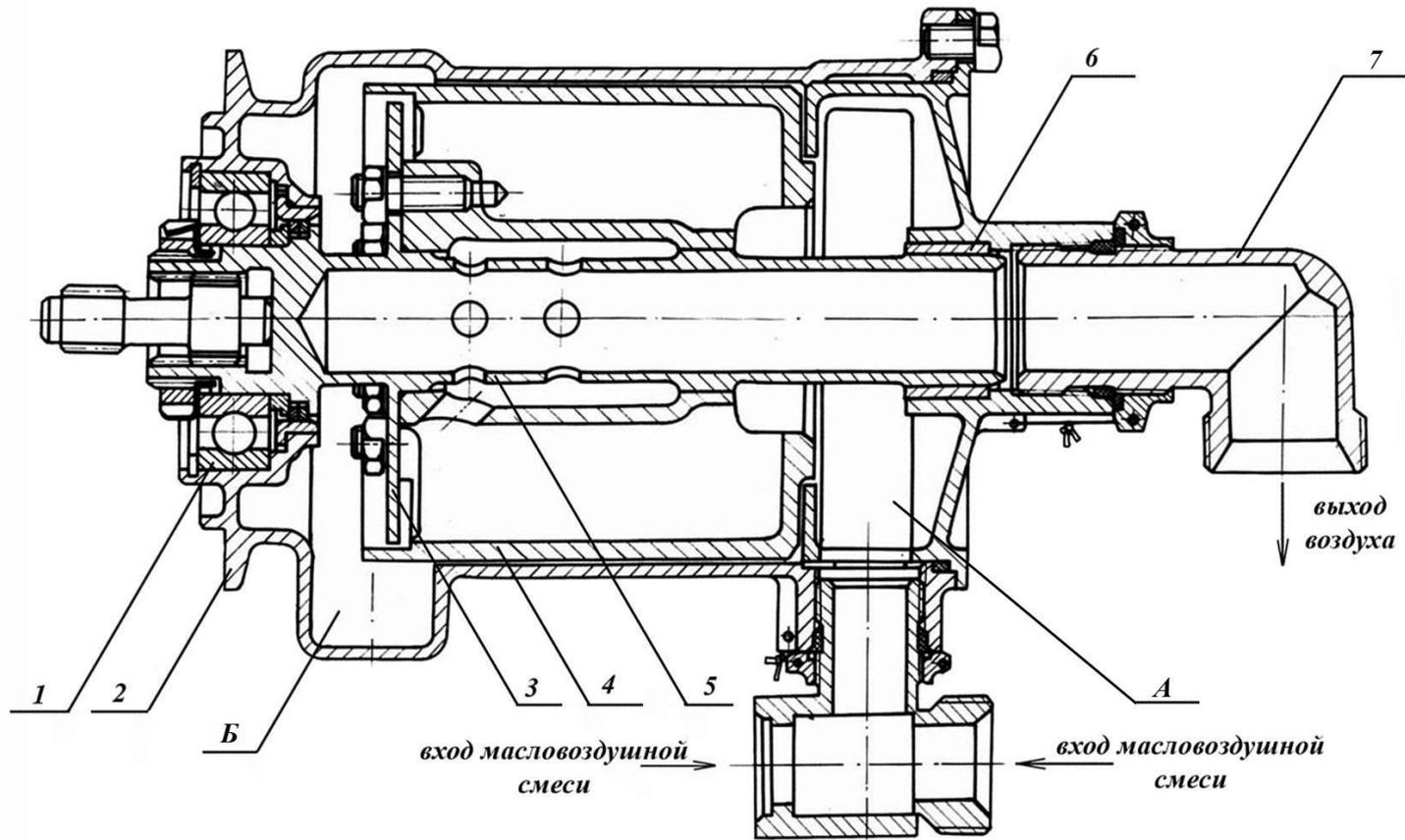
В зарубежном двигателестроении для сепарации откачиваемой масловоздушной смеси предпочтение отдают статическим воздухоотделителям.

Так, фирмы «Дженерал-Электрик» и «Пратт Уитни» используют воздухоотделители циклонного типа (с тангенциальным входом масловоздушной смеси), а фирма «Роллс-Ройс» применяет воздухоотделители типа «лоток»

В отечественном двигателестроении наиболее распространенным способом сепарации масловоздушной смеси, является использование в системе кондиционирования приводных центробежных воздухоотделителей (центрифуг).

Их конструкция аналогична суфлерам.

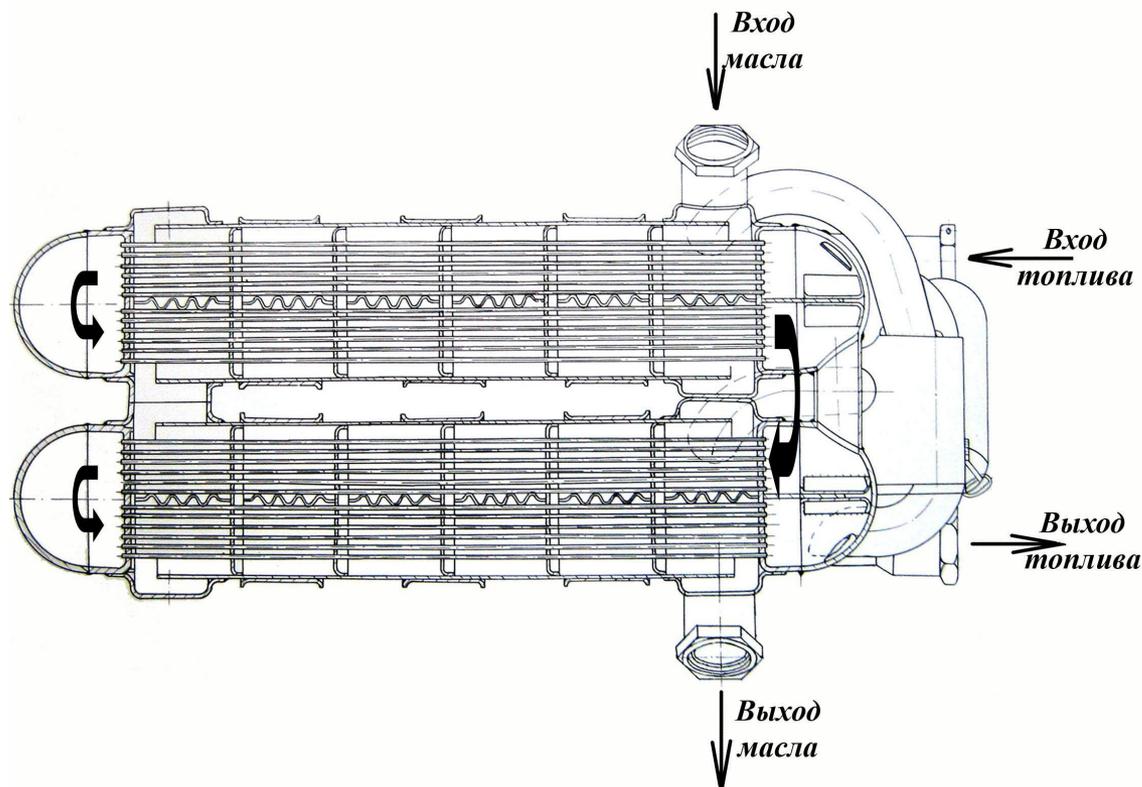
ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ ВОЗДУХООТДЕЛИТЕЛЬ



