Часть 10. Авиационные динамические насосы

Авиационные динамические насосы (наиболее часто применяются центробежные, но также используются осевые, вихревые и струйные насосы) используются главным образом для перекачивания авиационного топлива. Кроме топливных, на самолетах (пассажирских) используются насосы систем жизнеобеспечения (для чистой воды, санитарные и пр.), а также насосы систем термостабилизации для охлаждения (подогрева) радиоэлектронного оборудования (главным образом радаров и их электроники). Что касается топливных насосов, то в каждом баке самолета (а их может быть более 10) должен быть как минимум один топливный насос, топливные насосы также установлены на двигателях. Таким образом, число топливных насосов разных типоразмеров на самолете может превышать 30..40 штук 5..10 разных типов

Основные особенности авиационных насосов:

1. Жесткие ограничения по весу и габаритам (и вытекающая отсюда необходимость повышения частот вращения ротора)
2. Большое разнообразие конструкций из-за сложной конфигурации баков и трубопроводов в самолете
3. Удобство замены (модульная конструкция)
4. Высокая надежность в процессе работы
5. Большое разнообразие систем привода насосов (двигатели переменного тока 400 Гц, постоянного тока 27 и 110 В, гидропривод, пневмопривод и привод непосредственно от двигателя)
6. Необходимость резервирования насосов
7. Возможность работы на жидкостях с большим количеством растворенного воздуха (авиационное топливо может растворять большое количество воздуха) и в сложных кавитационных условиях (вследствие высоких частот вращения и возможных больших температур топлива, особенно в крыльевых баках)
8. Пожарная безопасность (топливо огнеопасно)
9. Большой диапазон режимов работы

Основные типы топливных насосов – это баковые (внебаковые и кессонные) насосы 1 ступени (как правило, с электроприводом - ЭЦН), двигательные насосы с приводом от двигателя (2 ступени) – ДЦН и топливные насосы высокого давления (до 100 кгс/см2), установленные на двигателе (насосы-регуляторы и форсажные насосы).

При этом баковые насосы применяются и для перекачивания топлива между баками (например, из внешних баков в расходный или между крыльевыми для уравновешивания самолета – балансировочные насосы БЦН)

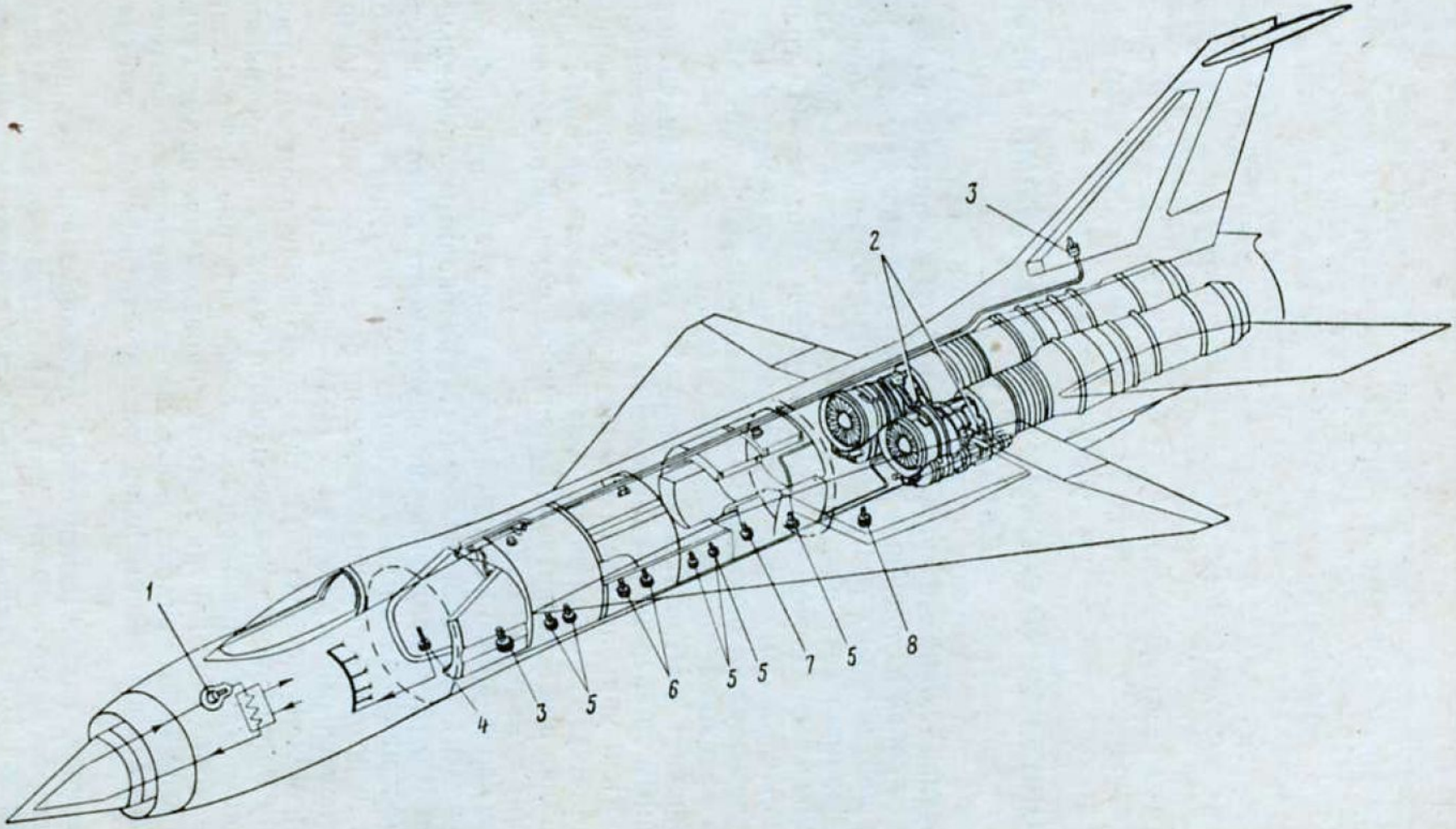
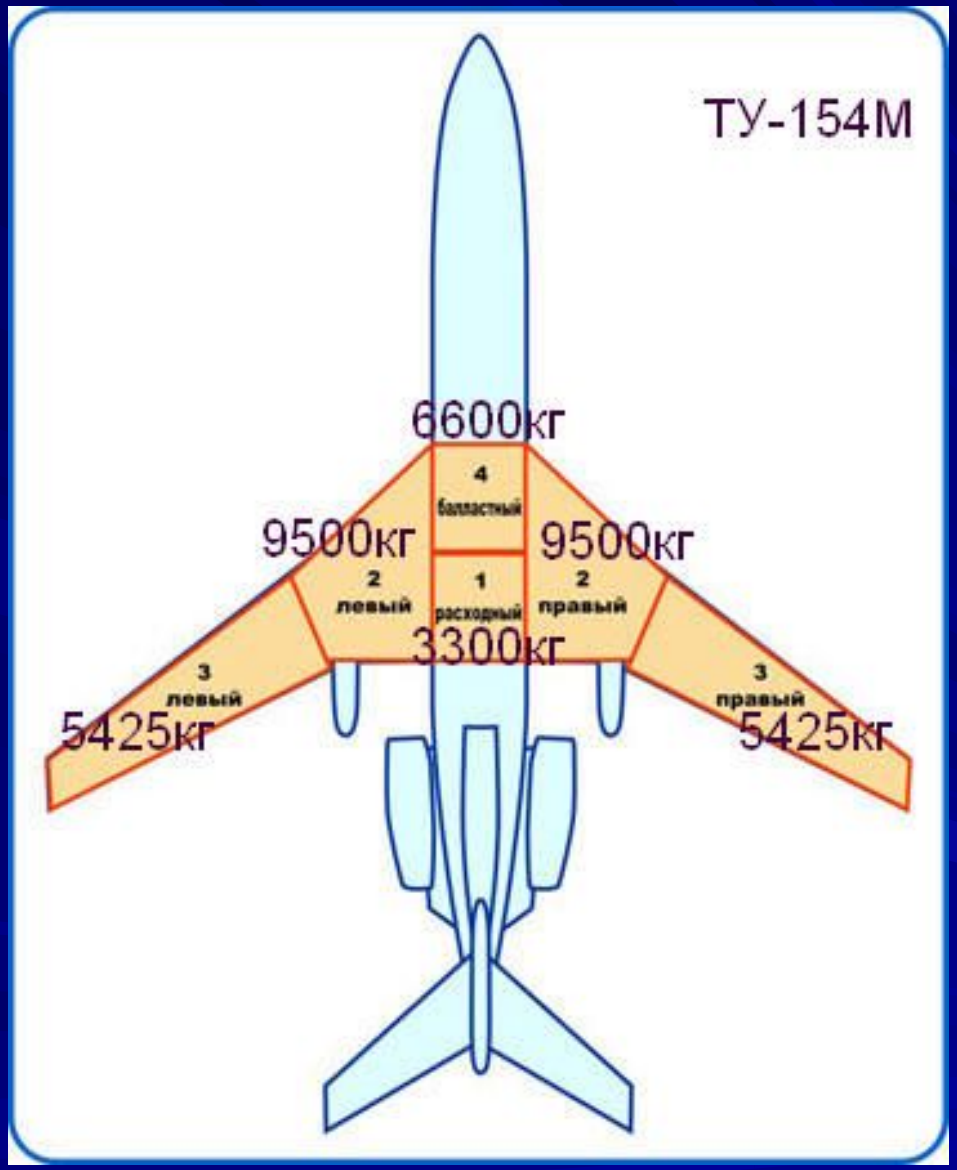


Рис. 1. 1. Центробежные насосные агрегаты в самолетных системах (гипотетическая схема):

1—ЦНА в системе охлаждения локатора; *2*—ЦНА II ступени подкачки топлива; *3*—балансировочные топливные ЦНА; *4*—ЦНА в системе впрыска воды; *5*—перекачивающие топливные ЦНА фюзеляжных баков; *6*—ЦНА I ступени подкачки топлива; *7*—пусковой топливный ЦНА; *8*—крыльевой перекачивающий топливный ЦНА

Расположение топливных баков на Ту-154



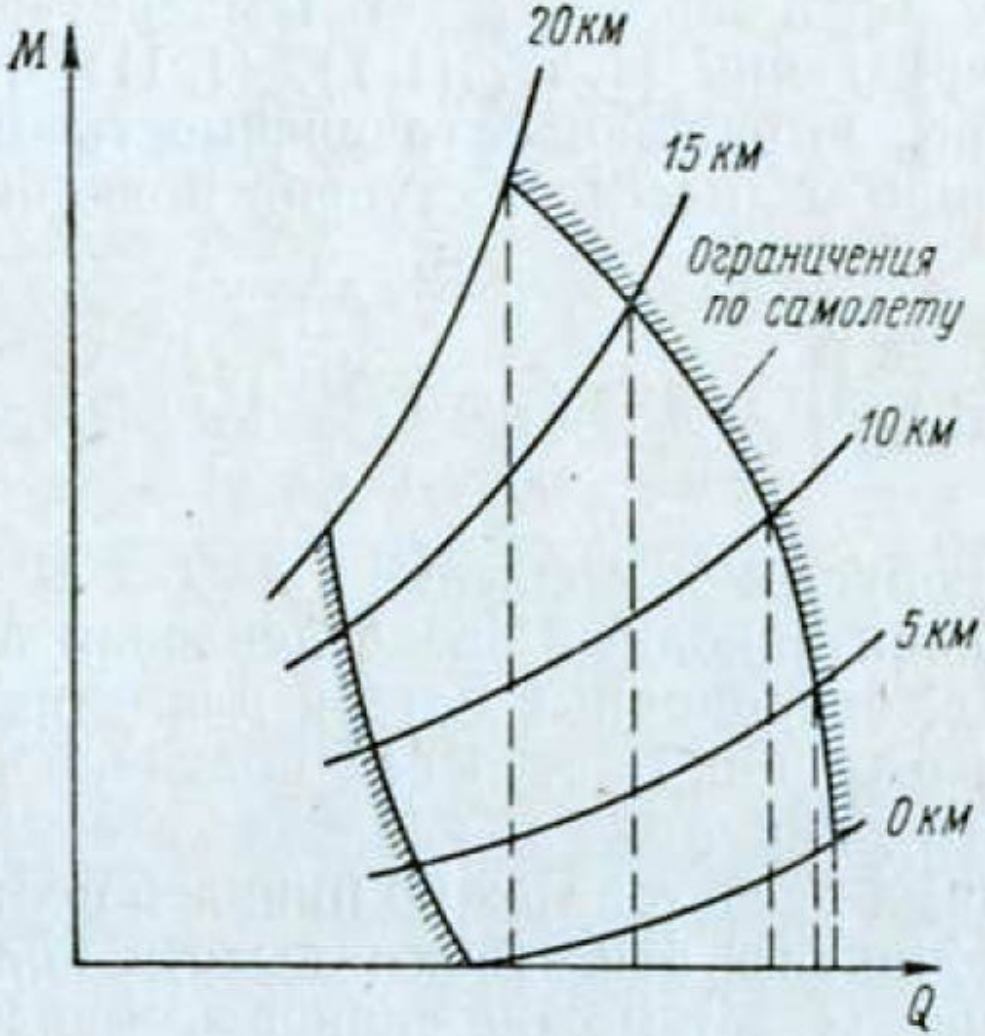


Рис. 1.14. Расход топлива ТРД на форсажном режиме в зависимости от скорости (M) и высоты полета

