

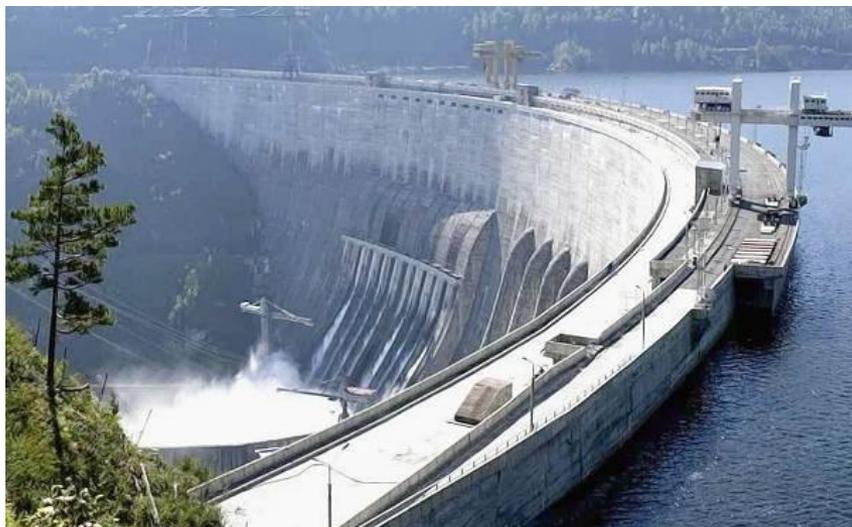


# АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ГЭС

# Гидроэлектростанции

---

- **Гидроэлектростанция (ГЭС)** — электростанция, в качестве источника энергии использующая энергию водного потока. Гидроэлектростанции обычно строят на реках, сооружая плотины и водохранилища.
- Для эффективного производства электроэнергии на ГЭС необходимы два основных фактора: гарантированная обеспеченность водой круглый год и возможно большие уклоны реки, благоприятствуют гидростроительству каньонобразные виды рельефа.



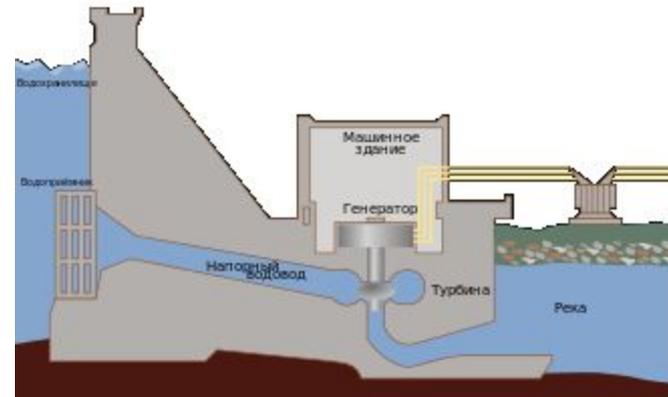
Саяно-Шушенская ГЭС, Енисей, 6,4  
ГВт



Ингульская ГЭС, Ингури, Грузия, 1,3  
ГВт

# Гидроэлектростанции

- Цепь гидротехнических сооружений обеспечивает необходимый напор воды, поступающей на лопасти гидротурбины, которая приводит в действие генераторы, вырабатывающие электроэнергию.
- Необходимый напор воды образуется посредством строительства плотины, и как следствие концентрации реки в определенном месте, или деривацией — естественным током воды. В некоторых случаях для получения необходимого напора воды используют совместно и плотину, и деривацию.
- Непосредственно в самом здании гидроэлектростанции располагается все энергетическое оборудование. В машинном зале расположены гидроагрегаты, непосредственно преобразующие энергию тока воды в электрическую энергию. Дополнительное оборудование включает устройства управления и контроля над работой ГЭС, трансформаторная станция, распределительные устройства и многое другое.



# Гидроэлектростанции

---

Гидроэлектрические станции разделяются в зависимости от вырабатываемой мощности:

- мощные — вырабатывают от 25 МВт и выше;
- средние — до 25 МВт;
- малые гидроэлектростанции — до 5 МВт.

Мощность ГЭС зависит от напора и расхода воды, а также от КПД используемых турбин и генераторов. Из-за того, что по природным законам уровень воды постоянно меняется, в зависимости от сезона, а также еще по ряду причин, в качестве выражения мощности гидроэлектрической станции принято брать цикличную мощность. Различают годичный, месячный, недельный или суточный циклы работы гидроэлектростанции.

Гидроэлектростанции также делятся в зависимости от максимального использования **напора воды**:

- высоконапорные — более 60 м;
  - средненапорные — от 25 м;
  - низконапорные — от 3 до 25 м.
- 



# Гидроэлектростанции

---

Гидроэлектрические станции также разделяются в зависимости от принципа использования природных ресурсов, и, соответственно, образующейся концентрации воды. Здесь можно выделить следующие ГЭС:

- ▣ **русловые и плотинные ГЭС.** Это наиболее распространенные виды гидроэлектрических станций. Напор воды в них создается посредством установки плотины, полностью перегораживающей реку, или поднимающей уровень воды в ней на необходимую отметку. Такие гидроэлектростанции строят на многоводных равнинных реках, а также на горных реках, в местах, где русло реки более узкое, сжатое.
- ▣ **приплотинные ГЭС.** Строятся при более высоких напорах воды. В этом случае река полностью перегораживается плотиной, а само здание ГЭС располагается за плотиной, в нижней её части. Вода, в этом случае, подводится к турбинам через специальные напорные тоннели, а не непосредственно, как в русловых ГЭС.