- 1 – радиально-упорный подшипник; 2 – корпус; 3 – разделительный диск;
4 – крыльчатка; 5 – вал; 6 – медная втулка; 7 – патрубок отвода воздуха;
А – кольцевая полость подвода маслвоздушной смеси;
Б – кольцевой коллектор

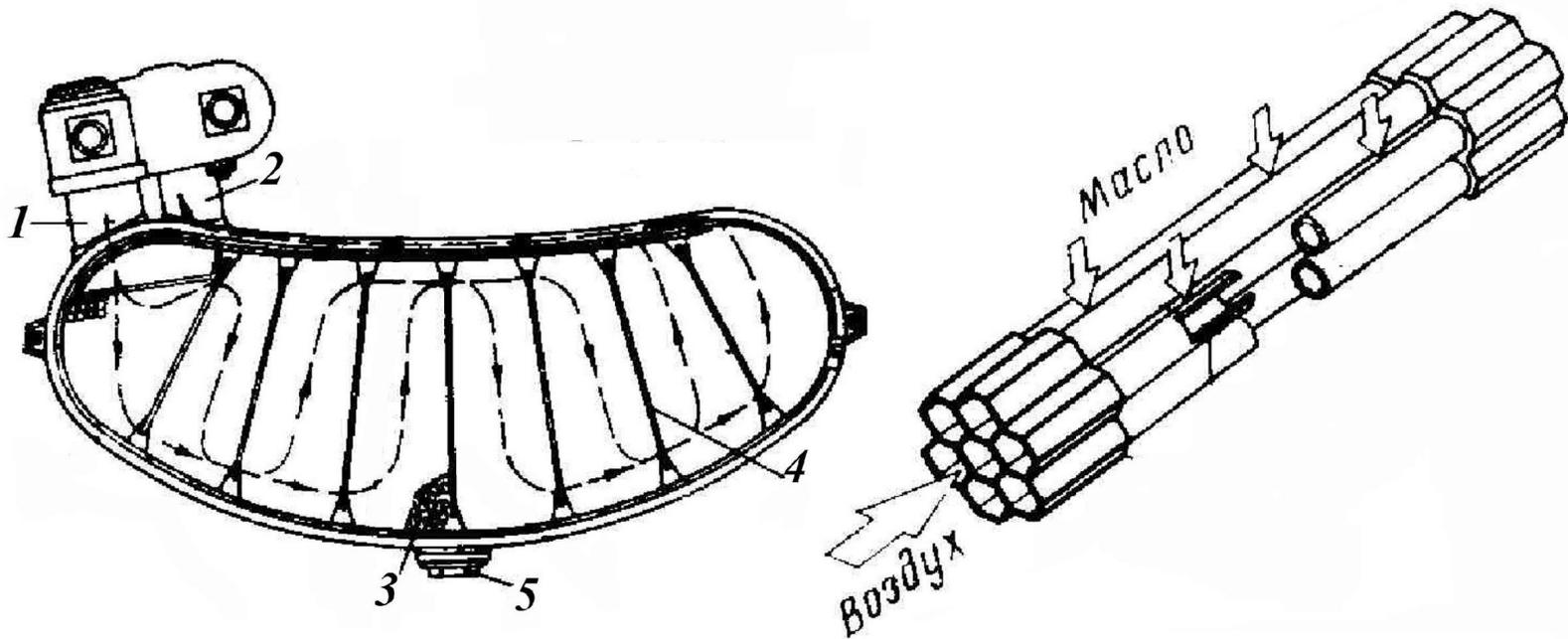
ТОПЛИВО-МАСЛЯНЫЕ ТЕПЛОБМЕННИКИ (РАДИАТОРЫ) (ТМР)

В современных ГТД (за исключением ТВД и ТВВД), как правило, в качестве охладителя используют топливо, расходуемое двигателем. Определенным преимуществом использования топливомасляных теплообменников является то, что при охлаждении масла теплота не рассеивается в окружающем пространстве, а уносится топливом в двигатель (т.е. обеспечивается утилизация тепла, которое подводится в двигателе к маслу).



ВОЗДУХОМАСЛЯНЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ

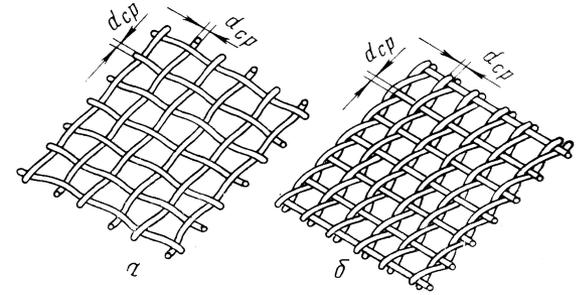
На самолетах с ТВД применяют воздухомасляные теплообменники, устанавливаемые в специальных туннелях с регулируемым расходом воздуха.



1 – патрубок входа масла; 2 – патрубок выхода масла;
3 – отдельная секция; 4 – перегородка; 5 – сливная пробка.

ФИЛЬТРЫ

В масляных системах газотурбинных двигателей в качестве фильтрующих элементов применяют в основном металлические сетки квадратного переплетения

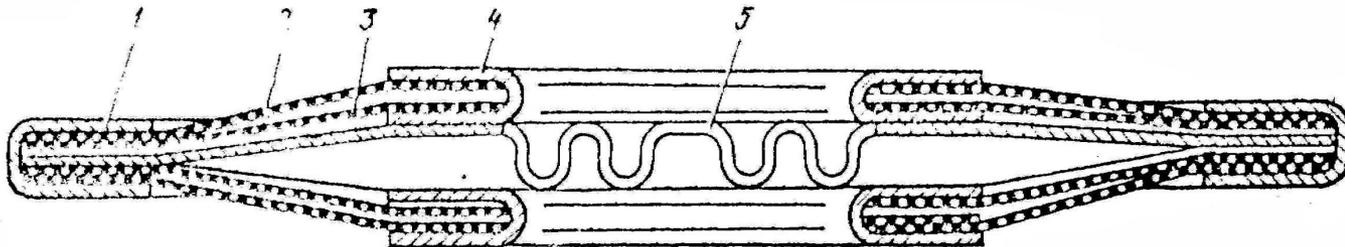


Тонкость очистки масла сплюснутыми сетками достигает 15 мкм, однако такие сетки имеют повышенное гидравлическое сопротивление

На первых отечественных авиационных ГТД в масляных системах применяли фильтры с номинальной тонкостью фильтрации от 60 до 100 мкм.