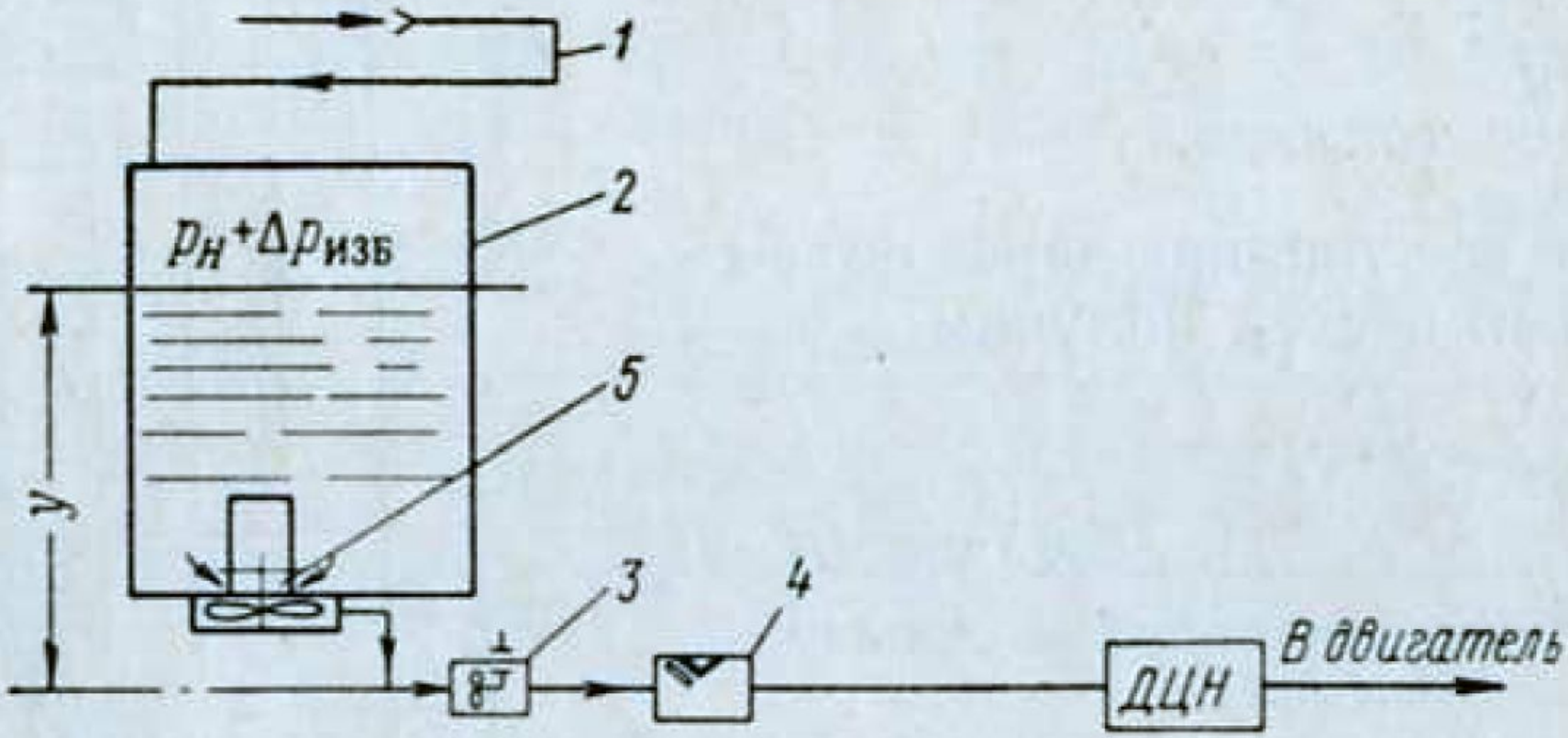


Рис. 1.9. Топливная система самолета с подачей топлива к ДЦН насосом I ступени подкачки топлива:

1—трубопровод наддува бака; 2—топливный бак; 3—датчик расходомера топлива; 4—перекрывной пожарный кран; 5—насос I ступени подкачки топлива

Проблема постоянного снабжения топливом двигателей во всех режимах полета

Самолет может совершать самые разнообразные маневры в процессе полета. Особенно это касается высокоманевренных военных самолетов.

При этом система подачи топлива должна обеспечивать снабжение двигателей горючим во всех возможных положениях самолета и при разных перегрузках (в том числе отрицательных). Для этого используются различные схемы забора топлива из баков и/или топливные аккумуляторы, обеспечивающие кратковременную подачу топлива в баки при маневре.

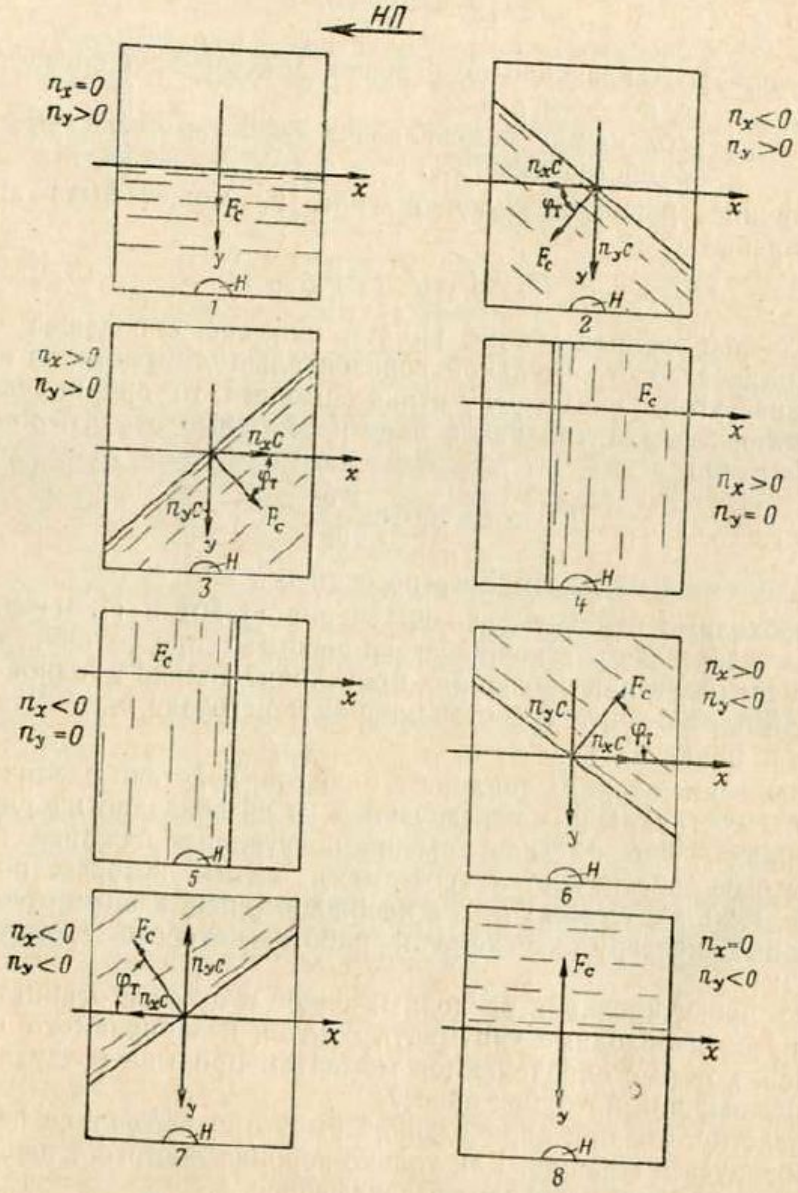


Рис. 1.19. Положение зеркала топлива в баке при действии различных сочетаний составляющих перегрузки n_x и n_y (н — насос)

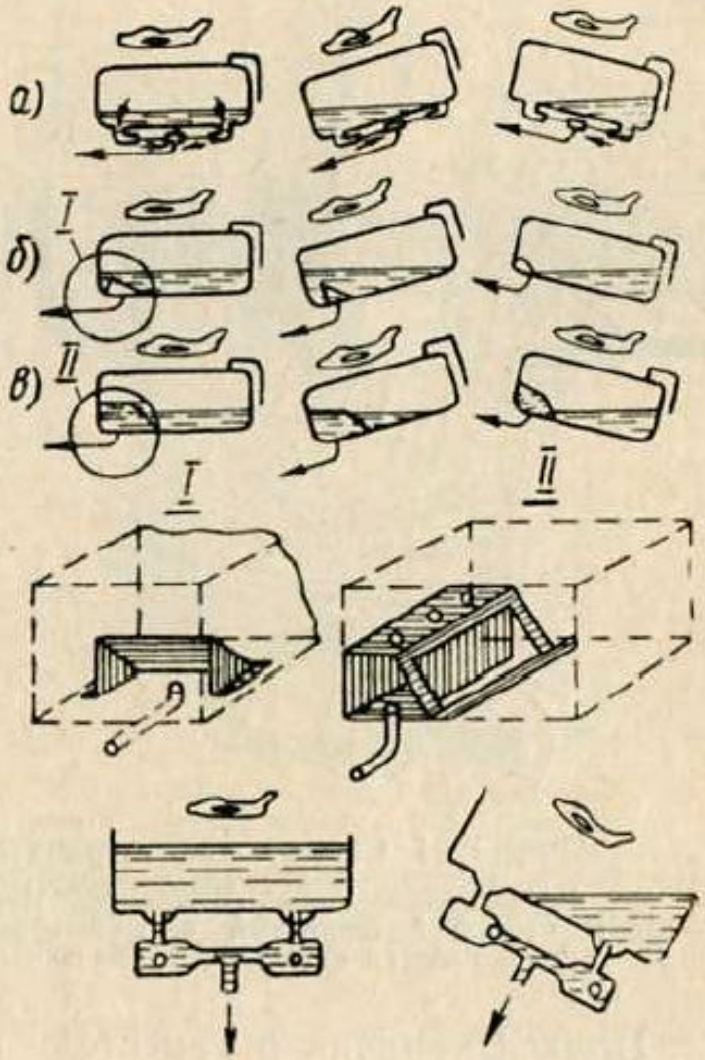


Рис. 1.20. Схемы устройств для бесперебойной подачи топлива из расходного бака к двигателю при эволюциях самолета

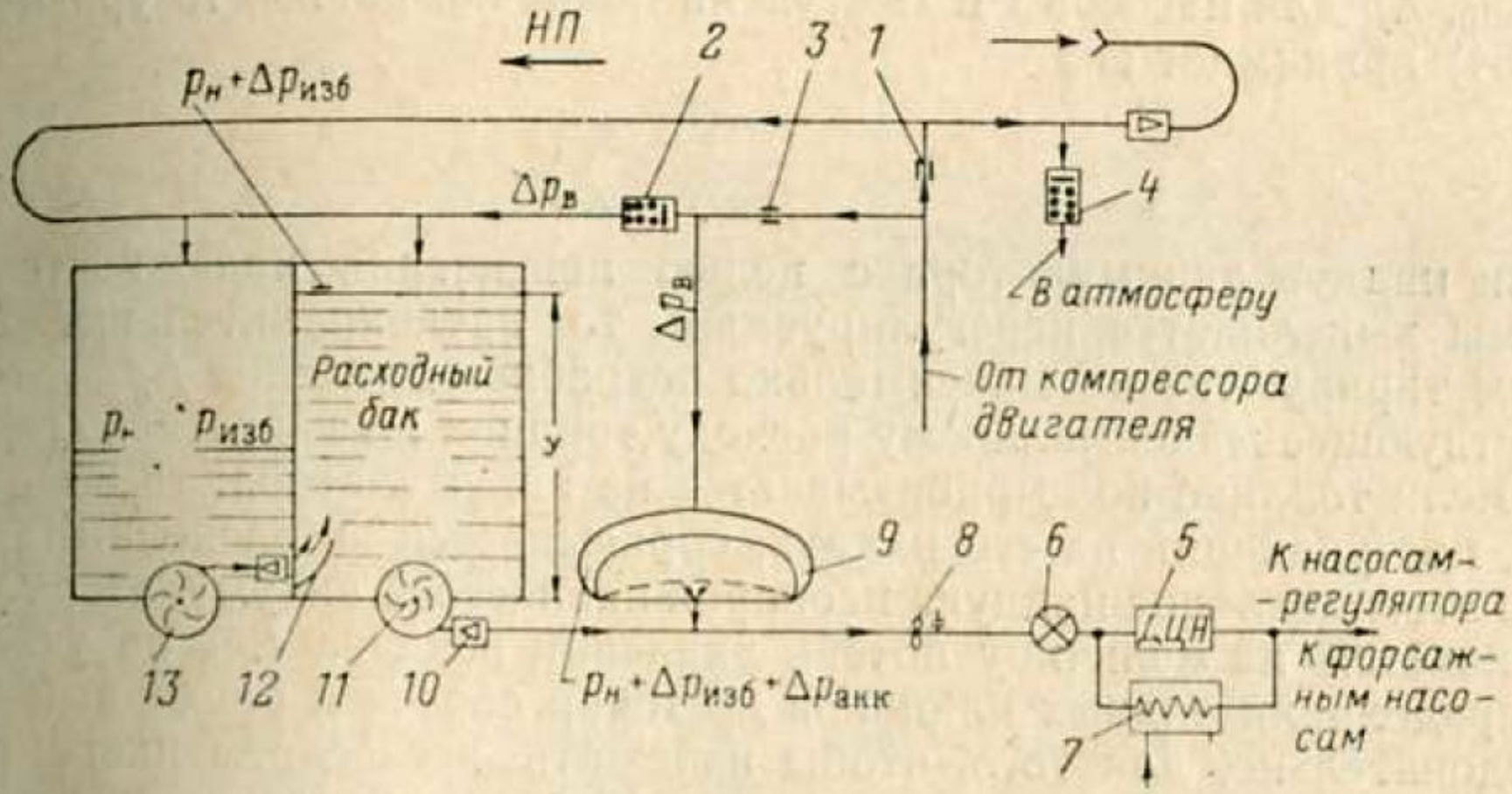


Рис. 1.22. Схема подсоединения и питания топливного аккумулятора:

1—дроссельное отверстие; *2*—предохранительный клапан топливного аккумулятора; *3*—дроссельное отверстие; *4*—предохранительный клапан наддува топливных баков; *5*—насос II ступени подкачки; *6*—перекрывной (пожарный кран); *7*—топливно-масляный радиатор; *8*—датчик крыльчато-тахометрического расходомера; *9*—топливный аккумулятор; *10*—обратный клапан; *11*—насос I ступени подкачки; *12*—перегородка с отражателем; *13*—перекачивающий насос

Другой проблемой является работа насоса на жидкостях с высоким газосодержанием (с выделением газа на входе в насос) и при низких значениях кавитационного запаса на входе.

Несмотря на наддув баков от компрессора двигателя, за счет нагрева топлива в баках, изменения положения зеркала топлива в баках и отрицательных перегрузок давление на входе в насос может падать почти до давления насыщенного пара для данной жидкости.

Кроме того, кавитационные качества сильно зависят от частоты вращения вала насоса, которая для данных насосов высока.