# Гидроэлектростанции

---

Большинство крупных гидроузлов мира приплотинные, в том числе крупнейшие в мире ГЭС «Три ущелья» и Итайпу, крупнейшие ГЭС Сибири - Братская, Усть-Илимская, Красноярская, Саяно-Шушенская.

Силовое здание приплотинной ГЭС располагается в нижнем бьефе, непосредственно за плотиной. Водопроводящими сооружениями являются турбинные трубопроводы, проходящие в теле плотины (Мамаканская, Братская, Усть-Илимская, Токтогульская ГЭС), либо смонтированные на низовой грани плотины (Красноярская, Саяно-Шушенская, Чиркенская ГЭС).



«Три ущелья», Янцзы, Китай, 18,2 ГВт



Итайпу, Парана, Бразилия, Парагвай, 14ГВт



# Гидроэлектростанции

- ▣ **деривационные гидроэлектростанции.** Такие электростанции строят в тех местах, где велик уклон реки. Необходимая концентрация воды в ГЭС такого типа создается посредством деривации. Вода отводится из речного русла через специальные водоотводы. Последние — спрямлены, и их уклон значительно меньший, нежели средний уклон реки. В итоге вода подводится непосредственно к зданию ГЭС. Деривационные ГЭС могут быть разного вида — безнапорные или с напорной деривацией. В случае с напорной деривацией, водовод прокладывается с большим продольным уклоном. В другом случае в начале деривации на реке создается более высокая плотина, и создается водохранилище — такая схема еще называется смешанной деривацией, так как используются оба метода создания необходимой концентрации воды.



<http://dedmaxopka.livejournal.com/61309.html>

# Гидроэлектростанции

---

- ▣ **гидроаккумулирующие электростанции.** Такие ГАЭС способны аккумулировать вырабатываемую электроэнергию и пускать её в ход в моменты пиковых нагрузок. Принцип работы таких электростанций следующий: в определенные периоды (не пиковой нагрузки), агрегаты ГАЭС работают как насосы от внешних источников энергии и закачивают воду в специально оборудованные верхние бассейны. Когда возникает потребность, вода из них поступает в напорный трубопровод и приводит в действие турбины.



Таум Sauk, Миссури, США, 440 МВт, 240 м



Загорская ГАЭС, Кунья, Московская обл,

1200т/1320н МВт, 100/105 м

---

# Гидроэлектростанции

---

ГАЭС использует в своей работе либо комплекс генераторов и насосов, либо обратимые гидроэлектроагрегаты, которые способны работать как в режиме генераторов, так и в режиме насосов. Во время ночного провала энергопотребления ГАЭС получает из энергосети дешёвую электроэнергию и расходует её на перекачку воды в верхний бьеф (насосный режим). Во время утреннего и вечернего пиков энергопотребления ГАЭС сбрасывает воду из верхнего бьефа в нижний, вырабатывает при этом дорогую пиковую электроэнергию, которую отдаёт в энергосеть (генераторный режим).

В крупных энергосистемах большую долю могут составлять мощности тепловых и атомных электростанций, которые не могут быстро снижать выработку электроэнергии при ночном снижении энергопотребления или же делают это с большими потерями. Этот факт приводит к установлению существенно большей коммерческой стоимости пиковой электроэнергии в энергосистеме, по сравнению со стоимостью электроэнергии, вырабатываемой в ночной период. В таких условиях использование ГАЭС экономически эффективно и повышает как эффективность использования других мощностей (в том числе и транспортных), так и надёжность энергоснабжения.

---



# Гидроэлектростанции

---

## Особенности ГЭС

- Себестоимость электроэнергии на российских ГЭС более чем в два раза ниже, чем на тепловых электростанциях.
- Турбины ГЭС допускают работу во всех режимах от нулевой до максимальной мощности и позволяют плавно изменять мощность при необходимости, выступая в качестве регулятора выработки электроэнергии.
- Сток реки является возобновляемым источником энергии.
- Строительство ГЭС обычно более капиталоемкое, чем тепловых станций.
- Часто эффективные ГЭС более удалены от потребителей, чем тепловые станции.
- Водохранилища часто занимают значительные территории, но примерно с 1963 г. начали использоваться защитные сооружения (Киевская ГЭС), которые ограничивали площадь водохранилища, и, как следствие, ограничивали площадь затопляемой поверхности (поля, луга, поселки).
- Плотины зачастую изменяют характер рыбного хозяйства, поскольку перекрывают путь к нерестилищам проходным рыбам, однако часто благоприятствуют увеличению запасов рыбы в самом водохранилище и осуществлению рыбоводства.
- Водохранилища ГЭС, с одной стороны, улучшают судоходство, но с другой — требуют применения шлюзов для перевода судов с одного бьефа на другой.
- Водохранилища делают климат более умеренным.



# Гидроэлектростанции

---

## Преимущества:

- использование возобновляемой энергии;
- очень дешевая электроэнергия;
- работа не сопровождается вредными выбросами в атмосферу;
- быстрый (относительно ТЭЦ/ТЭС) выход на режим выдачи рабочей мощности после включения станции.

## Недостатки:

- затопление пахотных земель;
- строительство ведется только там, где есть большие запасы энергии воды;
- горные реки опасны из-за высокой сейсмичности районов;
- экологические проблемы: сокращенные и нерегулируемые попуски воды из водохранилищ по 10-15 дней (вплоть до их отсутствия), приводят к перестройке уникальных пойменных экосистем по всему руслу рек, как следствие, загрязнение рек, сокращение трофических цепей, снижение численности рыб, элиминация беспозвоночных водных животных, повышение агрессивности компонентов гноса (мошки) из-за недоедания на личиночных стадиях, исчезновение мест гнездования многих видов перелетных птиц, недостаточное увлажнение пойменной почвы, негативные растительные сукцессии (обеднение фитомассы), сокращение потока биогенных веществ в океаны.