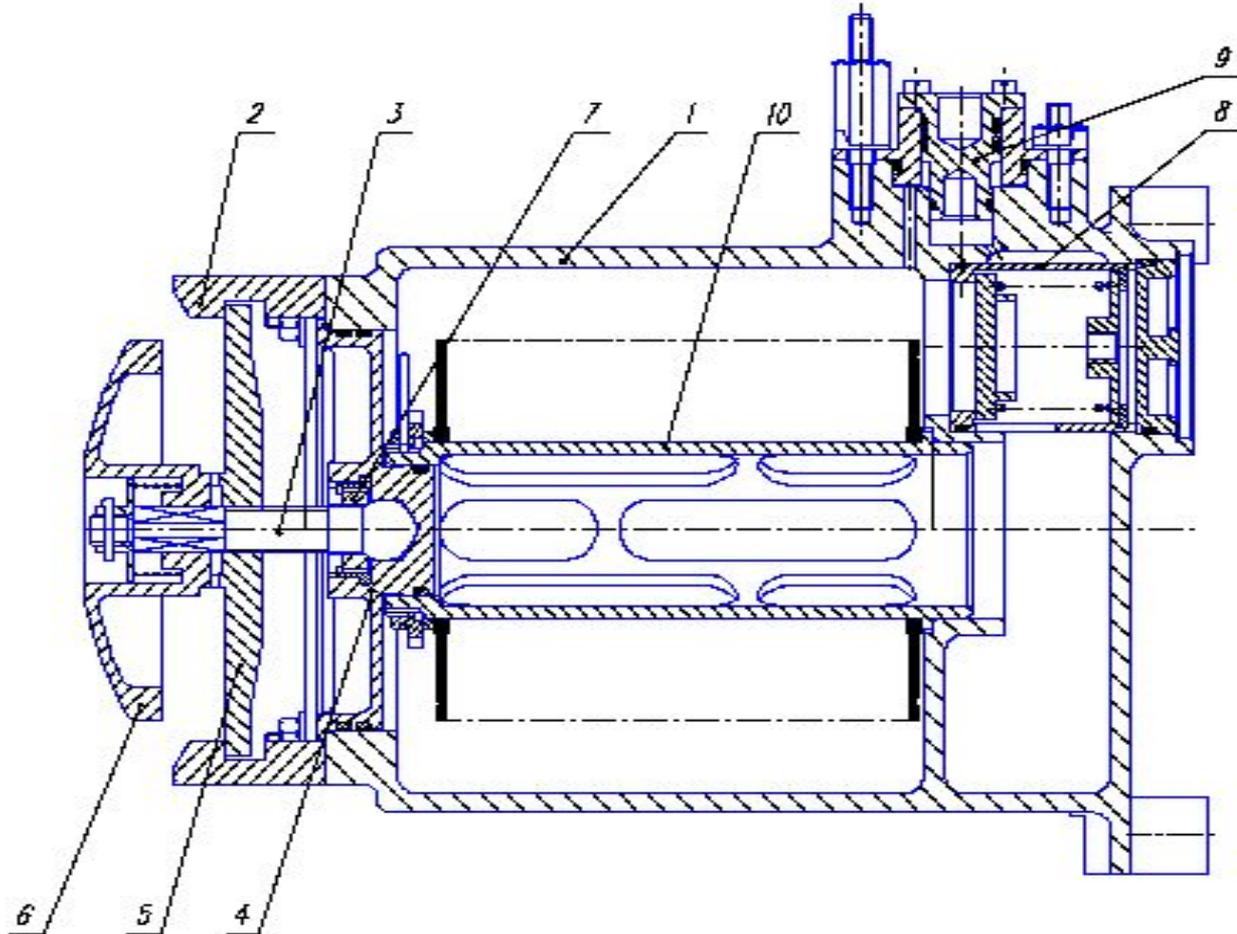
Исключением были только все двигатели, созданные под руководством Генерального конструктора Н.Д. Кузнецова, а впоследствии и двигатели ЗМКБ «Прогресс», где применяли сетчатые дисковые фильтры с сеткой, имеющей размер стороны ячейки 40 мкм

Секция фильтра



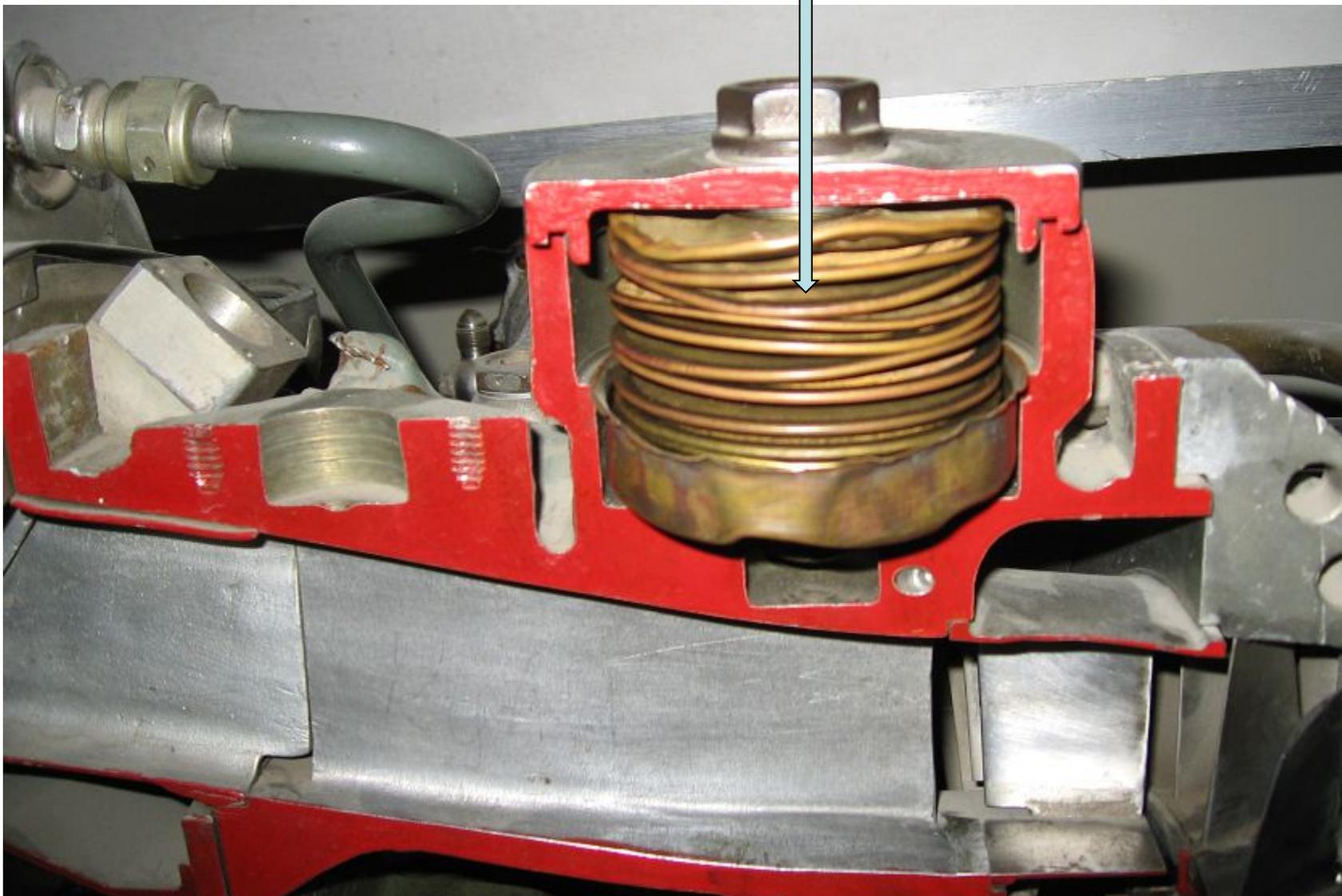
1 и 4—обоймы; 2 и 3—фильтрующие сетки; 5—гофрированный каркас