Проблема может быть решена следующими основными путями:

1. Снижение содержания газа на входе в лопастное колесо с помощью газосепараторов
2. Применение предвключенных струйных насосов для улучшения работы на газожидкостной смеси и повышения всасывающей способности
3. Использование предвключенных шнеков

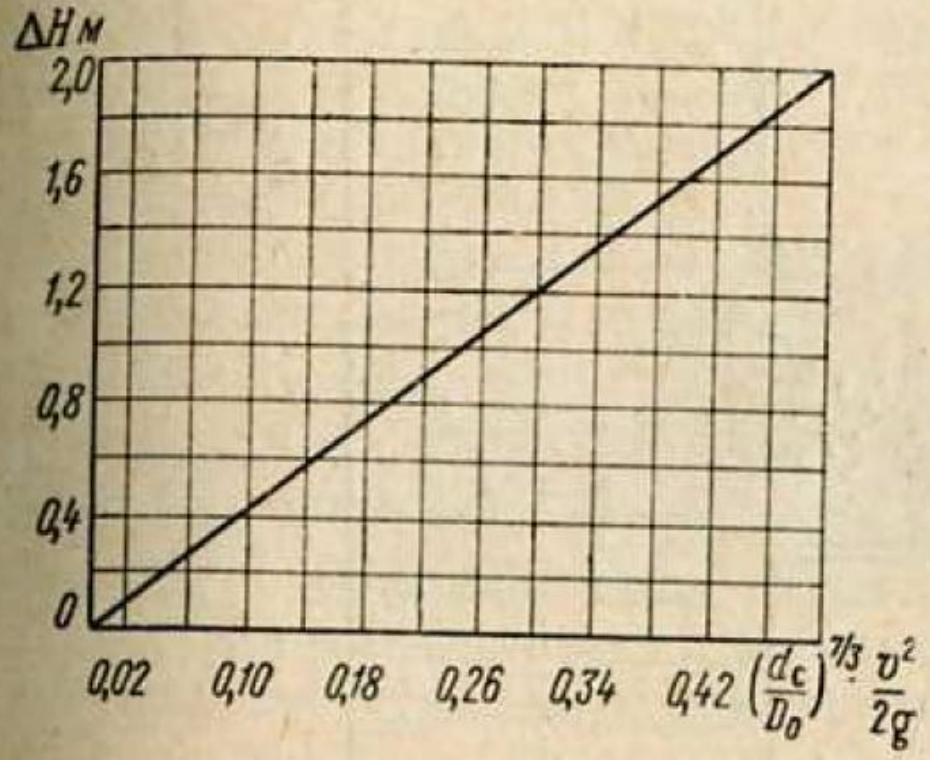


Рис. 2. 20. Повышение давления на входе в насос при установке эжекторного устройства

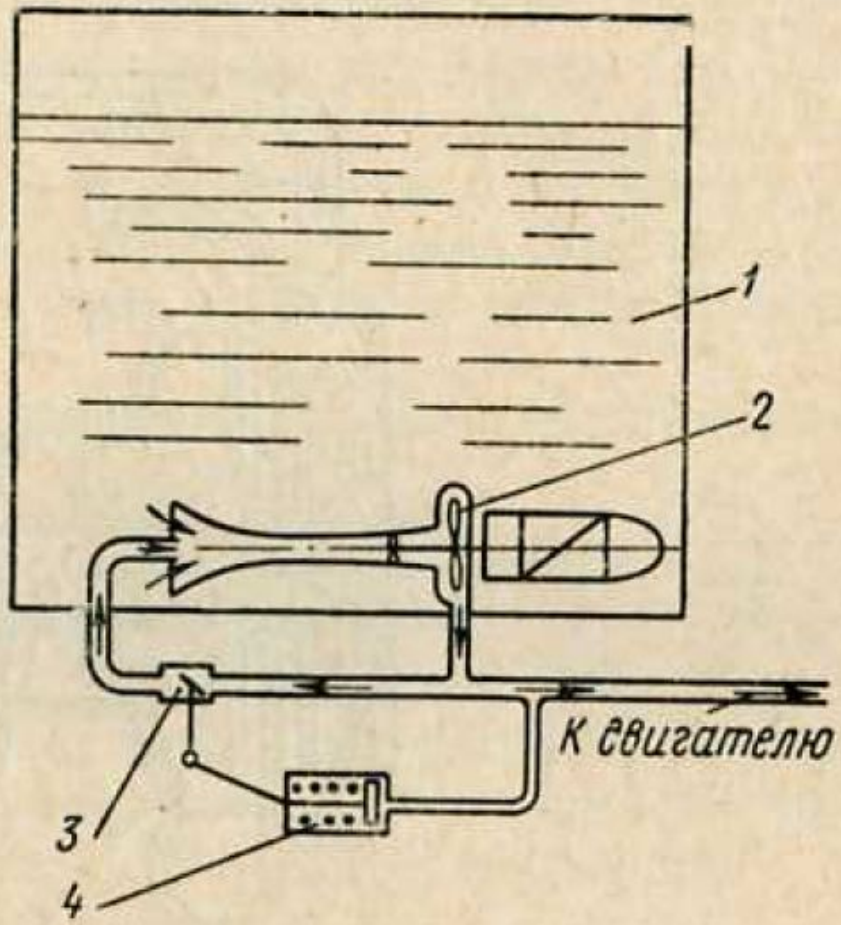


Рис. 2. 21. Схема эжекторного устройства, автоматически включающегося на высоте:

1—бак; 2—насос с эжекторным устройством; 3—дроссельная заслонка; 4—сервомеханизм управления дроссельной заслонкой

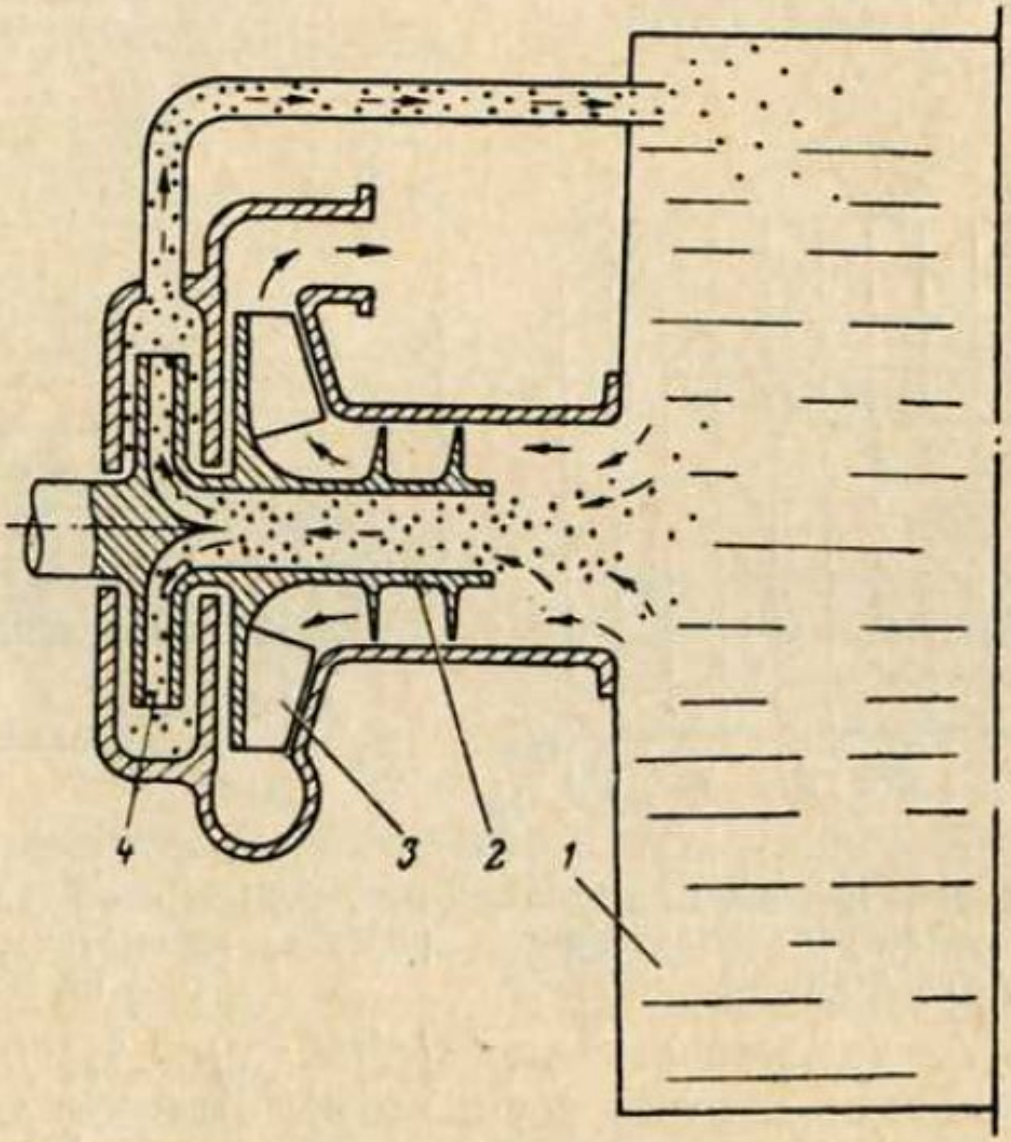


Рис. 2. 22. Схема насоса с сепарационным устройством:

1—топливный бак; *2*—осевое предвключенное колесо; *3*—центробежное колесо; *4*—импеллер

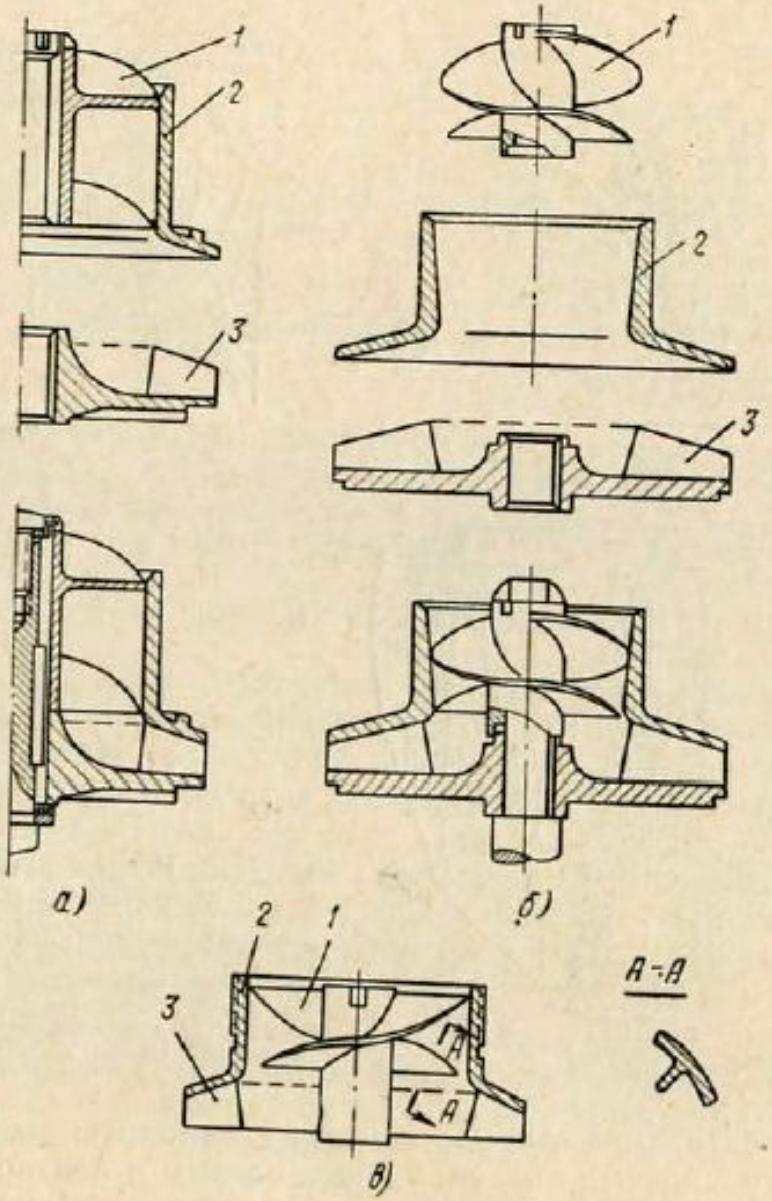


Рис. 4.16. Рабочее и предвключенное осевые колеса:

а, б—сборные конструкции, *в*—цельная конструкция. *1*—осевое колесо; *2*—бандаж; *3*—центробежное рабочее колесо

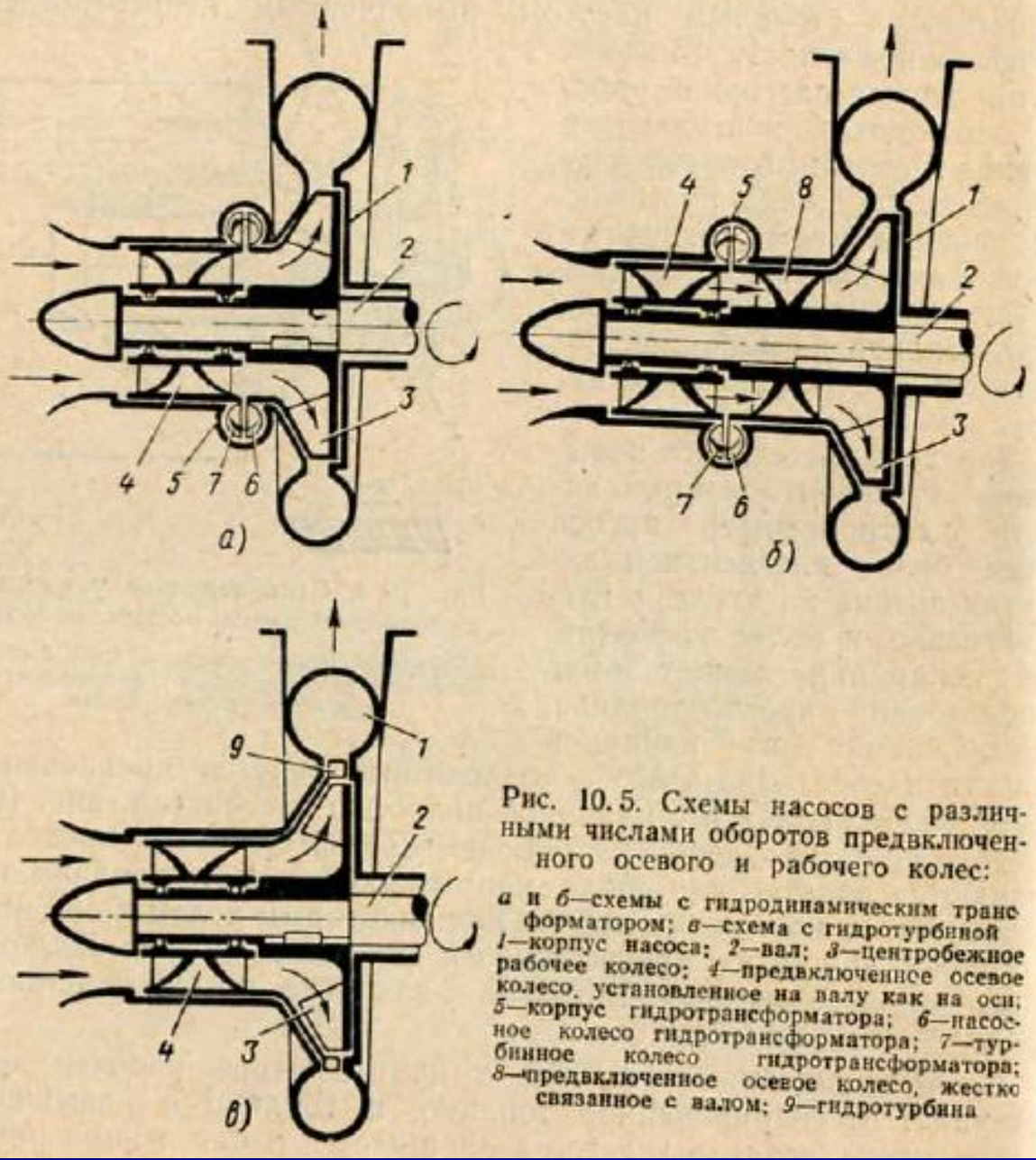


Рис. 10.5. Схемы насосов с различными числами оборотов предвключенного осевого и рабочего колес:

а и *б*—схемы с гидродинамическим трансформатором; *в*—схема с гидротурбиной *1*—корпус насоса; *2*—вал; *3*—центробежное рабочее колесо; *4*—предвключенное осевое колесо, установленное на валу как на оси; *5*—корпус гидротрансформатора; *6*—насосное колесо гидротрансформатора; *7*—турбинное колесо гидротрансформатора; *8*—предвключенное осевое колесо, жестко связанное с валом; *9*—гидротурбина

Выбор типа привода

Выбор типа привода для авиационного ЦБН должен производиться исходя из следующих требований:

1. Высокие частоты вращения вала насосов
2. Высокая надежность привода и его компактность, малый вес
3. На самолете обычно есть 2 вида электропитания – постоянный ток (обычно 27 В) и переменный (как правило 100-200 В 400 Гц)
4. Насосы должны работать и в аварийных ситуациях, в том числе при сбое электропитания (не все, аварийные)
5. Желательно наличие жесткой характеристики привода для прогнозируемой работы насоса во всех режимах
6. Желательно – возможность управления параметрами двигателя и система его диагностики (реализуется, например, в современных двигателях с электронной коммутацией)
7. Очень важная задача – охлаждение двигателя в замкнутом объеме (обычно перекачиваемой жидкостью) для насосов внутрибакового исполнения

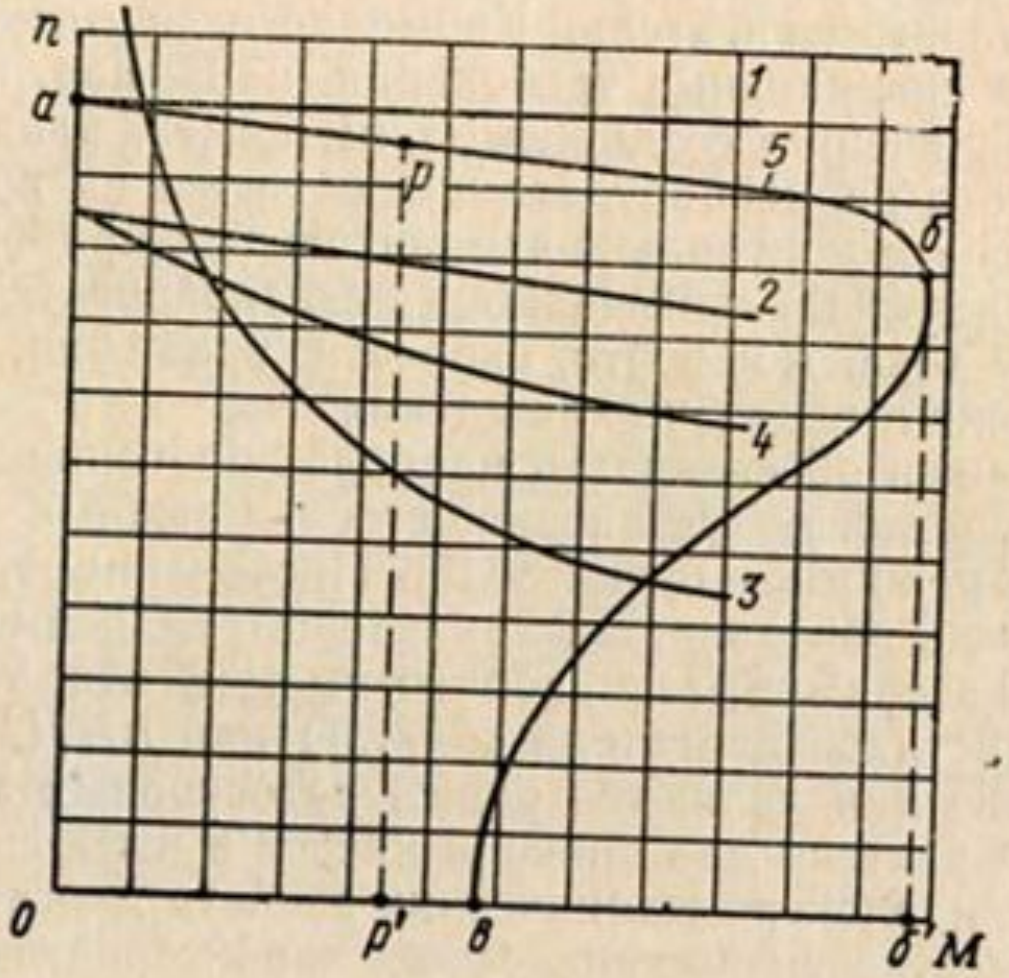


Рис. 6.1. Виды механических характеристик:

1—синхронного двигателя; 2—двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением; 3—двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением; 4—двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением; 5—асинхронного двигателя

Исходя из вышеизложенного, для авиационных ЦБН применяются следующие типы приводов:

1. Электродвигатели постоянного тока с частотами вращения как правило от 5000 до 24000 об/мин и мощностью от 25 Вт до 15 КВт (обычно до 1 КВт)
2. Электродвигатели переменного тока (асинхронные, 400 Гц) на те же параметры
3. Пневмопривод (воздушная турбина) с отбором сжатого воздуха от компрессора двигателя
4. Гидропривод (гидротурбина) с питанием рабочей жидкостью (топливом) от насоса, установленного на двигателе
5. Аварийные приводы, например, выкидные воздушные турбины (обычно используются не для ЦБН, а для аварийных генераторов)
6. Наиболее современные – синхронные вентильные двигатели с ротором на постоянных магнитах

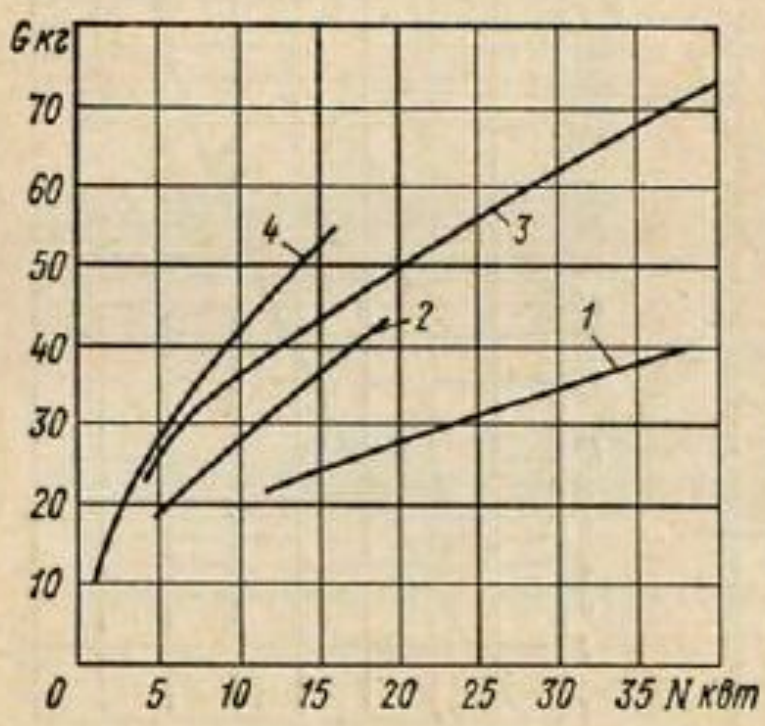


Рис. 3.3. Зависимость веса ЭЦНА и электродвигателя от номинальной мощности на валу при температуре топлива, омывающего электродвигатель, ±50° С:

1—для электродвигателя, 200 *в*, 400 *гц*, 4500 *об/мин*; *2*—для электродвигателя, 27 *в*, постоянный ток, 7000—10 000 *об/мин*; *3*—для ЭЦНА, 200 *в*, 400 *гц*, 4500 *об/мин*; *4*—для ЭЦНА, 27 *в*, постоянный ток, 7000—10 000 *об/мин*

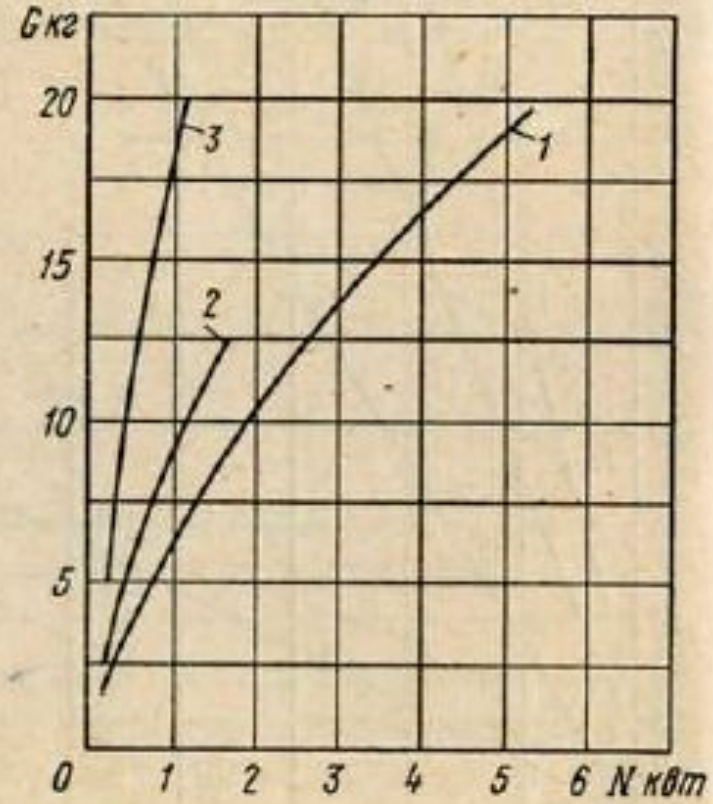


Рис. 3.4. Зависимость веса электродвигателя от номинальной мощности на валу:

1 — 200 *в*, 400 *гц*, 4500 *об/мин*, температура топлива, омывающего электродвигатель, ±50° С; *2*—27 *в*, постоянный ток, 7000—10 000 *об/мин*, температура топлива, омывающего электродвигатель, ±50° С; *3*—27 *в*, постоянный ток, 7000—10 000 *об/мин*, температура топлива, омывающего электродвигатель, —50—+150° С

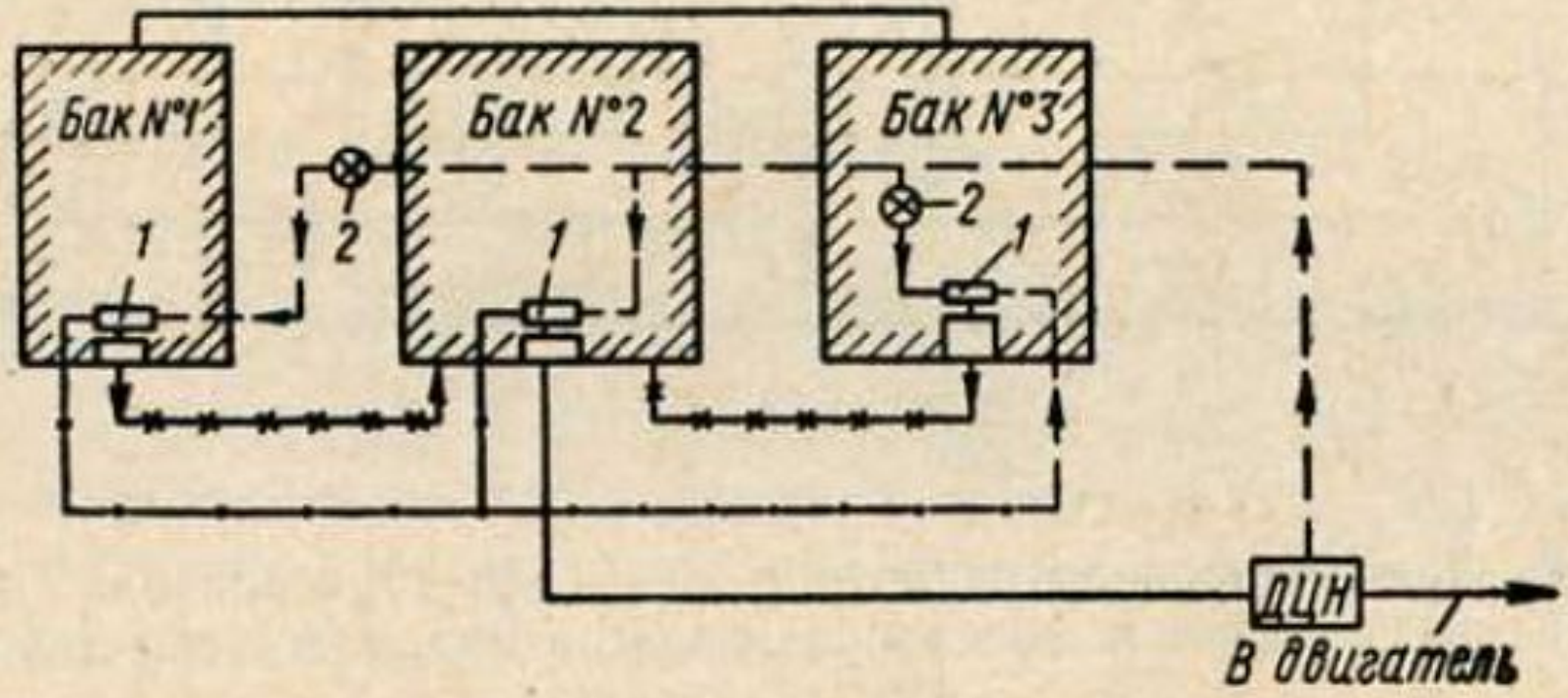


Рис. 3.11. Принципиальные схемы питания гидротурбопривода на самолете от ДЦН (II ступень подкачки):

1—ГТН; *2*—краны включения и отключения ГТН (краны управления порядком выработки топлива из баков):

—→——— Трубопровод подкачки топлива в двигатель.