# Гидроэлектростанции

---

## Крупнейшие аварии и происшествия на ГЭС:

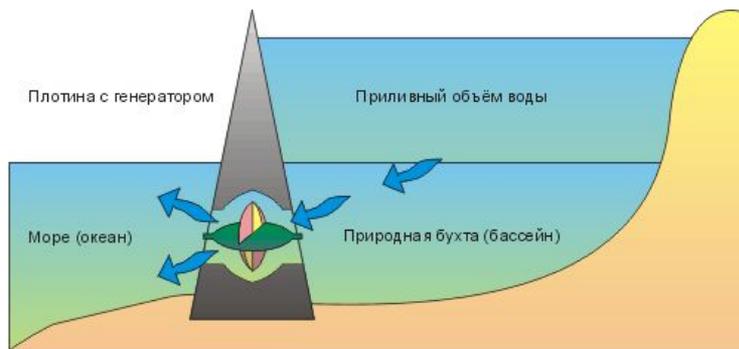
- Крупнейшей аварией за всю историю ГЭС является прорыв плотины китайского водохранилища Баньцяо на реке Жухэ в провинции Хэнань в результате тайфуна Нина 1975 года. Число погибших более 170 000 человек, пострадало 11 млн.
  - 17 мая 1943 года — операция британских войск по подрыву плотин на реках Мёне (водохранилище Мёнезее) и Эдер (водохранилище Эдерзее), повлекшие за собой гибель 1268 человек, в том числе около 700 советских военнопленных.
  - 9 октября 1963 года — одна из крупнейших гидротехнических аварий на плотине Вайонт в северной Италии.
  - В ночь на 11 февраля 2005 года в провинции Белуджистан на юго-западе Пакистана из-за мощных ливней произошел прорыв 150-метровой плотины ГЭС у города Пасни. В результате было затоплено несколько деревень, более 135 человек погибли.
  - 5 октября 2007 года на реке Чу во вьетнамской провинции Тханьхоа после резкого подъема уровня воды прорвало плотину строящейся ГЭС Кыадат. В зоне затопления оказалось около 5 тысяч домов, 35 человек погибли.
  - 17 августа 2009 года — крупная авария на Саяно-Шушенской ГЭС (Саяно-Шушенская ГЭС — самая мощная электростанция России). В результате аварии погибло 75 человек, оборудованию и помещениям станции был нанесён серьёзный ущерб.
- 



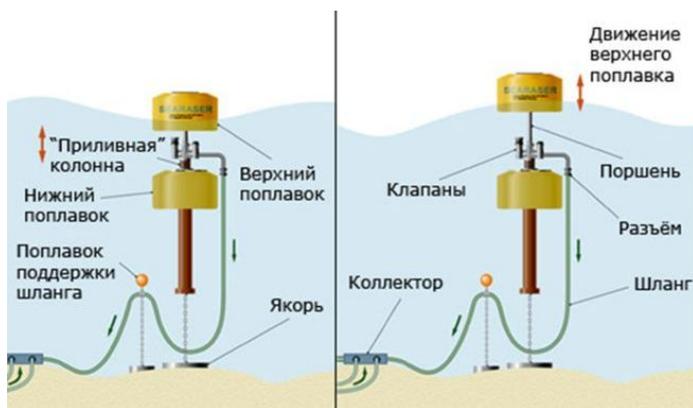
# Гидроэлектростанции

В строгом смысле к гидроэлектростанциям относятся также

- приливные электростанции;



- волновые электростанции.



# Гидроэлектростанции

---

## Приливные электростанции

Под действием гравитационных сил притяжения со стороны Луны и Солнца уровень воды в Мировом океане меняется дважды в сутки, поэтому у побережья каждый день возникают приливы и отливы. Они перемещают огромное количество воды, поэтому её механическую энергию вполне можно преобразовывать в электрическую энергию.

Для получения энергии за счёт колебаний уровня воды строят плотинные ГЭС (гидроэлектростанции с плотинами). Они работают при высоком приливе – не менее пяти метров. Поэтому подходящих бухт (природных бассейнов) для такого строительства в мире немного. Сооружается плотина, отделяющая от моря или океана необходимый бассейн. В отверстии плотины устанавливается электрогенератор, который в целях большей эффективности работы электростанции делают «обратимым». То есть он может вырабатывать электроэнергию при протекании через него воды в обе стороны.

---



# Гидроэлектростанции

---

Приливная плотина длиной 750 метров была построена в Бретани (Франция) еще в 1967 году и с тех пор работает без перебоев. Её мощность составляет 240 МВт. Этого достаточно для обеспечения электроэнергией современного европейского города с населением 62 тысячи жителей.

В нашей стране в 1968 г. на побережье Баренцева моря близ г. Мурманска была построена Кислогубская приливная электростанция мощностью 800 кВт. В 2009 году её мощность составляла уже 1,7 МВт.