МАСЛЯНЫЙ ФИЛЬТР С ДИСКОВЫМИ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТАМИ



1-корпус фильтра; 2-фланец; 3-винт; 4-крышка фильтра; 5-планка;
6-маховик; 7-гайка; 8-клапан перепускной;
9-место для датчика перепада давления; 10- фильтропакет

СЕТЧАТЫЙ ФИЛЬТР ТВаД ГТД-3Ф



ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МАСЛЯНОЙ СИСТЕМЫ

К числу определяющих параметров относится потребная прокачка масла (циркуляционный расход) через ГТД, обеспечивающая поддержание в заданных пределах температуры подшипников и других трущихся деталей. Прокачкой масла G_M называется масса масла, прокачиваемого в единицу времени через ГТД. Например, прокачка в НК-56 составляет $G_M = 65...75 \text{ кг/мин}$. Потребная прокачка пропорциональна теплоотдаче в масло Q_M :

$$G_M = \frac{Q_M}{c\rho\Delta t}$$

где c - удельная теплоемкость масла, ρ – плотность масла
 Δt – разность температур на входе и выходе из опоры.

При проектировании нового двигателя Q_M берут на основе статистики по двигателям-прототипам. На НК-56 $Q_M = 1500 \text{ ккал/мин}$, у современных двигателей – до 5000 ккал/мин . С целью снижения прокачки Δt целесообразно увеличивать. Обычно температура входа $t_{вх} > 500 \text{ C}$. При ней сохраняется удовлетворительная характеристика по вязкости. Температура выхода $t_{вых} > 120...200 \text{ C}$. Она определяется максимально допустимой температурой подшипника и сортом применяемого масла

Еще одна важная характеристика – норма безвозвратных потерь масла в ГТД, или «часовой расход масла». Он оценивается как $0,1 \text{ кг/час}$ на 10 кН тяги. На НК-56 он составляет не более $1,5 \text{ кг/час}$

ДОПУСТИМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ РАСХОДА МАСЛА В ГТД

Тип двигателя	Расход масла кг/ч, (не более)
Малоразмерные двигатели	0,2
Двигатели, предназначенные для <u>дозвуковых</u> и кратковременных <u>сверхзвуковых</u> скоростей полета	0,6
Двигатели для длительного полета при $M_{\text{п}}$ более 1	0,8
Двигатели с тягой более 200 кН и мощностью более 14,7 кВт	1,0

Ниже в качестве примера приведены основные технические данные масляной системы двигателя НК-86:

- температура масла на входе в двигатель, не более 100 град С;
- давление масла на входе в двигатель:
 - на максимальном режиме 0,4-0,05 МПа;
 - на режиме «малый газ», не менее 0,23 МПа;
- расход масла, не более 1 кг/ч;
- прокачка масла через двигатель от 0,9 до 1,2 кг/с;
- теплоотдача в масло, не более 70 кВт;

ТИПЫ ПРИМЕНЯЕМЫХ МАСЕЛ

Пределные температуры вспышки масел

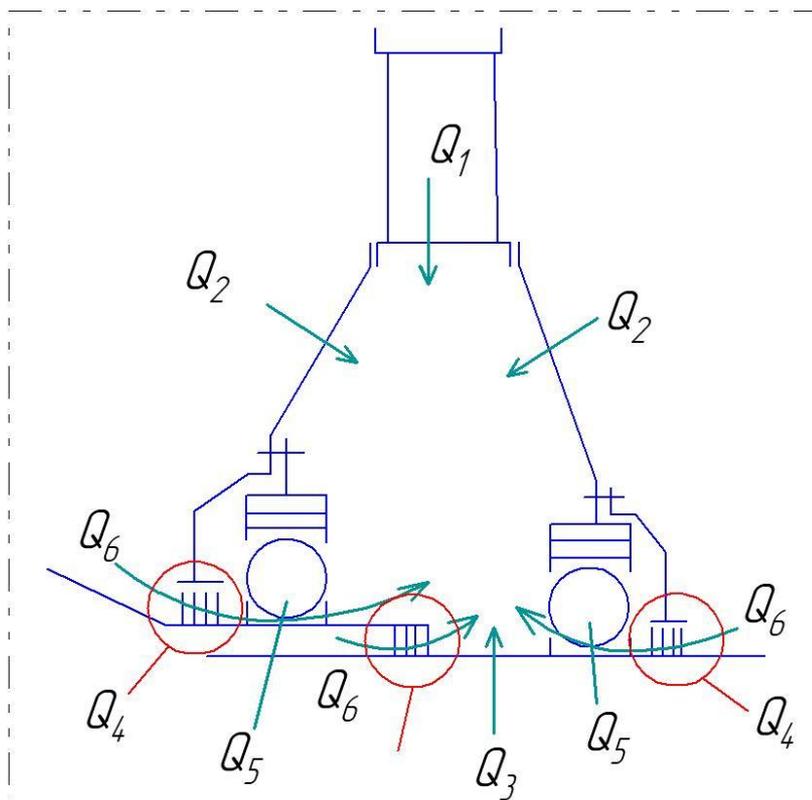
Сорт масла	Пределная температура, °С
Минеральные масла	150...170
Синтетические (ИПМ-10)	200
Перспективные	235
Фтористое	275

Фтористое масло обладает приемлемой вязкостью при температуре запуска -30С...-35С.

Цена 250руб/кг (в ценах социализма).