—X—X—X— Трубопровод перекачки топлива в расходный бак.

→— —— Трубопровод подачи топлива к гидротурбоприводу

— · → · —· Трубопровод слива топлива из гидротурбопривода

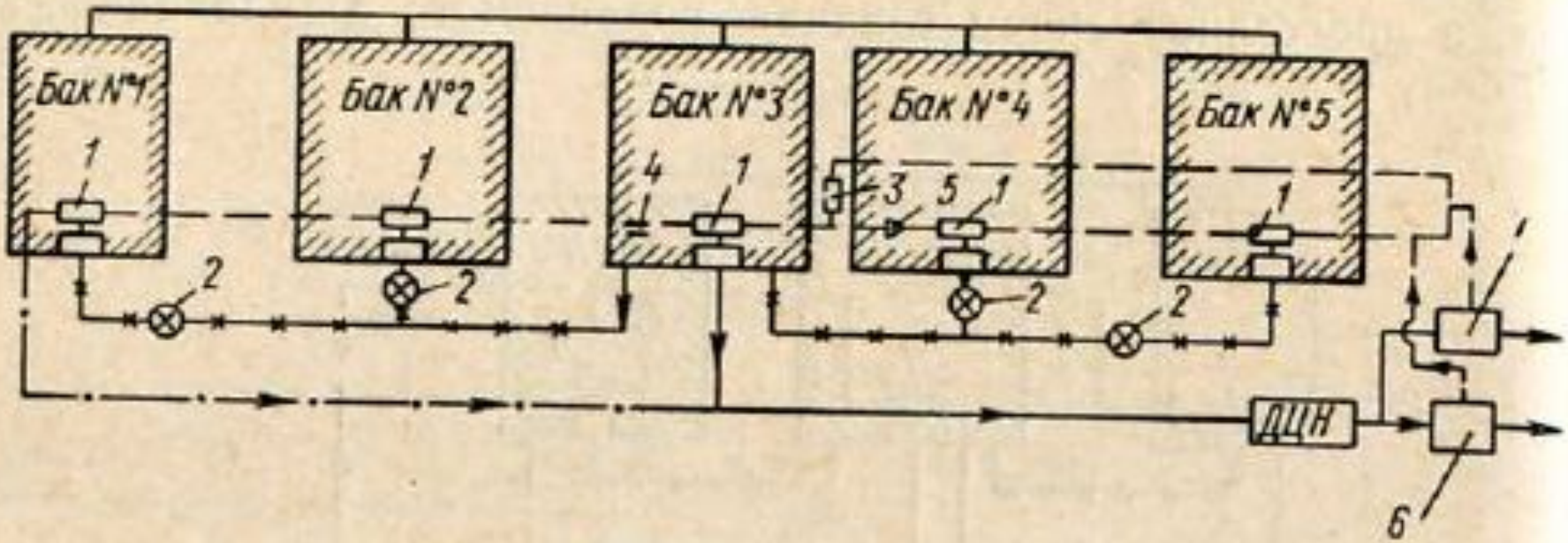


Рис. 3.12. Принципиальная схема питания гидротурбопривода на самолете от насосов-регуляторов и форсажных насосов авиадвигателя (последовательное соединение):

1—гидротурбопривод; *2*—краны управления порядком перекачки топлива в расходный бак; *3*—аварийный предохранительный клапан; *4*—дроссель; *5*—обратный клапан, *6*—насос-регулятор; *7*—форсажный насос.

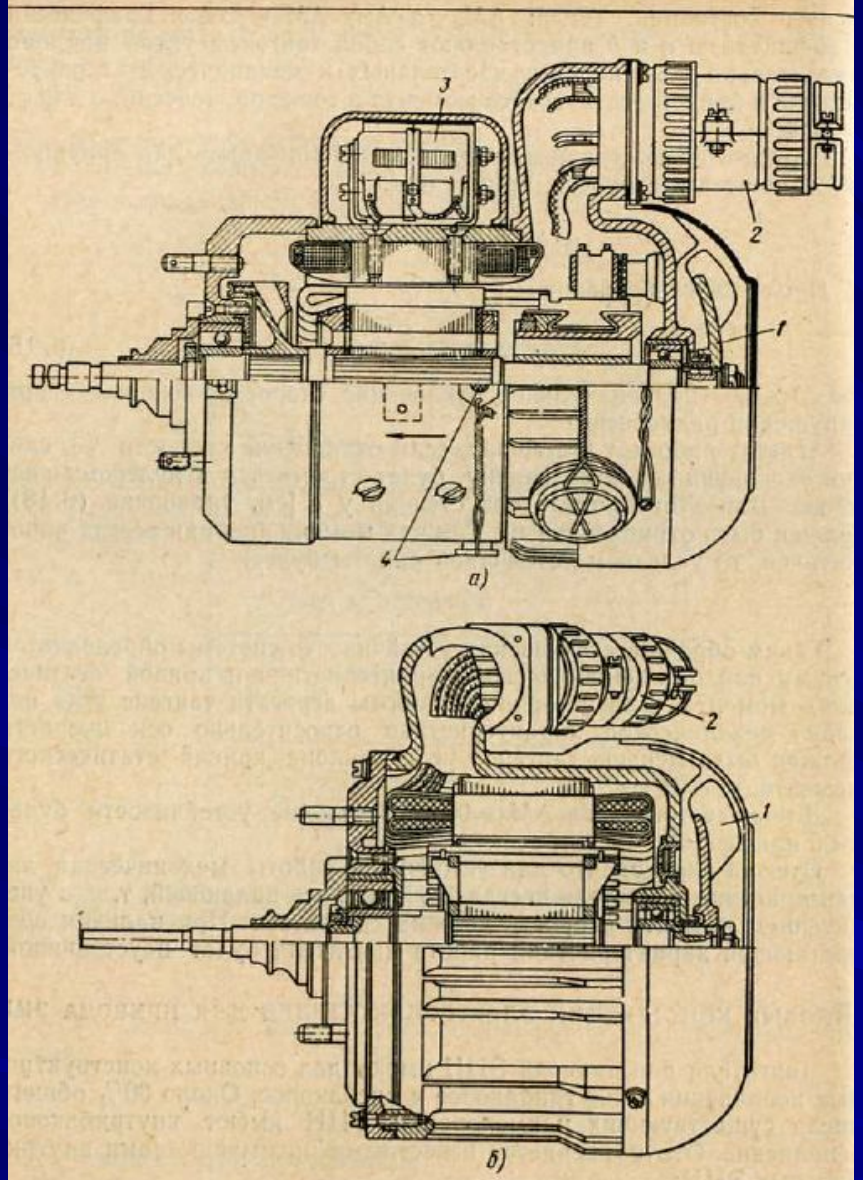
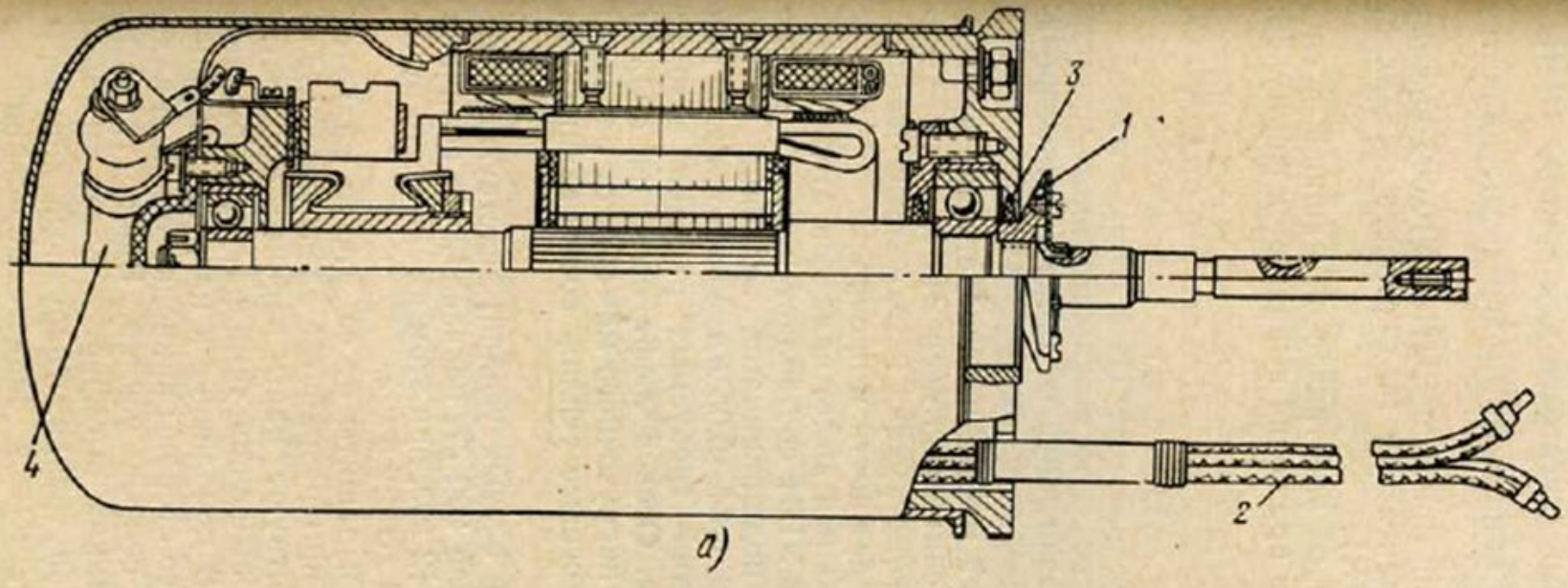


Рис. 6.11. Типовая конструкция двигателя для привода внебакового ЭЦН:

а—постоянного тока; *б*—переменного тока.
1—вентилятор; *2*—штепсельный разъем; *3*—добавочное сопротивление; *4*—пламягасящие сетки на окнах



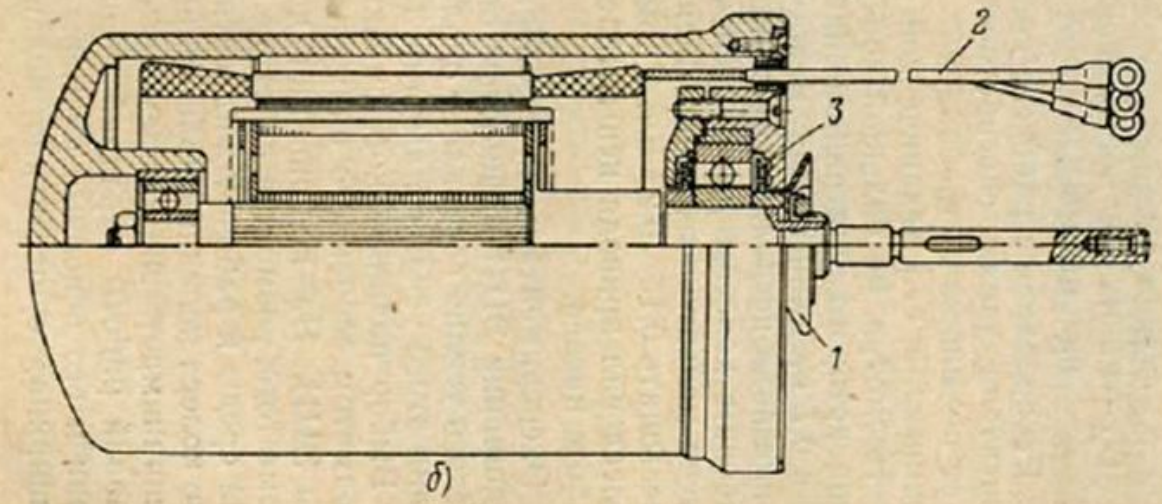
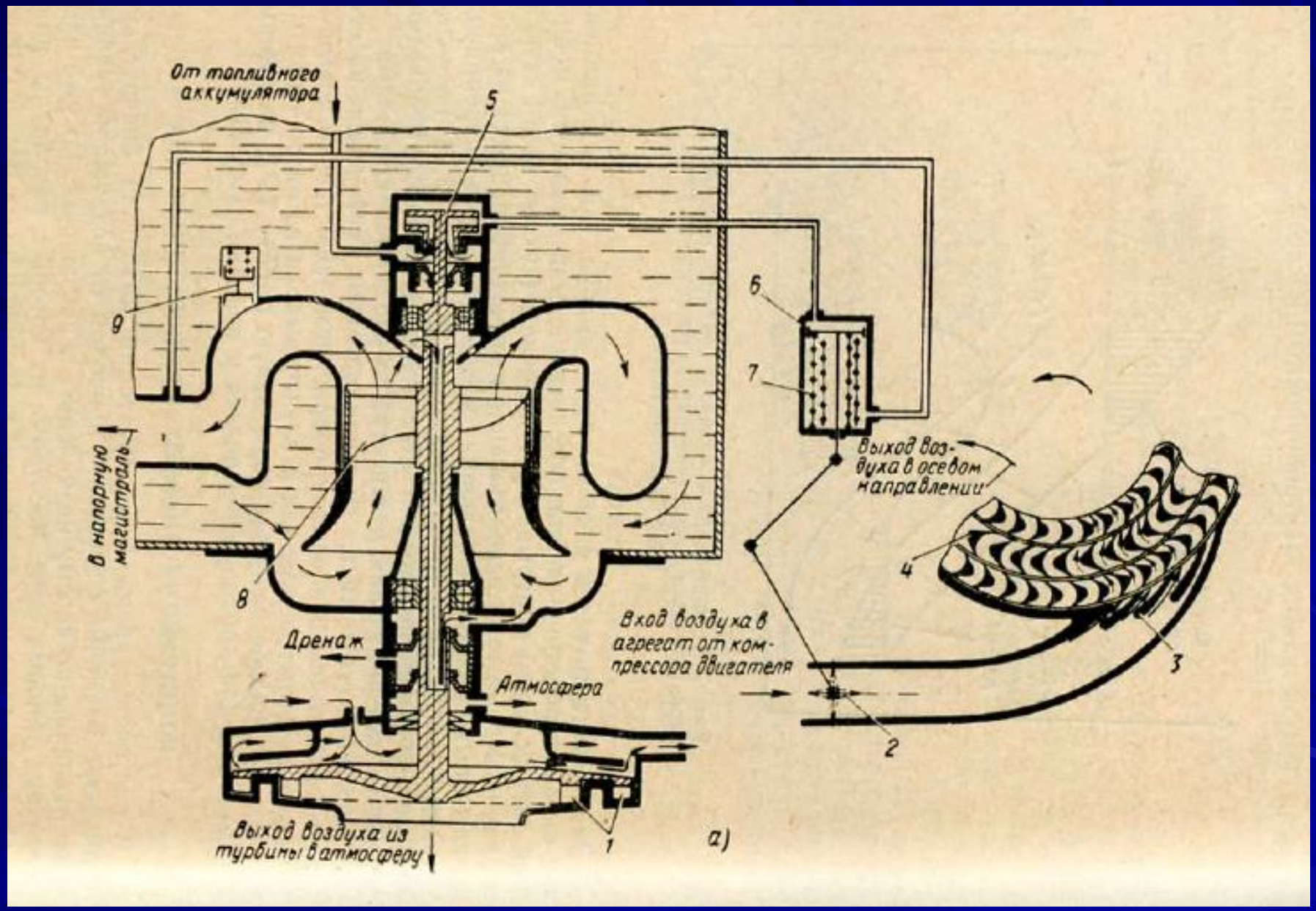