# Гидроэлектростанции

---

Сихвинская ПЭС - крупнейшая в мире на настоящий момент приливная электростанция, расположенная в искусственном заливе Сихва-Хо на северо-западном побережье Южной Кореи. Электростанция обладает установленной мощностью 254 МВт и была запущена в августе 2011 года



# Гидроэлектростанции

---

В последнее время на смену плотинным ГЭС пришли подводные, состоящие из большого числа подводных гидроагрегатов, для которых необходимая скорость потока воды – всего 7-10 км/ч. Такие гидроагрегаты экономичнее, так как их можно устанавливать непосредственно в открытом море без постройки дорогостоящих плотин, изменяющих природную экосистему в районе постройки, а также препятствующих судоходству.

Первый в мире подводный гидроагрегат в открытом море установлен к юго-востоку от Белфаста (Северная Ирландия) в морском озере-заливе Стренгфорд-Лох. Мощность этой электростанции – 1,2 мегаватта. В нашей стране первая такая электростанция (Пенжинская) мощностью 5 МВт была построена на Камчатке.



# Гидроэлектростанции

---

**Волновая электростанция** — установка, расположенная в водной среде, целью которой является получение электричества из кинетической энергии волн.

Первая волновая электростанция расположена в районе Агусадора, Португалия,<sup>1</sup> на расстоянии 5 километров от берега. Была официально открыта 23 сентября 2008 года. Мощность данной электростанции составляет 2,25 МВт, этого хватает для обеспечения электроэнергией примерно 1600 домов. Проект электростанции принадлежит шотландской компании Pelamis Wave Power. Стоимость контракта составила 8 миллионов евро.

Электростанция состоит из 3-х устройств под названием Pelamis P-750. Это большие плавающие объекты змеевидного типа, размер каждого:

- длиной 120 метров,
- диаметр 3,5 метра,
- вес 750 тонн.

Мощность одного такого конвертера составляет 750 кВт. Удельные характеристики: мощность 1 кВт/тонну и 650 Вт на куб. м конструкции. В электричество превращается примерно 1% энергии волнения.

---



# Гидроэлектростанции

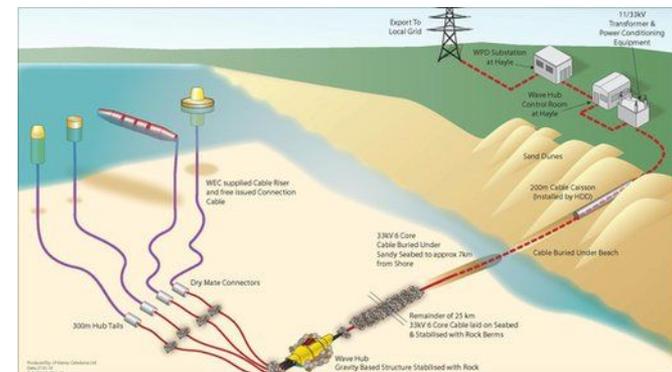
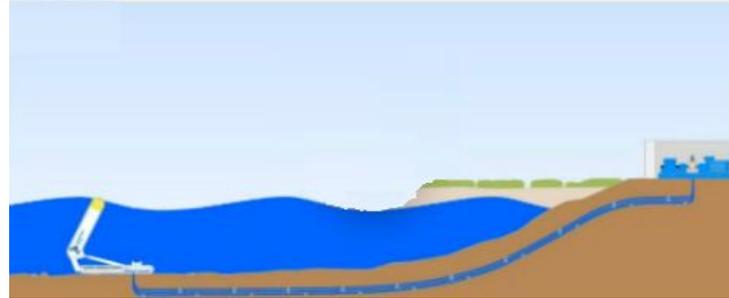
---

Relamis P-750 состоит из секций, между секциями закреплены гидравлические поршни. Внутри каждой секции также есть гидравлические двигатели и электрогенераторы. Под воздействием волн конвертеры качаются на поверхности воды, и это заставляет их изгибаться. Движение этих соединений приводит в работу гидравлические поршни, которые, в свою очередь, приводят в движение масло. Масло проходит через гидравлические двигатели. Эти гидравлические двигатели приводят в движение электрические генераторы, которые производят электроэнергию.



# Гидроэлектростанции

- В 2009 году на Оркнейских островах была введена в эксплуатацию волновая электростанция.
- В Великобритании строится волновая электростанция Wave Hub мощностью в 20 МВт.
- В 2013 году в России разворачивается производство малых серийных волновых генераторов Ocean RusEnergy (модули до 3 кВт)



# Крупнейшие гидроэлектростанции России



# Крупнейшие ГЭС России

Наименование	Мощность, ГВт	Среднегодовая выработка, млрд кВт·ч	География
Красноярская ГЭС	6,00	20,40	р. Енисей, г. Дивногорск
Саяно-Шушенская ГЭС	5,12 (6,40)	23,50	р. Енисей, г. Саяногорск
Братская ГЭС	4,52	22,60	р. Ангара, г. Братск
Усть-Илимская ГЭС	3,84	21,70	р. Ангара, г. Усть-Илимск
Богучанская ГЭС	3,00	17,60	р. Ангара, г. Кодинск
Волжская ГЭС	2,59	11,63	р. Волга, г. Волжский
Жигулёвская ГЭС	2,34	10,34	р. Волга, г. Жигулевск
Бурейская ГЭС	2,01	7,10	р. Бурея, пос. Талакан
Чебоксарская ГЭС	1,40	3,50	р. Волга, г. Новочебоксарск
Саратовская ГЭС	1,36	5,7	р. Волга, г. Балаково
Зейская ГЭС	1,33	4,91	р. Зея, г. Зея
Нижнекамская ГЭС	1,25	2,67	р. Кама, г. Набережные Челны
Загорская ГАЭС	1,20	1,95	р. Кунья, пос. Богородское
Воткинская ГЭС	1,02	2,28	р. Кама, г. Чайковский
Чиркейская ГЭС	1,00	1,74	р. Сулак, п. Дубки

# Гидравлические турбины

---

В зависимости от напора воды, в гидроэлектростанциях применяются различные виды турбин.