Однако фтор – это чрезвычайно ядовитое и опасное вещество

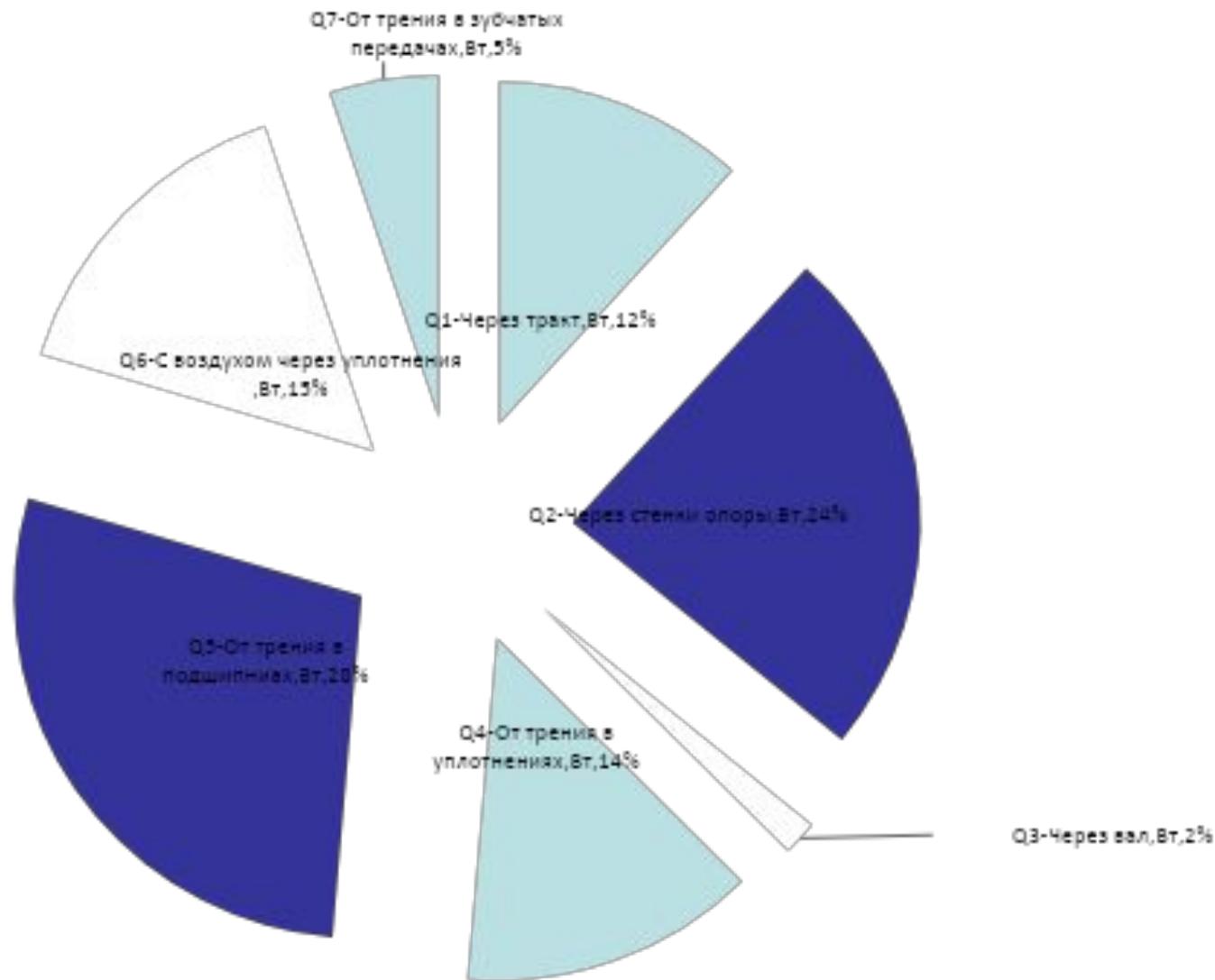
СХЕМА ПОСТУПЛЕНИЯ ТЕПЛА В ОПОРУ



$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$$

- где:
- Q_1 – теплоотдача от воздуха в масло через тракт,
 - Q_2 – теплоотдача от воздуха в масло через стенки опоры,
 - Q_3 – теплоотдача от воздуха в масло через вал,
 - Q_4 – тепловой поток от трения в уплотнениях,
 - Q_5 – тепловой поток от трения в подшипниках,
 - Q_6 – тепловой поток, поступающий с воздухом через уплотнения,
 - Q_7 – тепловой поток от трения в шлицах и зубчатых передачах,

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛА ОТ ИСТОЧНИКОВ



ТРУБОПРОВОДЫ МАСЛОСИСТЕМ И СИСТЕМ СУФЛИРОВАНИЯ

Площадь, проходное сечение трубопроводов (каналов) в опоре можно найти из уравнения расхода

$$G = \pi d^2 V / 4,$$

где d - диаметр трубопровода, V -скорость течения жидкости в трубе
Допускаемые скорости течения масла и масловоздушной смеси V принимаются по таблице

масло	на линии нагнетания на линии слива: самотеком за откачивающим насосом	2...3 м/с 0,3...0,4 м/с не более 2 м/с
воздух	на выходе из динамического суфлера	100 м/с
воздушно-масляная смесь	от масляной полости до динамического суфлера	не более 20 м/с

Зная скорость и требуемую прокачку, можно определить диаметр трубопровода

Отводящая магистраль должна иметь в 1,5...2 раза больший диаметр, чем подводящая.

АНАЛИЗ ТРУБОПРОВОДОВ

К масляной полости необходимо подвести как минимум три трубопровода:

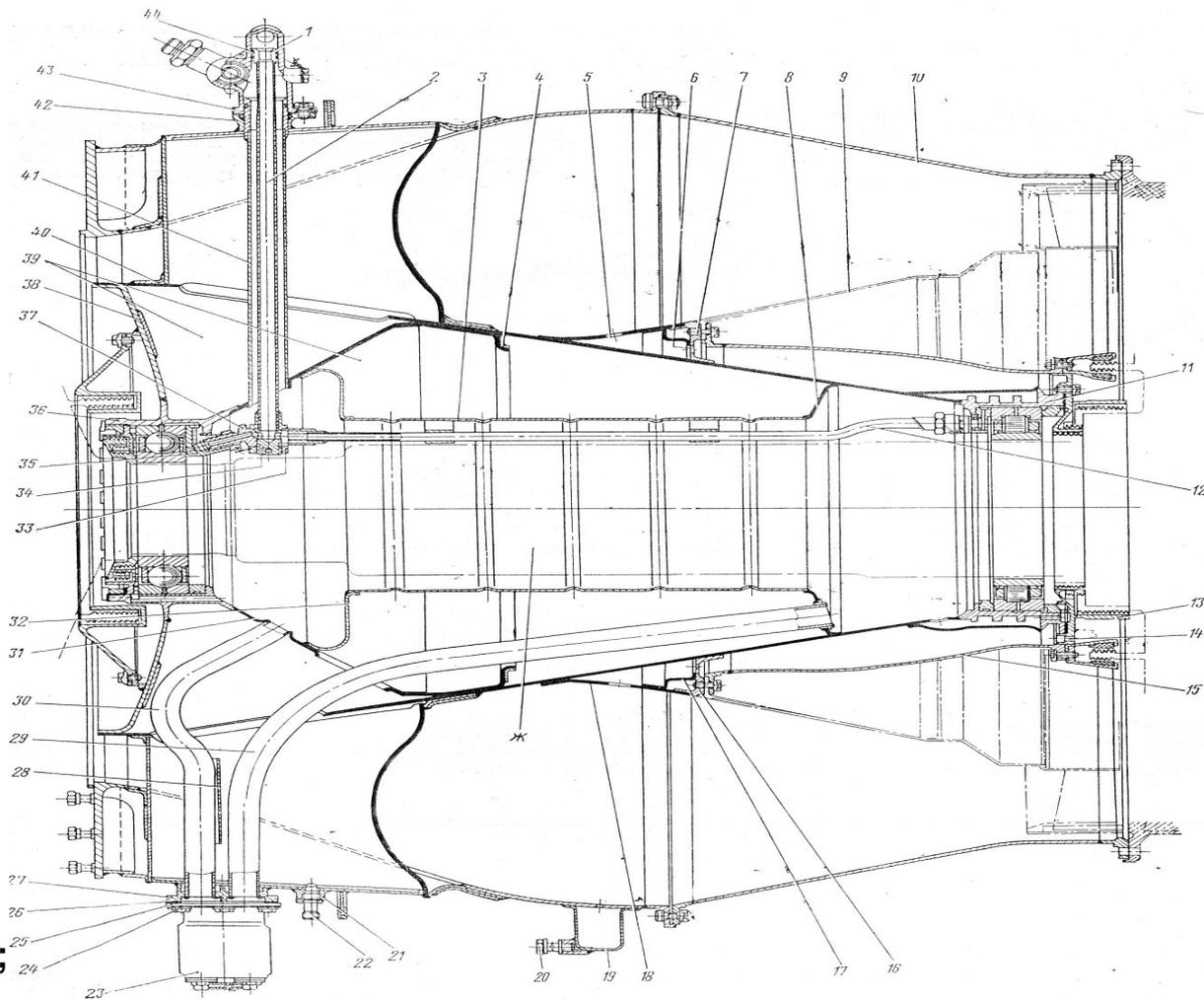
- подвода масла**
- слива масла**
- суфлирования**

Исходя из того, что нагнетающие и откачивающие масляные насосы располагаются на корпусе двигателя, а чаще на корпусе II контура, прокладка этих трубопроводов составляет отдельную конструкторскую задачу: нужно обеспечить герметичность проточной части, температуру и заданные предельные статические и переменные напряжения в трубопроводах, выполнить требования монтажа.

Трубопровод проходит через тракт II контура, внутри ребра, через тракт I контура далее по диафрагме к масляной полости. При этом трубопровод слива масла проходит через нижнее ребро, трубопровод суфлирования через ребро верхней половины опоры, а трубопровод подвода масла через любое ребро наиболее коротким путем.

ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ КАРТЕРА ТУРБИНЫ ДВИГАТЕЛЯ НК-12

1 – втулка; 2 – маслопровод;
3 – кожух;
4 – кольцо жёсткости,
5 и 6 – отверстия; 7 – винт;
8 – конус;
9 – сопловой аппарат
первой ступени;
10 – задний кожух;
11 – корпус переднего
подшипника турбины;
12 – маслопровод;
13 – лабиринтное уплотнение;
14 – пазы;
15 – направляющий кожух;
16 – фланец; 17 и 18 – кожухи;
19 – дренажный бачок;
20 – полый болт;
21 – бобышка; 22 – штуцер;
23 – переходник;
24 – болт; 25 – фланце;
26 – прокладка;
27 – фланец; 28 – проставка;
41 – труба; 42 – фланец; 43 – корпус;
44 – маслоуплотнительное кольцо;
Ж – масляная полость.



35 – форсуночное кольцо; 36 – корпус заднего
подшипника компрессора; 37 – переходник;
38 – передняя стенка; 39 – промежуточная полость;
40 – коническая балка;

29 и 30 – трубы слива масла; 31 – конический
кожух; 32 – стенка; 33 – гайка; 34 – втулка;

ПОДВОД МАСЛА К ПОДШИПНИКАМ

Существует два основных способа подвода масла к подшипникам.

Первый – через систему струйных форсунок, которые подают струи масла на тела качения через зазор между внутренним кольцом и сепаратором.

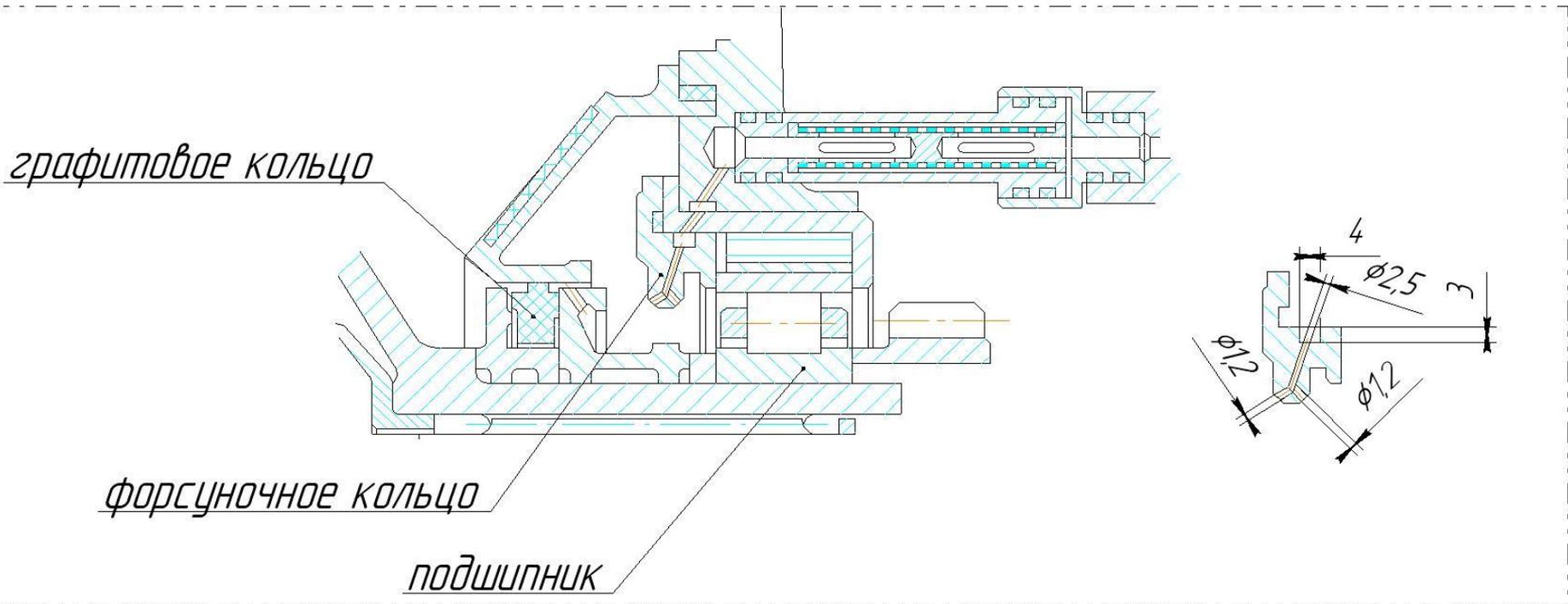
Второй – подвод масла через вал, когда на внутренней поверхности вала образуют масляную полость с повышенным давлением и масло на тела качения подается через отверстия в стенке вала и во внутреннем кольце.