Рис. 6.12. Типовая конструкция двигателя для привода внутрибакового ЭЦН:

а—постоянного тока; *б*—переменного тока. *1*—втулка центробежного уплотнения; *2*—выводные концы; *3*—фетровое (войлочное) кольцо или лабиринтное уплотнение; *4*—добавочное сопротивление

Принципиальная схема насоса с пневмоприводом



Конструктивная схема насоса с гидроприводом

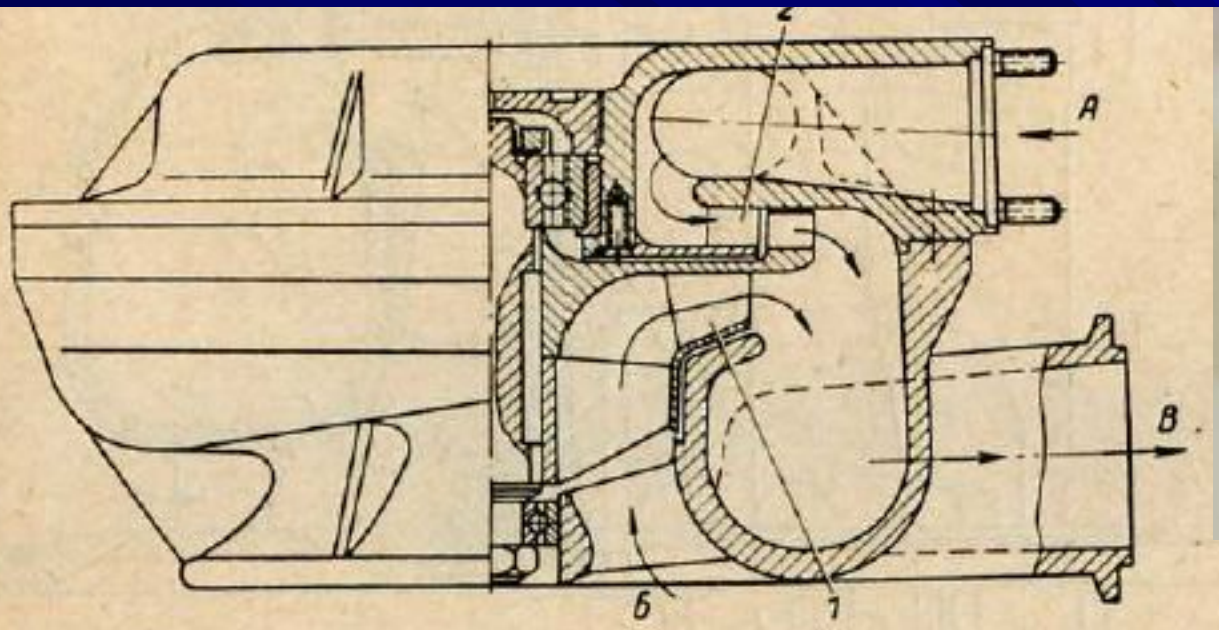


Рис. 8.5. Конструктивная схема центробежного гидротурбонасосного агрегата с отводом топлива в напорную магистраль:

1—комбинированная осецентробежная ступень с лопатками гидротурбины, расположенными на диске центробежного колеса; *2*—направляющий аппарат турбины; *А*—подвод жидкости для привода турбины; *Б*—подвод перекачиваемой жидкости; *В*—отвод жидкости

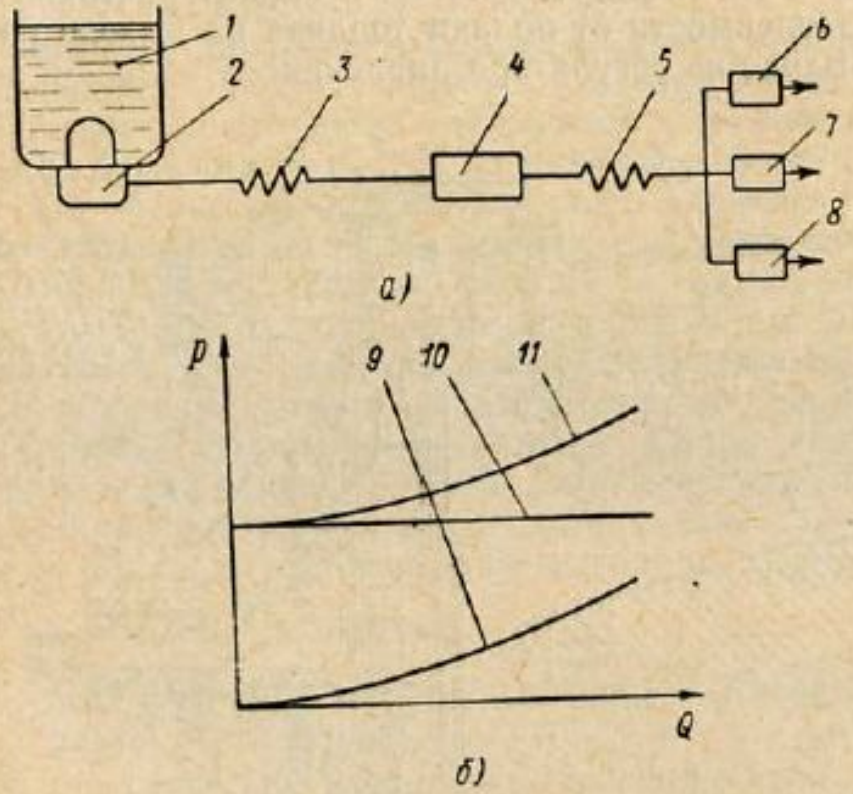


Рис. 9.1. Принципиальная схема двухступенчатой подкачки и ее типовые характеристики:

а—схема подкачки; *б*—типовые характеристики.

1—топливный бак; *2*—насос первой ступени подкачки; *3*—сопротивление магистралей; *4*—ДЦН; *5*—вспомогательные агрегаты; *6*—основной насос-регулятор двигателя; *7*—форсажный насос; *8*—насос питания средств механизации компрессора и сопла; *9*—характеристики сопротивления на участке между ДЦН и НР; *10*—характеристика потребного давления на входе в НР; *11*—потребная характеристика на выходе из ДЦН

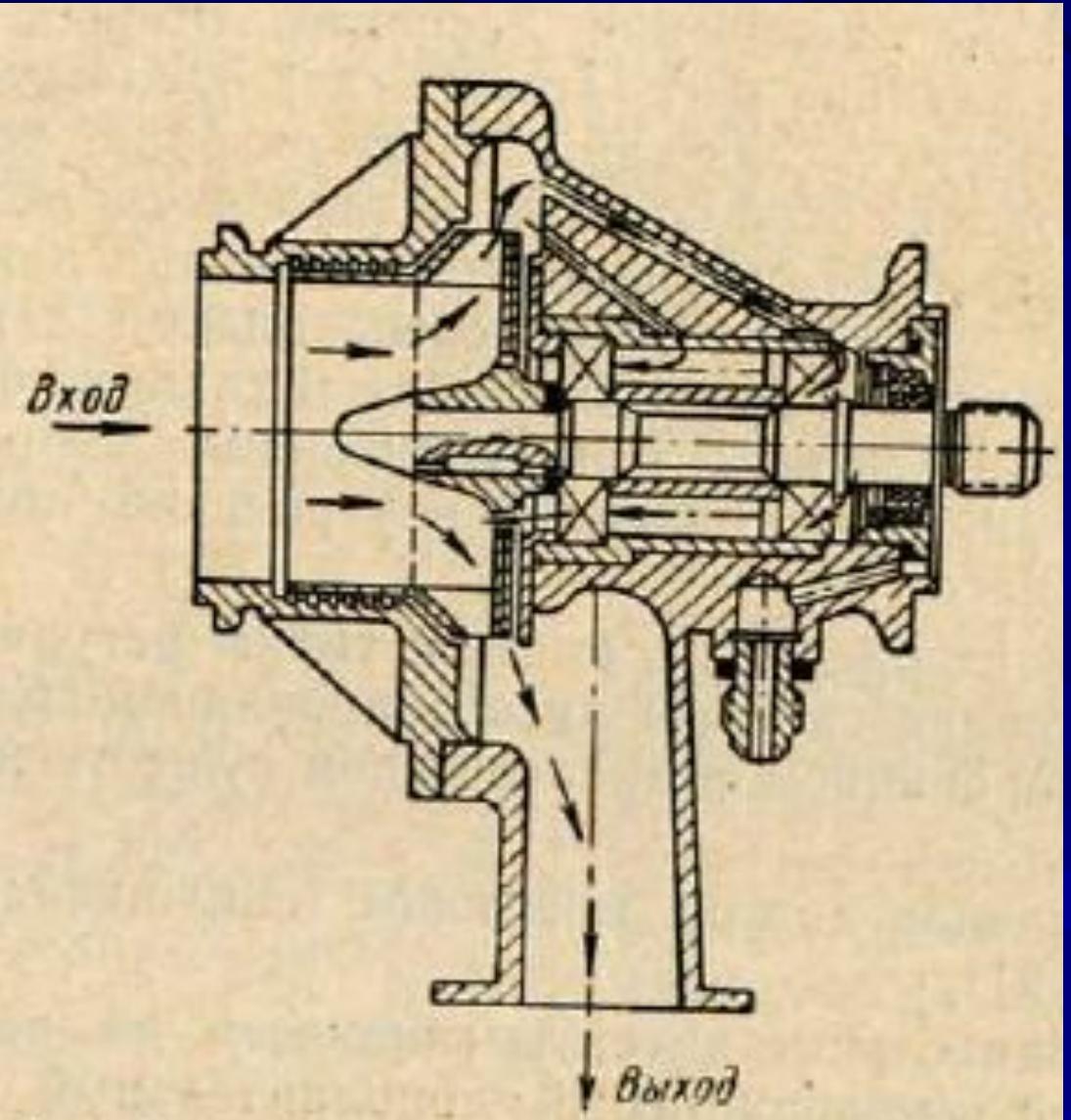


Рис. 9.4. ДЦН с рабочим колесом, лопасти которого загнуты вперед по вращению

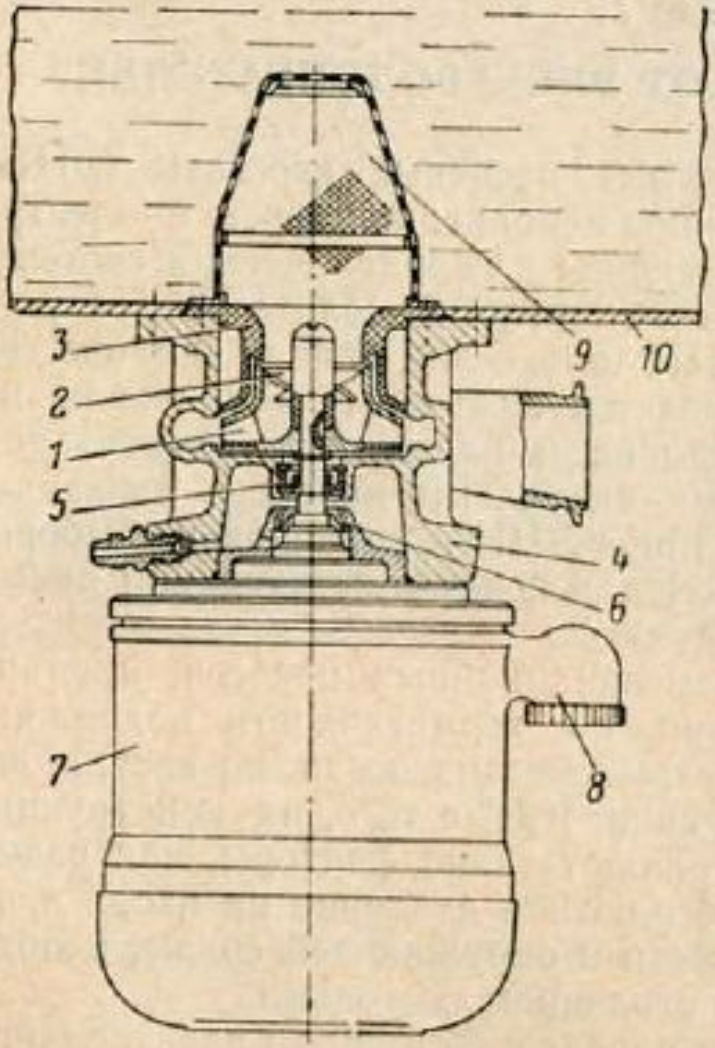


Рис. 4. 1. Внебаковый ЭЦН:

1—центробежное рабочее колесо; *2*—предвключенное осевое колесо; *3*—подвод; *4*—корпус; *5*—манжета; *6*—центробежное уплотнение; *7*—электродвигатель; *8*—штепсельный разъем; *9*—фильтр; *10*—бак

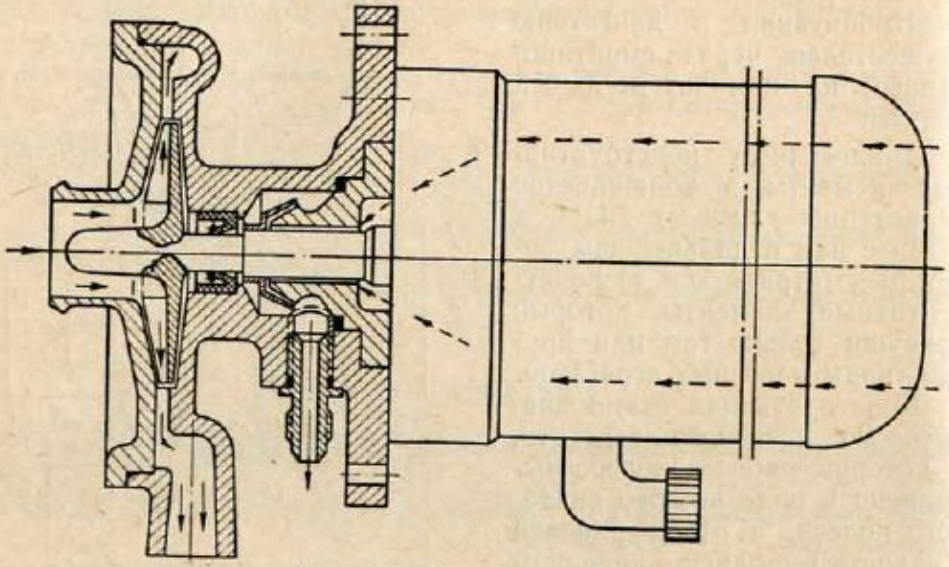


Рис. 4.3. Магистральный ЭЦН

электродвигателя, так как это приводит к искусственному усложнению и увеличению габаритов агрегата.

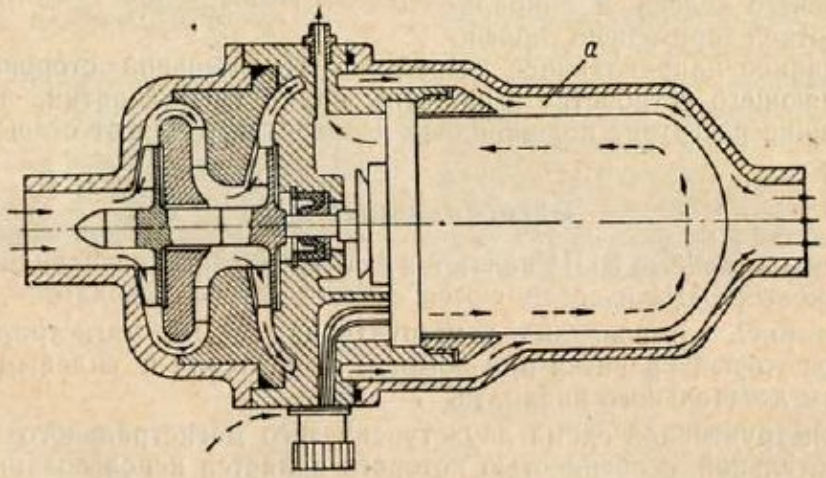


Рис. 4.4. Двухступенчатый магистральный ЭЦН:
а—рубашка охлаждения

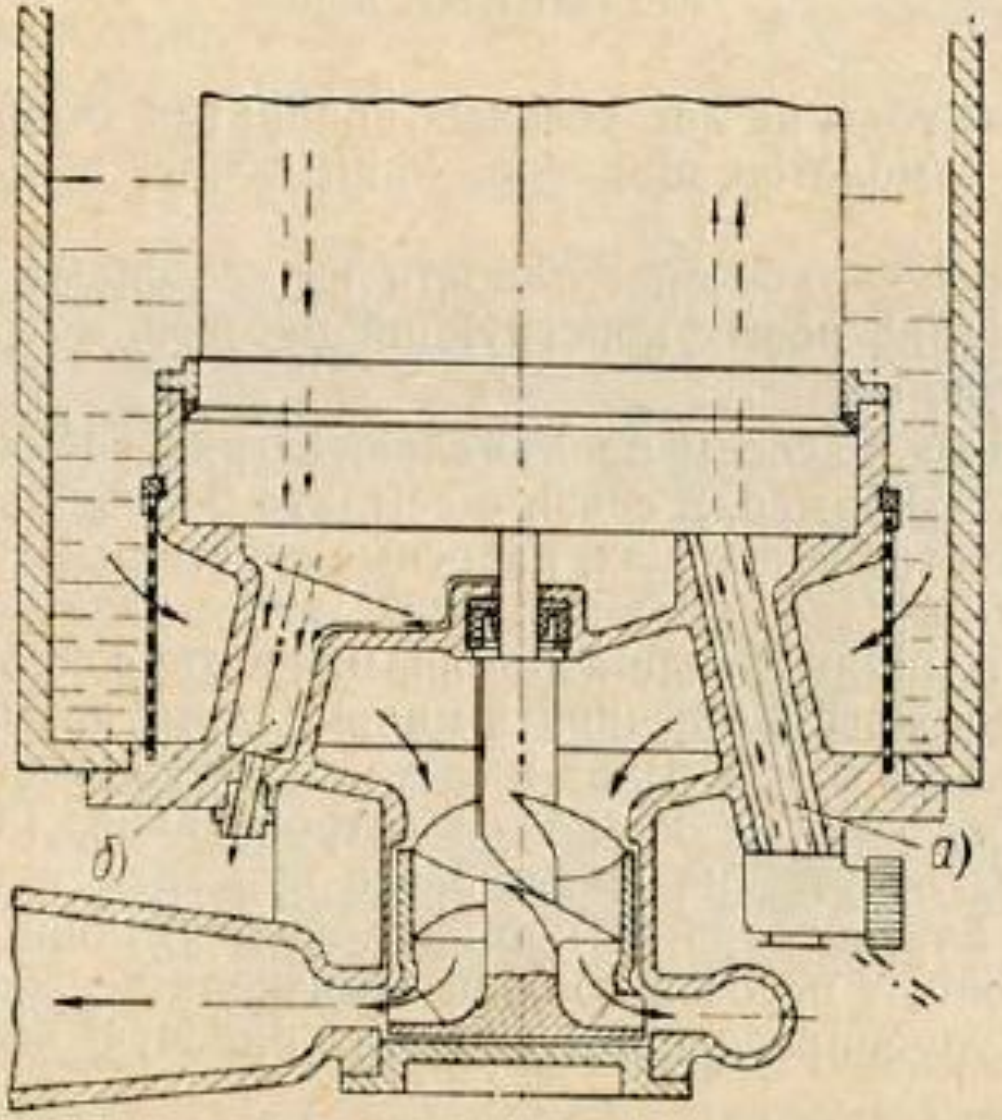


Рис. 4. 5. Внутрибаковый ЭЦН:

а—вентиляционный канал; *б*—дренажный канал

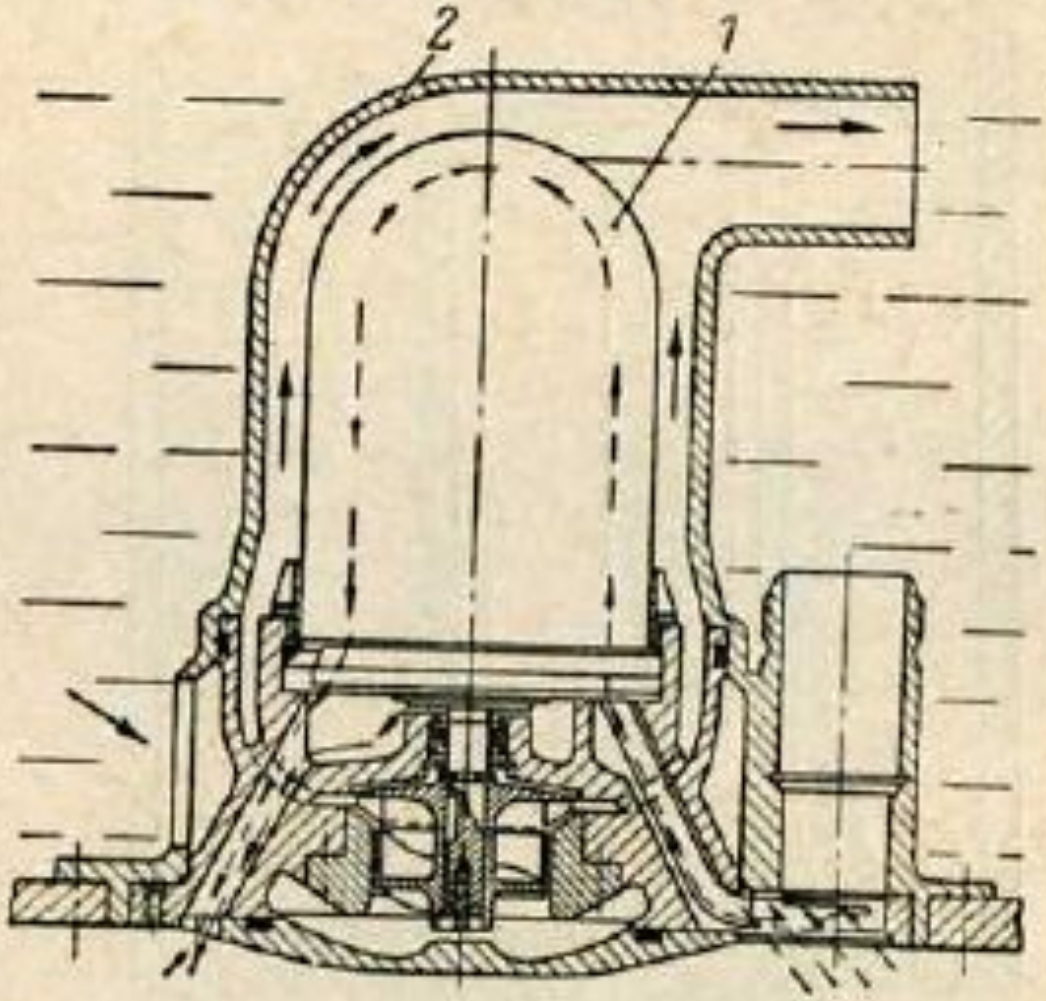


Рис. 4.6. Кессонный ЭЦН с верхним расположением рабочего колеса:

1—насосный агрегат; *2*—монтажное устройство

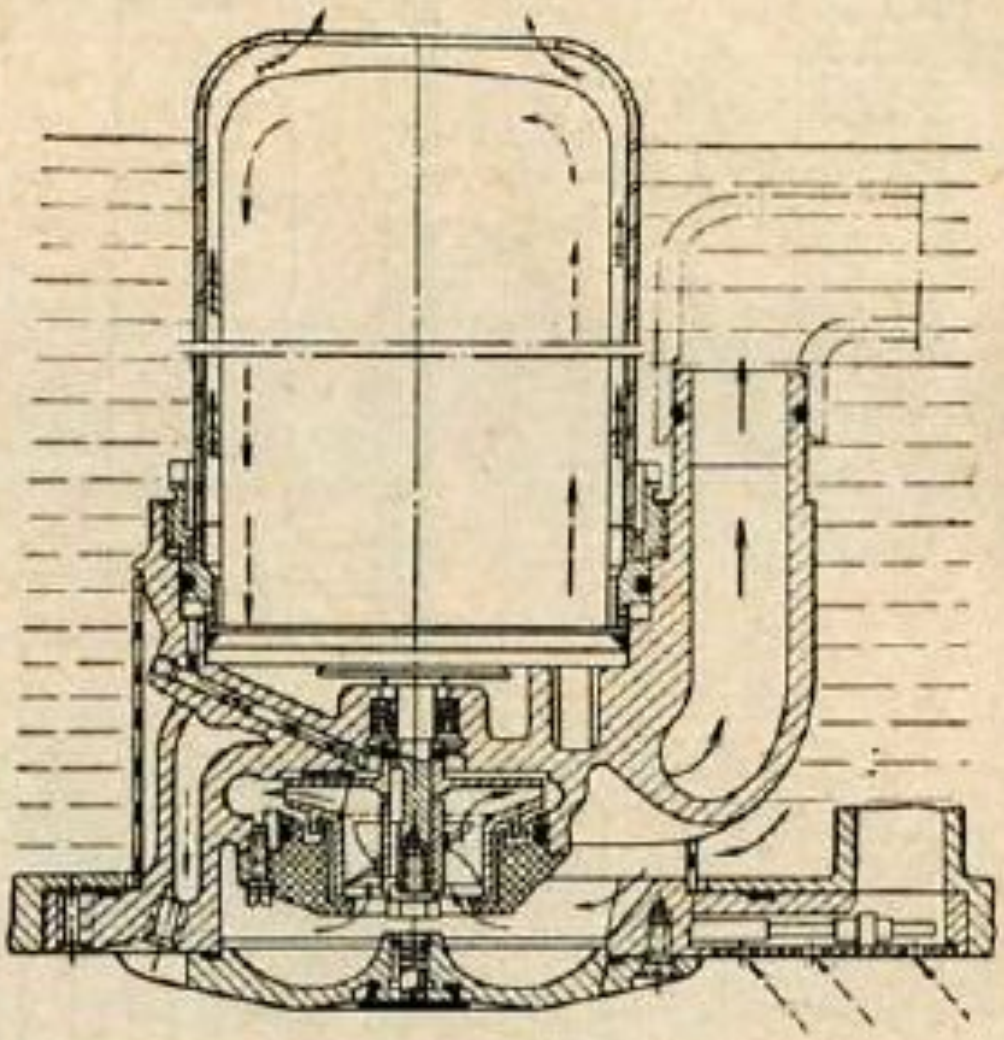
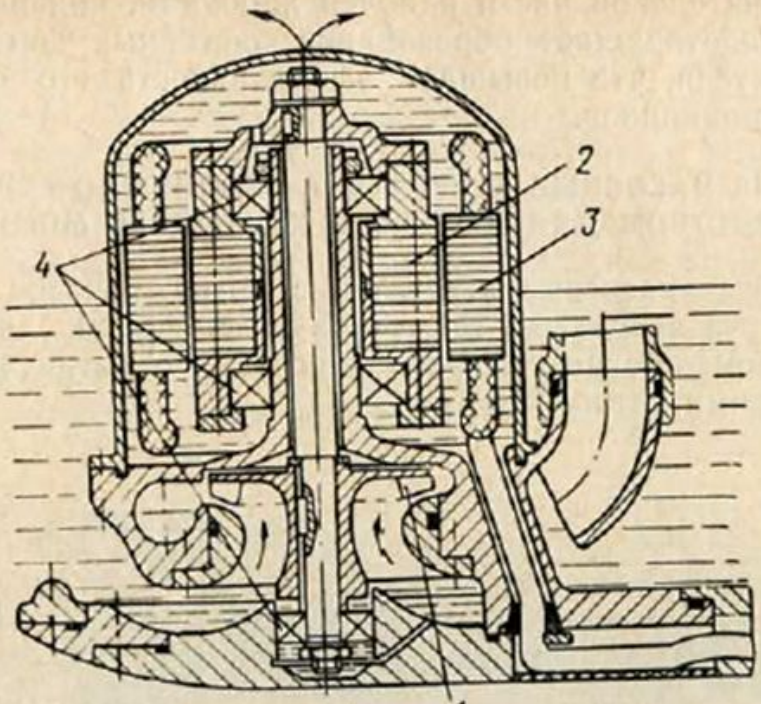