Для высоконапорных — *ковшовые* и *радиально-осевые* турбины с металлическими спиральными камерами.

На средненапорных ГЭС устанавливаются *поворотнлопастные* и *радиально-осевые* турбины.

На низконапорных — *поворотнлопастные* турбины в железобетонных камерах.

Принцип работы всех видов турбин схож — вода, находящаяся под давлением (напор воды) поступает на лопасти турбины, которые начинают вращаться. Механическая энергия, таким образом, передается на гидрогенератор, который и вырабатывает электроэнергию. Турбины отличаются некоторыми техническими характеристиками, а также камерами — стальными или железобетонными, и рассчитаны на различный напор воды.

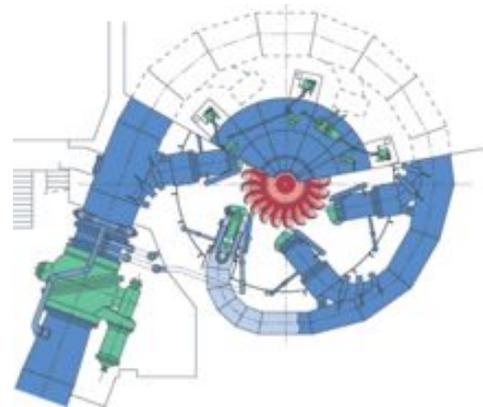
---



# Гидравлические турбины

**Ковшовая турбина** (струйно-ковшовая турбина) — активная гидравлическая турбина, используемая при очень больших напорах. Широко известна также как «турбина Пелтона» в честь американского изобретателя Лестера А. Пелтона (Lester Allan Pelton).

Ковшовые турбины конструктивно сильно отличаются от наиболее распространенных реактивных гидротурбин (радиально-осевых, поворотно-лопастных), у которых рабочее колесо находится в потоке воды. В ковшовых турбинах вода подается через сопла по касательной к окружности, проходящей через середину ковша. При этом вода, проходя через сопло, формирует струю, летящую с большой скоростью и ударяющую о лопатку турбины, после чего колесо проворачивается, совершая работу.



# Гидравлические турбины

---

После отклонения одной лопатки под струю подставляется другая. Процесс использования энергии струи происходит при атмосферном давлении, а производство энергии осуществляется только за счет кинетической энергии воды. Лопатки турбины имеют двояковогнутую форму с острым лезвием посередине; задача лезвия — разделять струю воды с целью лучшего использования энергии и предотвращения быстрого разрушения лопаток. На рабочем колесе может быть установлено до 40 лопаток.

Рабочее колесо с лопатками может быть установлено как на горизонтальном, так и на вертикальном валу. При горизонтальном расположении вала, к каждому рабочему колесу может подводиться до двух форсунок; поскольку пропускная способность каждой форсунки ограничена, при больших расходах воды применяют установку на одном валу двух рабочих колес либо используют вертикальную турбину. К последней может подводиться до шести форсунок. Скорость потока воды из форсунок зависит от напора и может достигать значительных величин, порядка 500—600 км/ч. Скорость вращения турбины также весьма велика, до 3000 об.мин.

---



# Гидравлические турбины

---

Ковшовые гидротурбины применяются при напорах более 200 метров (чаще всего 300—500 метров и более), при расходах до 100 м<sup>3</sup>/с. Мощность наиболее крупных ковшовых турбин может достигать 200—250 МВт и более. При напорах до 700 метров ковшовые турбины конкурируют с радиально-осевыми, при больших напорах их использование безальтернативно.

Как правило, ГЭС с ковшовыми турбинами построены по деривационной схеме, поскольку получить столь значительные напоры при помощи плотины проблематично.

Ковшовые турбины очень часто применяются на малых ГЭС, сооружаемых на небольших реках с большими падениями в горных районах.

Преимуществами ковшовых турбин является возможность использования очень больших напоров, а также небольших расходов воды. Недостатки турбины — неэффективность при небольших напорах, невозможность использования как насоса, высокие требования к качеству подаваемой воды (различные включения, такие как песок, вызывают быстрый износ турбины).

---



# Гидравлические турбины

---

Крупнейшие в мире ковшовые турбины установлены на швейцарской ГЭС Vieudron, их мощность составляет 423 МВт. Эта же ГЭС является мировым рекордсменом по напору на гидроагрегатах, составляющему 1 869 м.

В практике российского гидроэнергостроительства ковшовые турбины пока не нашли широкого применения по причине существовавшей ориентации на строительство преимущественно низко- и средненапорных ГЭС. В настоящее время, построены пять малых ГЭС с ковшовыми турбинами, ещё одна крупная и одна малая ГЭС находятся в стадии строительства.