Граница оптимальности способов подачи масла на тела качения подшипников определяется возможностью попадания масла на тела качения. Это выражается коэффициентом быстроходности $d \cdot n$, где d – средний диаметр подшипника по центрам тел качения в мм, n – частота вращения, об/мин

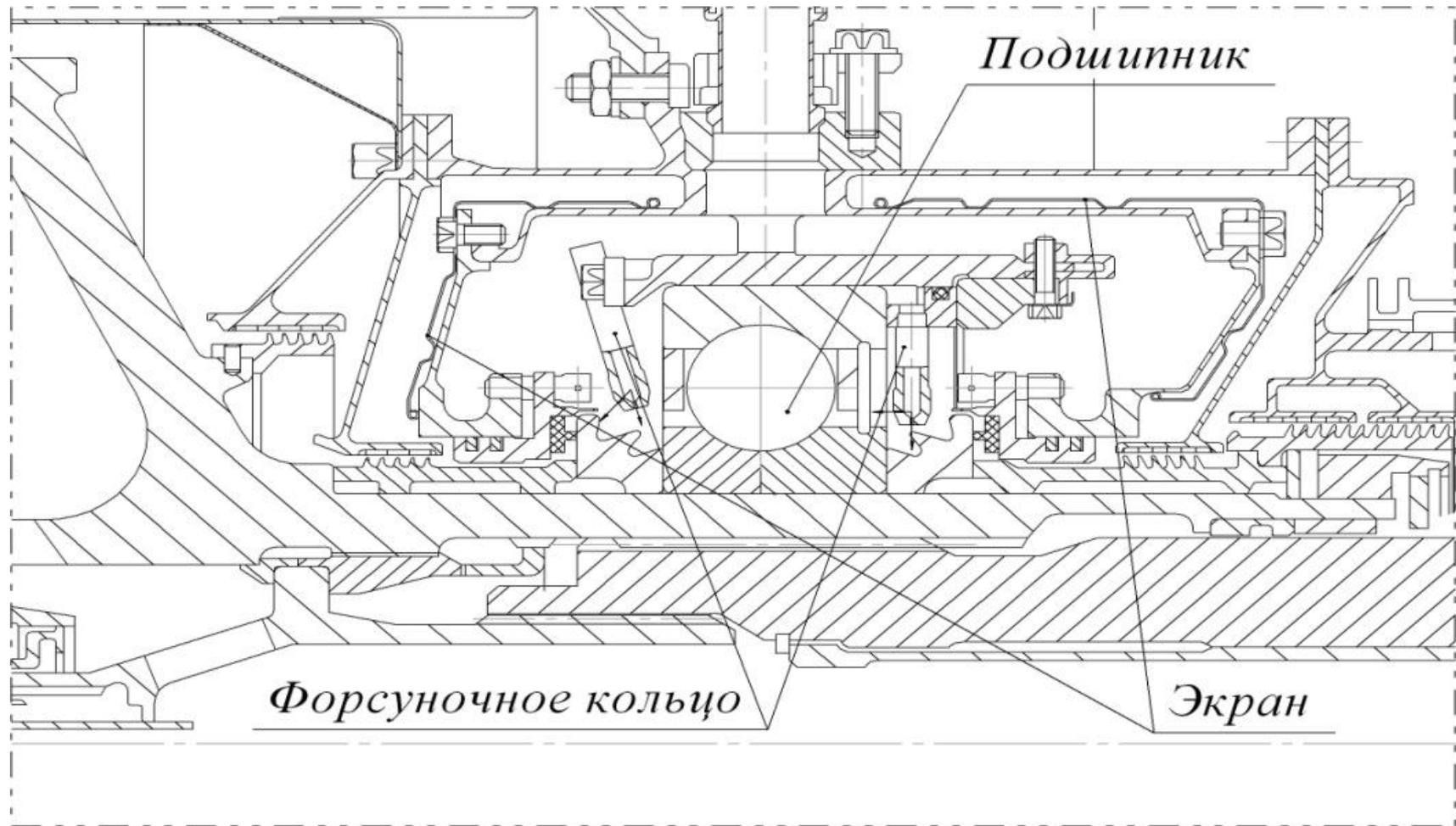
КОЭФФИЦИЕНТЫ БЫСТРОХОДНОСТИ И СПОСОБЫ ПОДВОДА МАСЛА

	Коэффициент быстроходности $d_m \cdot n$	Способ подвода масла
А	до $2,2 \cdot 10^6$	форсунками
Б	$2,2 \dots 3,5 \cdot 10^6$	смешанный подвод
В	свыше $3,5 \cdot 10^6$	через вал