Рис. 4. 9. Кессонный ЭЦН для установки без монтажного устройства



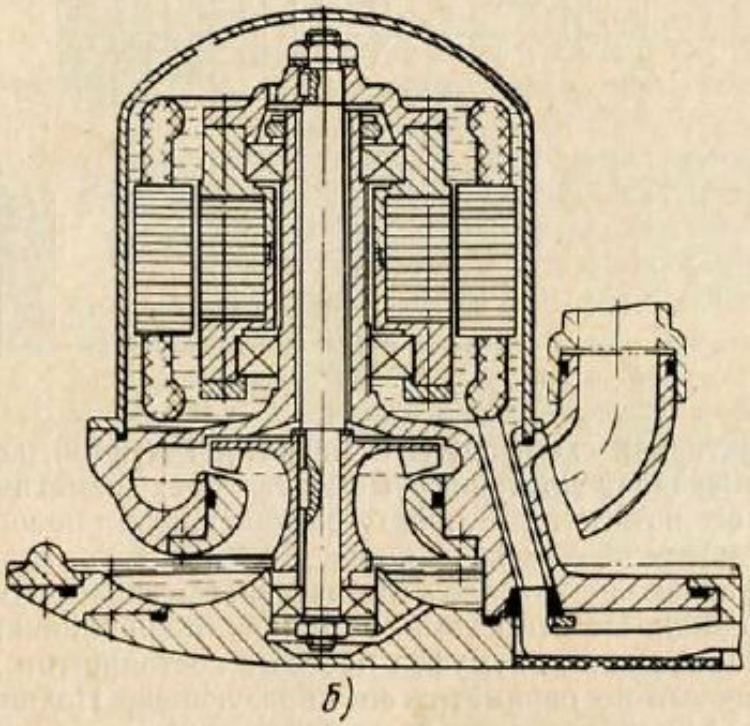


Рис. 5.2. Центробежный насос с электродвигателем мокрого типа:

а—положение рабочей жидкости в насосном агрегате при работе; *б*—положение рабочей жидкости в насосном агрегате на стоянке при опорожненном баке.
1—центробежное рабочее колесо; *2*—ротор; *3*—статор; *4*—подшипник

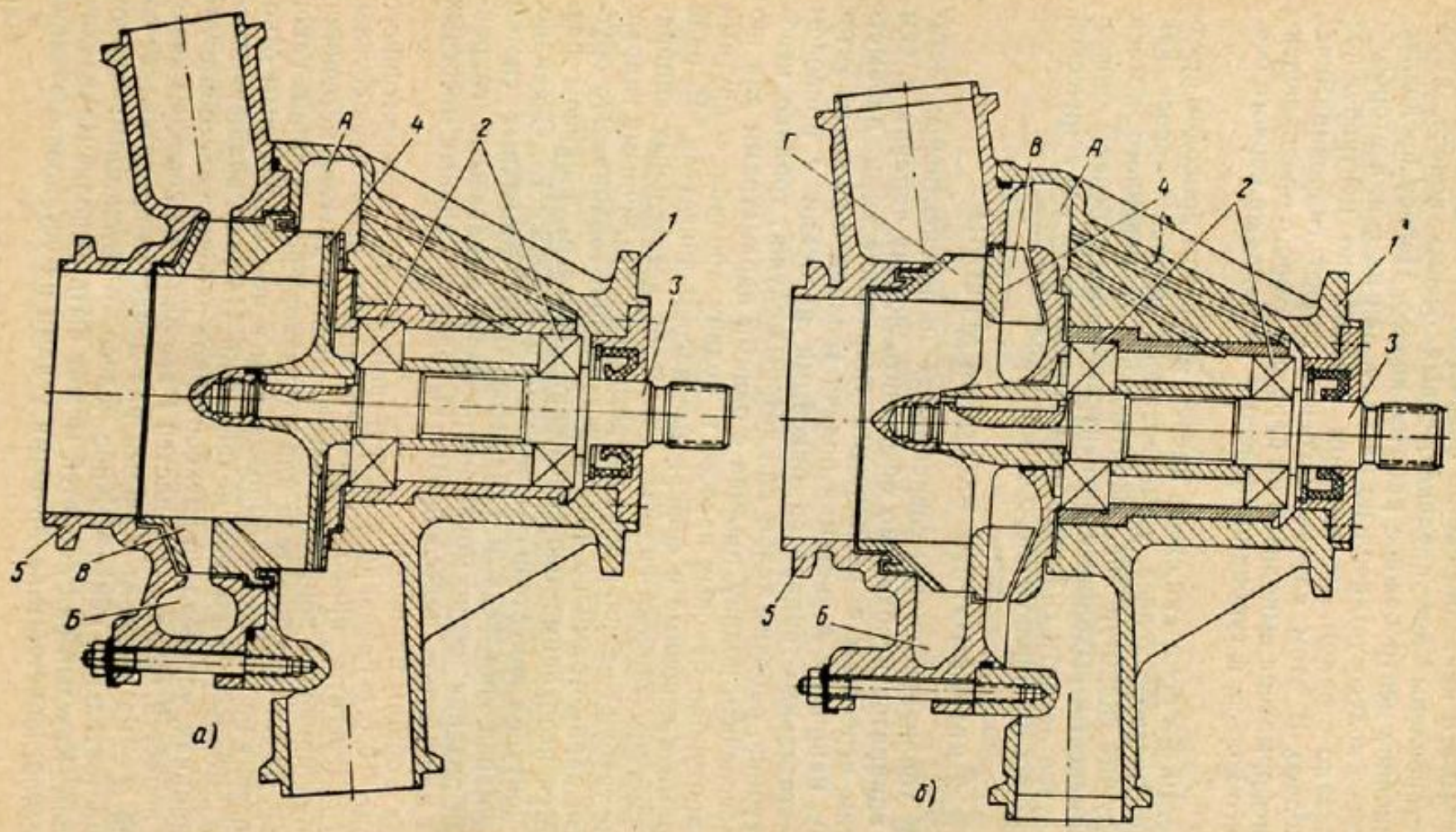


Рис. 10. 6. Двухконтурный центробежный насосный агрегат:

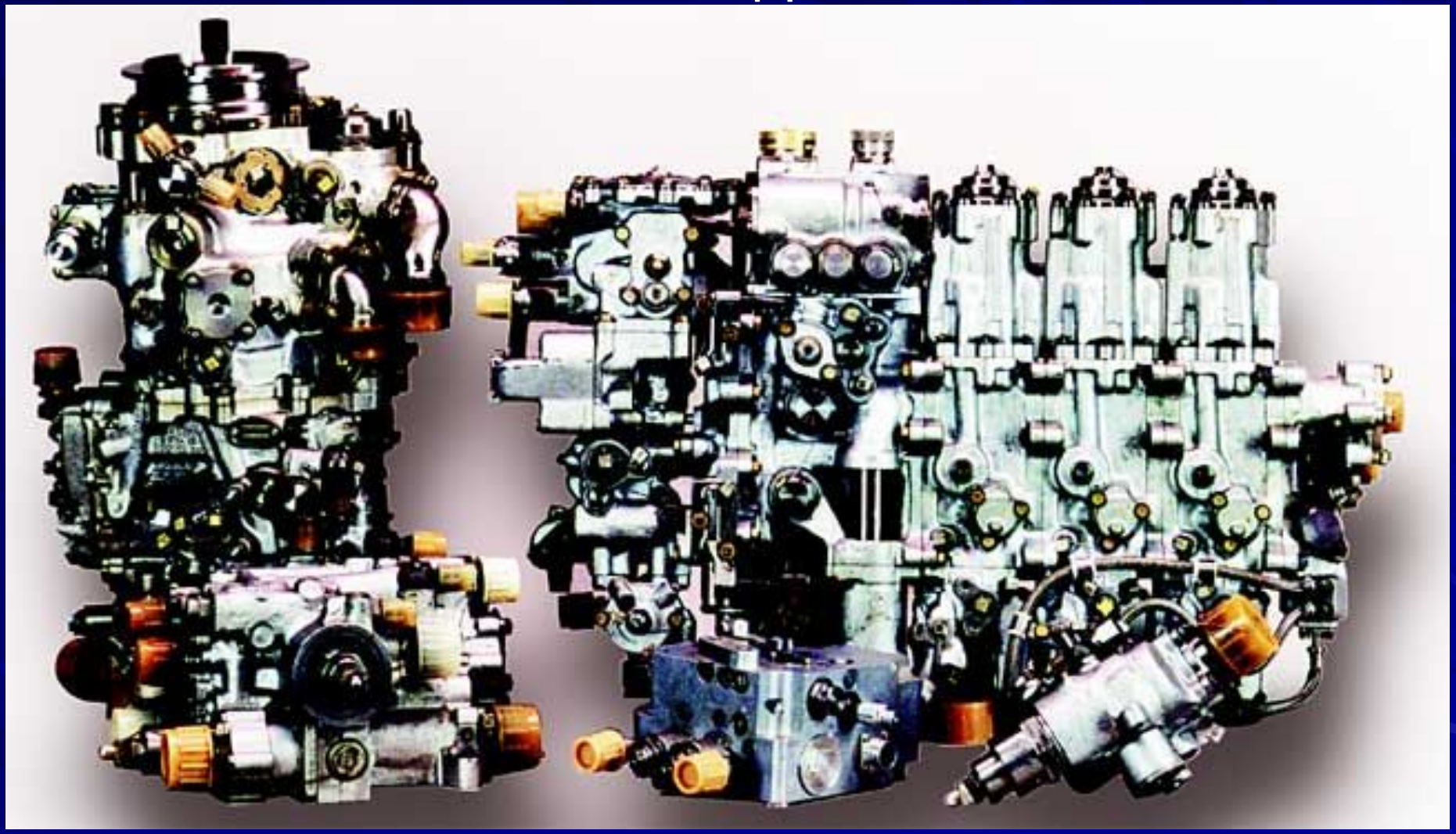
а—лопасти рабочих колес расположены по одну сторону от ведущего диска; *б*—лопасти рабочих колес расположены по обе стороны от ведущего диска. *1*—корпус; *2*—подшипники; *3*—вал; *4*—ведущий диск рабочих колес; *5*—крышка; *А* и *Б*—отводы; *В* и *Г*—лопасти

Насосы, устанавливаемые непосредственно на двигателе

1. Насос высокого давления (насос-регулятор НР)
2. Форсажный насос
3. Насос механизации компрессора
4. Насос привода регулируемого сопла

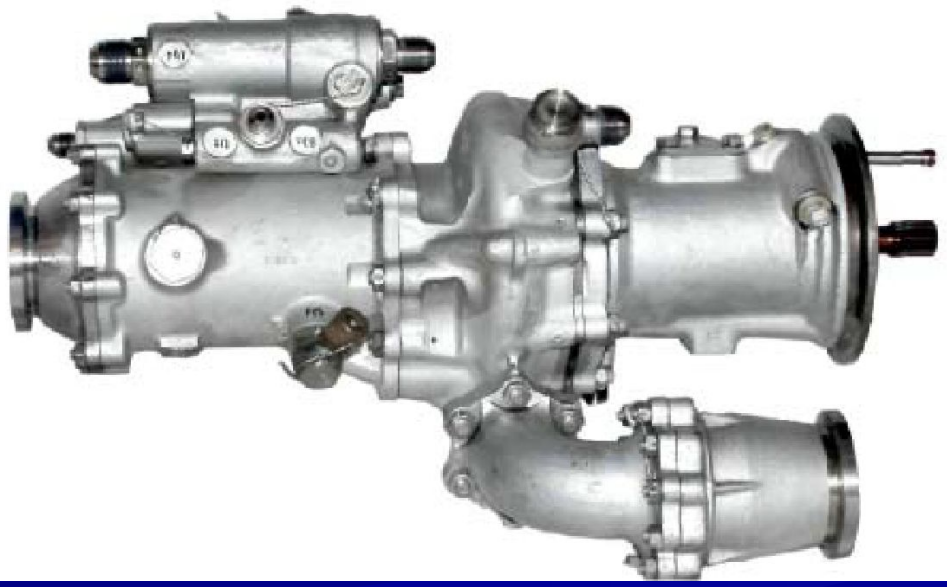
Все эти насосы, кроме (в некоторых случаях) форсажного, рассчитаны на высокое (более 100 кгс/см2) давление и выполняются плунжерными или шестеренными. Форсажный насос может быть сделан центробежным.

Насос-регулятор и блоки САУ современного ТРД



Насос привода сопла

Форсажный насос



Возможные направления развития авиационных ЦБН

1. Применение герметичных синхронных вентильных электродвигателей с электронной коммутацией со встроенным регулированием по частоте вращения и датчиками состояния агрегата (включая датчики вибродиагностики)
2. Повышение частот вращения роторов насосов для уменьшения их веса и габаритов
3. Более широкое использование в конструкции неметаллических материалов, в т.ч. и в корпусных деталях
4. Использование подшипников скольжения с высокой износостойкостью для повышения ресурса работы