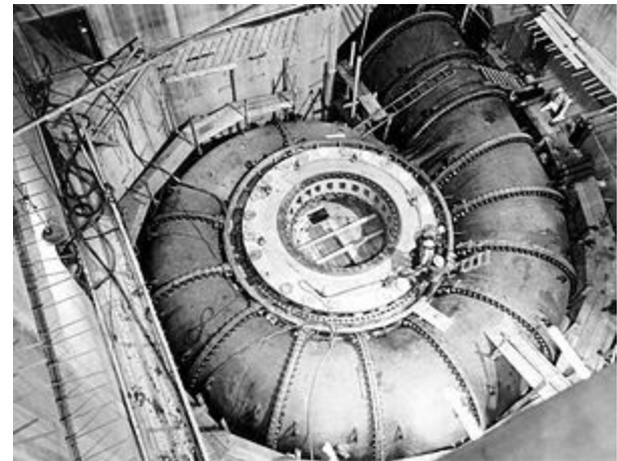
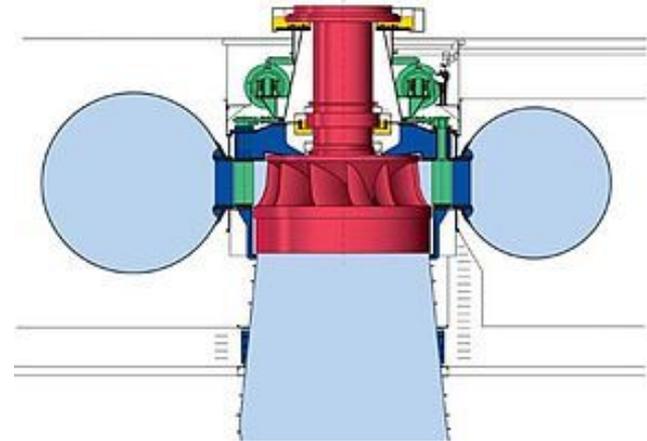
- Гизельдонская ГЭС. Крупнейшая действующая ГЭС в России с ковшовыми гидроагрегатами. Пущена на реке Гизельдон в 1934 году, одна из старейших ГЭС России. Мощность ГЭС — 22,94 МВт, в здании станции установлено четыре горизонтальных гидроагрегата, работающих при напоре 289 м.
- Зарамагская ГЭС-1. Станция расположена на реке Ардон в Северной Осетии, находится в стадии строительства с 1976 года, окончание строительства намечено на 2018 год. Планируемая мощность ГЭС — 342 МВт, в здании станции должны быть установлены 2 гидроагрегата, работающих при напоре 619 м. Гидротурбины станции будут одними из крупнейших этого типа в мире.



# Гидравлические турбины

**Радиально-осевая турбина (турбина Френсиса)** — реактивная турбина. В рабочем колесе турбин данного типа поток сначала движется радиально (от периферии к центру), а затем в осевом направлении (на выход). Применяют при напорах до 600 м. Мощность до 640 МВт.

Основным преимуществом турбин данного типа является самый высокий оптимальный КПД из всех существующих типов. Недостаток — менее пологая рабочая характеристика, чем у поворотно-лопастной гидротурбины.



# Гидравлические турбины

---

Ротором турбины является рабочее колесо, соединенное с валом турбины.

Рабочее колесо, как правило, состоит из ступицы, комплекта лопастей и обода. Ступица колеса соединяется с валом турбины. Все детали колеса соединены между собой неподвижно, — это обеспечивает ему хорошие прочностные свойства. Колесо является рабочим органом турбины, преобразующим энергию потока в механическую.

Статором является несущий элемент проточной части турбины, содержащий профилированные колонны, которые придают необходимое направление потоку воды. Также в статор входит направляющий аппарат. Направляющий аппарат турбины является рабочим органом, изменяющим закрутку потока и регулирующим расход турбины за счет поворота лопаток.

Снаружи к статору подсоединяется спиральная камера, которая предназначена для подвода воды к направляющему аппарату турбины. Особая форма камеры с уменьшающимися сечениями служит для равномерного распределения потока по всей окружности статора.

Отвод воды от рабочего колеса осуществляется через отсасывающую трубу.

---

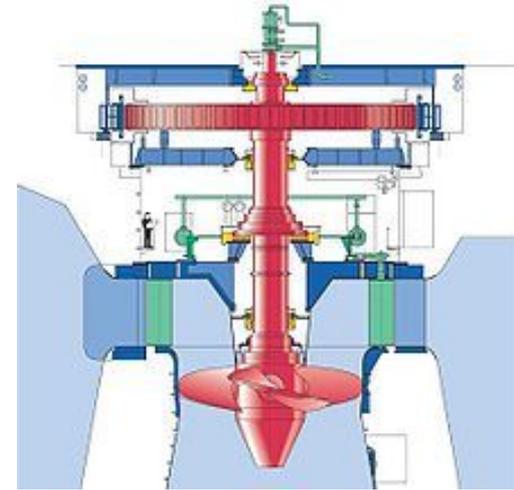


# Гидравлические турбины

## Поворотно-лопастная турбина, турбина Каплана —

реактивная турбина, лопасти которой могут поворачиваться вокруг своей оси одновременно, за счёт чего регулируется её мощность. Также мощность может регулироваться с помощью лопаток направляющего аппарата.

Поток воды в поворотной турбине движется вдоль её оси. Ось турбины может располагаться как вертикально, так и горизонтально. При вертикальном расположении оси поток перед поступлением в рабочую камеру турбины закручивается в спиральной камере, а затем спрямляется с помощью обтекателя. Это необходимо для равномерной подачи воды на лопасти турбины, а значит, уменьшения её износа.



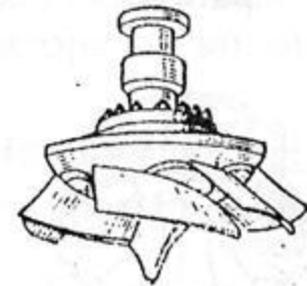
# Гидравлические турбины

---

**Диагональные турбины** разработаны сравнительно недавно. Их КПД на 1,5-2 % выше, чем у осевых. Рабочее колесо состоит из конусообразного корпуса с консольно прикрепленными к нему поворотными лопастями. Угол наклона оси поворота лопастей к вертикали находится в пределах от 30 до 60 и с увеличением напора уменьшается. Внутри корпуса рабочего колеса располагается механизм разворота лопастей. Вследствие наклонного расположения осей поворотных лопастей к оси турбины ее проточный тракт получается как бы спрямленным по сравнению с обычной вертикальной машиной. Диагональные турбины применяются при напорах от 40 до 220 м.