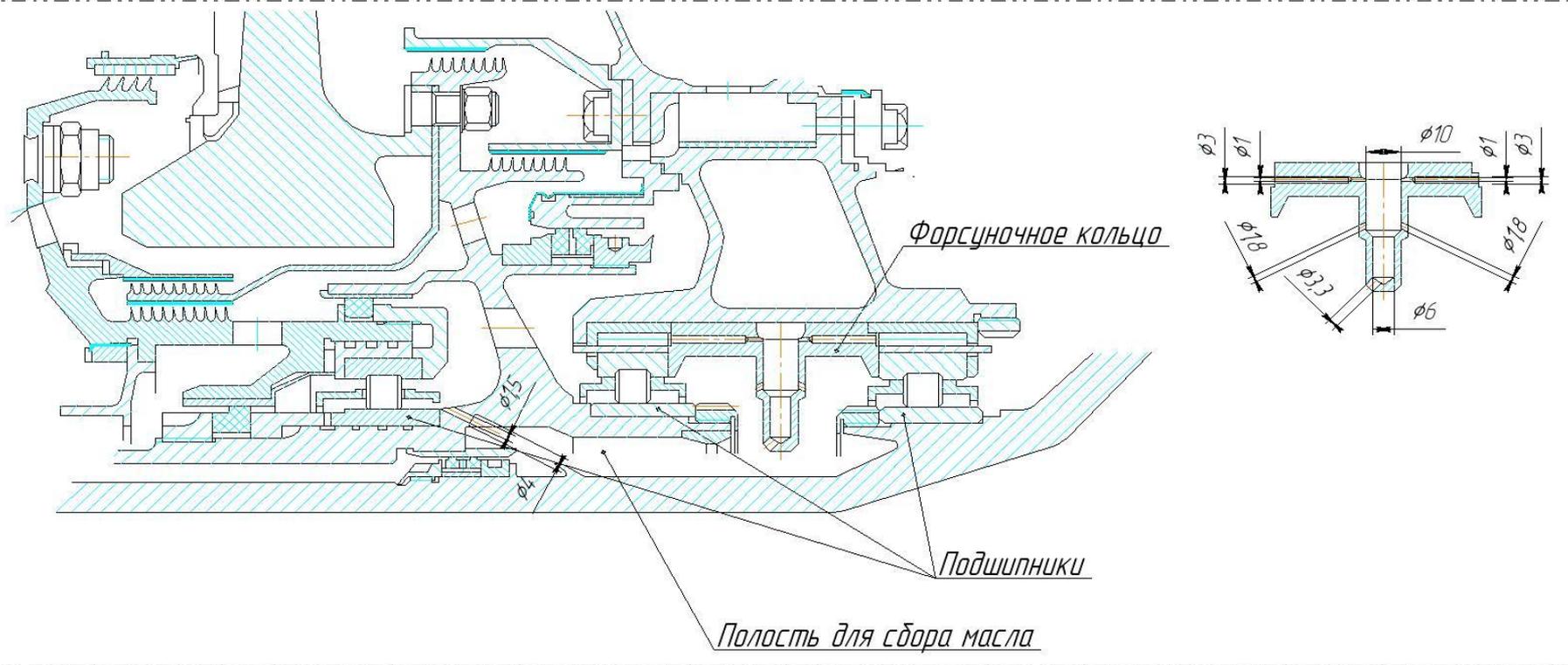
ПОДВОД МАСЛА ЧЕРЕЗ ФОРСУНОЧНЫЕ КОЛЬЦА К ПОДШИПНИКУ СРЕДНЕЙ ОПОРЫ КОМПРЕССОРА (ГДУ НК-36СТ)



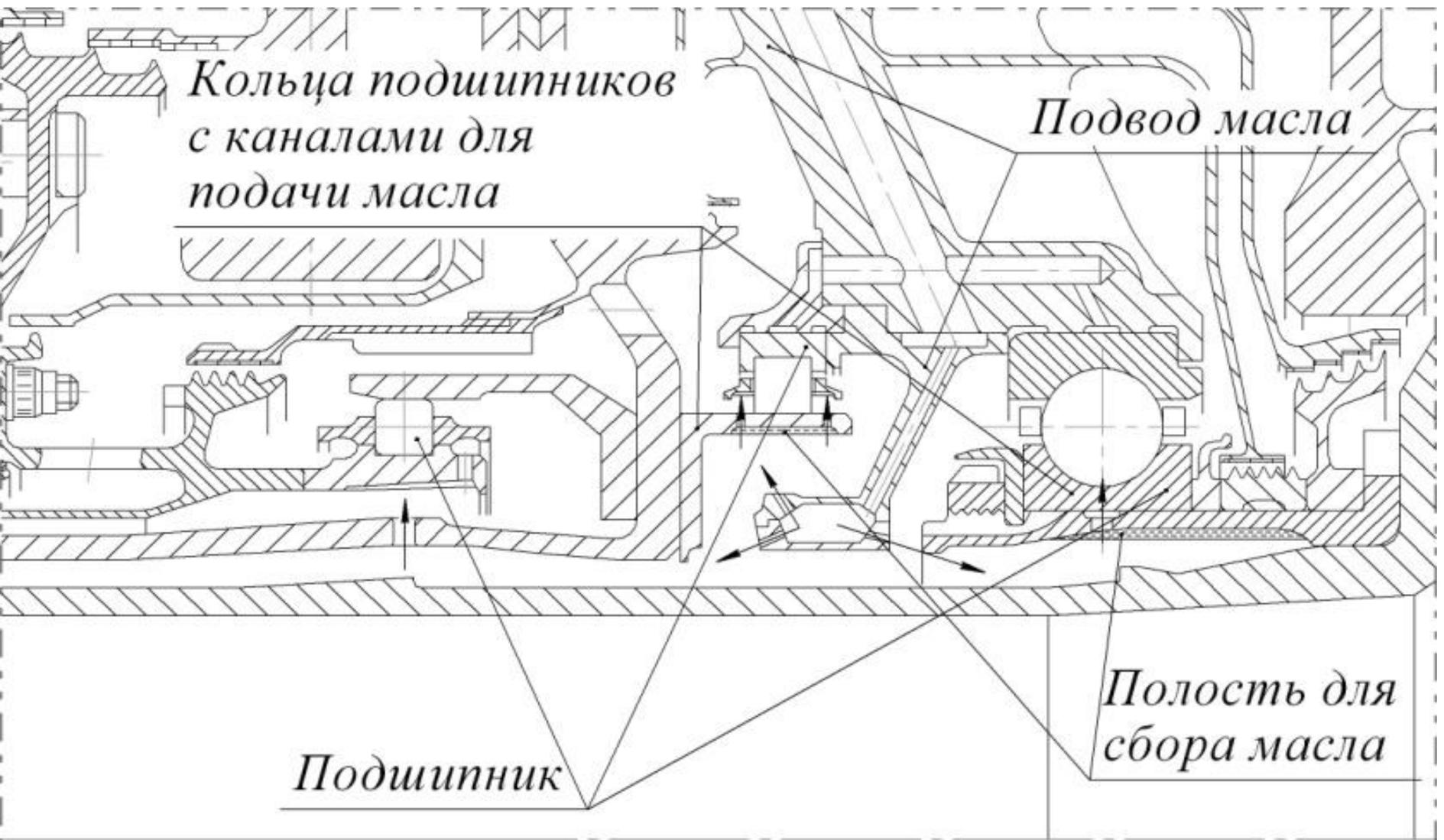
ПОДВОД МАСЛА ЧЕРЕЗ ФОРСУНОЧНЫЕ КОЛЬЦА К ПОДШИПНИКУ КОМПРЕССОРА (ДВИГАТЕЛЬ АЛ-21Ф3)



ПОДВОД МАСЛА К ПОДШИПНИКАМ ОПОРЫ ТУРБИНЫ ВД ЧЕРЕЗ ВАЛ (ГДУ НК-36СТ)



ПОДВОД МАСЛА К ПОДШИПНИКУ ЧЕРЕЗ ВАЛ (ДВИГАТЕЛЬ RB-199)



ПОДАЧА МАСЛА К ПОДШИПНИКАМ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ (ДВИГАТЕЛЬ РД-33)