Турбина Зейская  
ГЭС

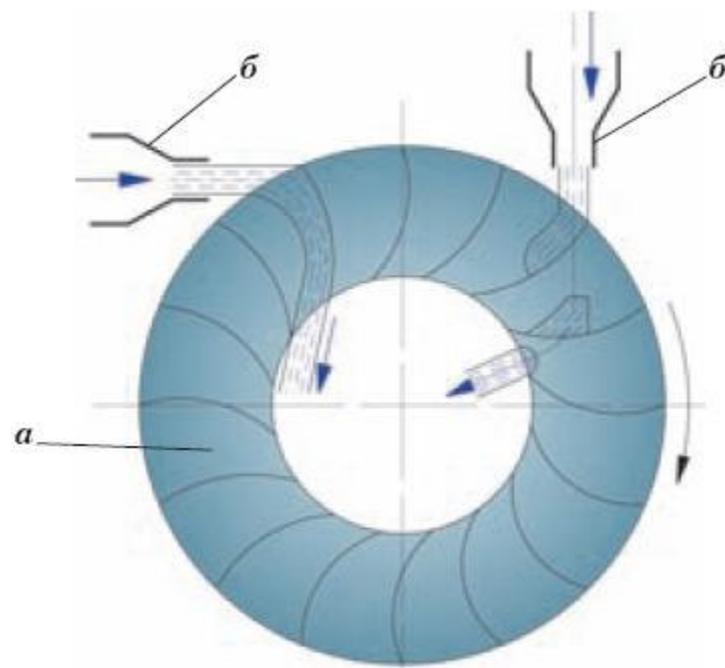


# Гидравлические турбины

---

## Регулирование мощности турбины

В активных гидротурбинах вода к рабочему колесу может подаваться через одно или несколько сопел либо сразу через все сопла (кольцевой струёй). Соответственно в первом случае работает только одна или несколько лопастей, а во втором – одновременно все лопасти рабочего колеса. Мощность активной гидротурбины регулируют либо за счёт изменения числа открытых сопел, т. е. числа работающих лопастей, либо за счёт изменения площади выходного сечения сопел (всех одновременно).

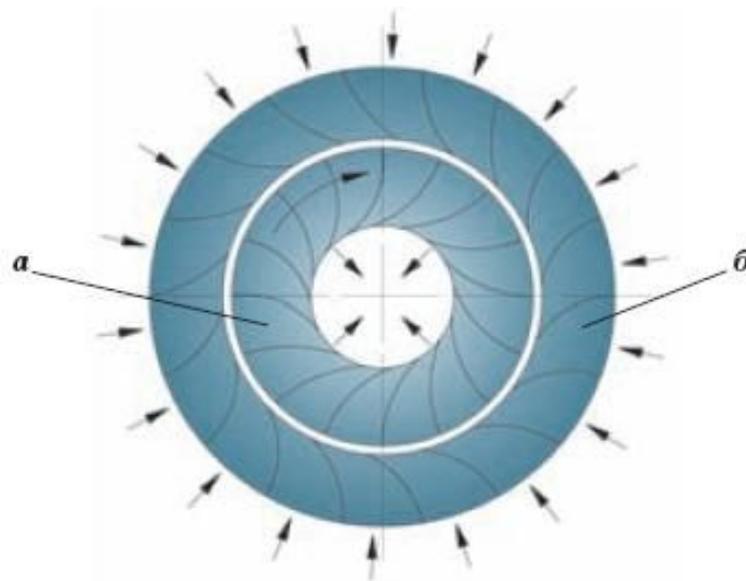


# Гидравлические турбины

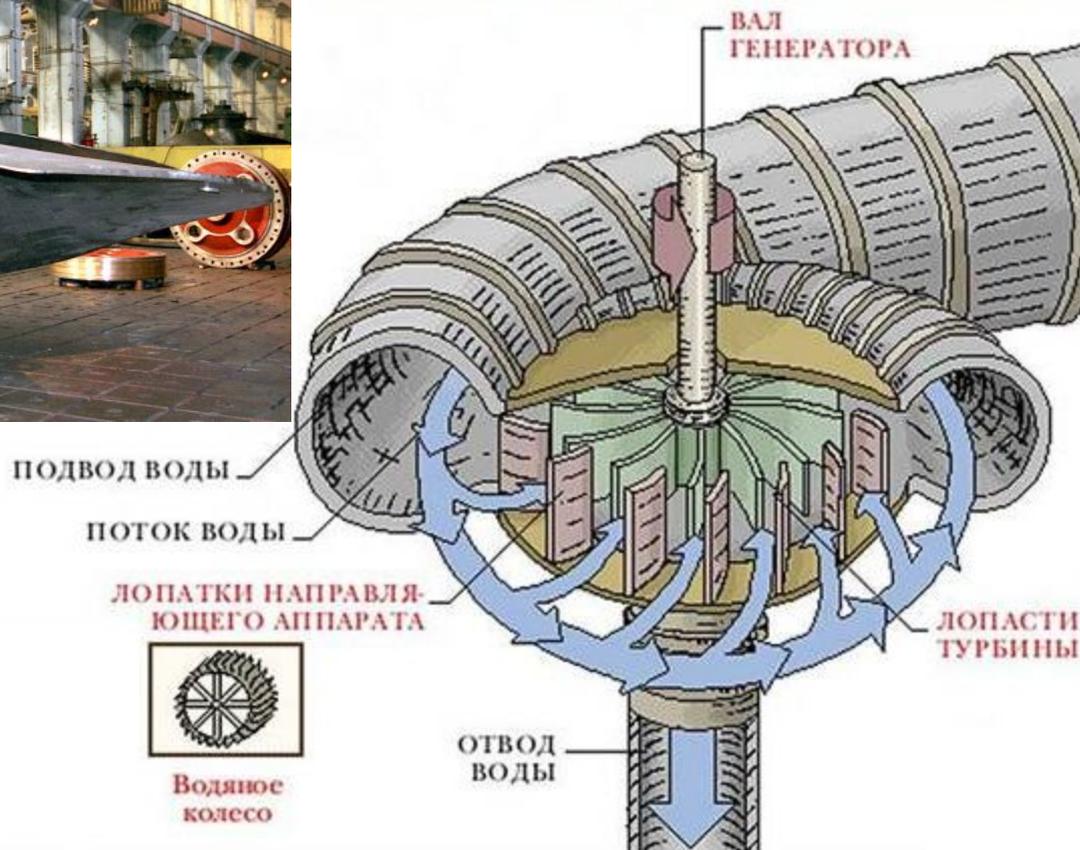
---

## Регулирование мощности турбины

Мощность, развиваемую реактивной гидротурбиной, можно регулировать путём изменения угла поворота лопастей рабочего колеса (у поворотно-лопастных турбин) или лопаток направляющего аппарата (гидротурбины одинарного регулирования), либо тем и другим способом одновременно (гидротурбины двойного регулирования).



# Гидравлические турбины



# Гидрогенератор

---

Обычно гидрогенератор представляет собой синхронную явнополюсную электрическую машину вертикального исполнения, приводимую во вращение от гидротурбины, хотя существуют и гидрогенераторы горизонтального исполнения (в том числе капсульные гидрогенераторы).

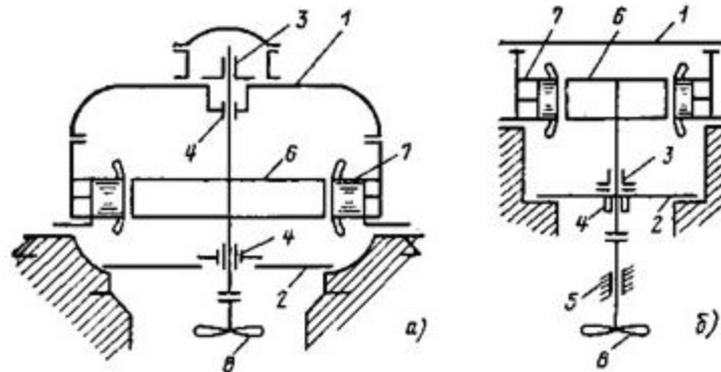
Конструкция гидрогенератора в основном определяется параметрами гидротурбины, которые в свою очередь зависят от природных условий в районе строительства гидроэлектростанции (напора воды и ее расхода). В связи с этим для каждой гидроэлектростанции обычно проектируется новый гидрогенератор.

Гидрогенераторы обычно имеют сравнительно малую частоту вращения (до 500 об/мин) и достаточно большой диаметр (до 20 м), чем в первую очередь определяется вертикальное исполнение большинства гидрогенераторов, так как при горизонтальном исполнении становится невозможным обеспечение необходимой механической прочности и жесткости элементов их конструкции.



# Гидрогенератор

Вертикальные гидрогенераторы обычно состоят из следующих основных частей: статор, ротор, верхняя крестовина, нижняя крестовина, подпятник (упорный подшипник, который воспринимает вертикальную нагрузку от вращающихся частей гидрогенератора и гидротурбины), направляющие подшипники. По особенностям конструкции гидрогенераторы подразделяются на *подвесные* и *зонтичные*. У подвесных гидрогенераторов подпятник располагается над ротором в верхней крестовине, у зонтичных подпятник располагается под ротором в нижней крестовине или опирается на крышку турбины (в этом случае верхняя крестовина у гидрогенератора отсутствует).



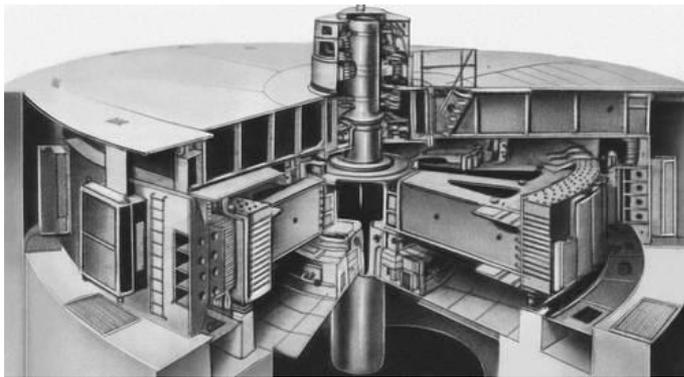
Подвесные (а) и зонтичные (б) исполнение гидрогенератора:  
1 - верхняя крестовина; 2 - нижняя крестовина; 3 - подпятник; 4 - направляющие подшипники; 5 - направляющий подшипник турбины; 6 - ротор; 7 - статор; 8 - рабочее колесо турбины

# Гидрогенератор

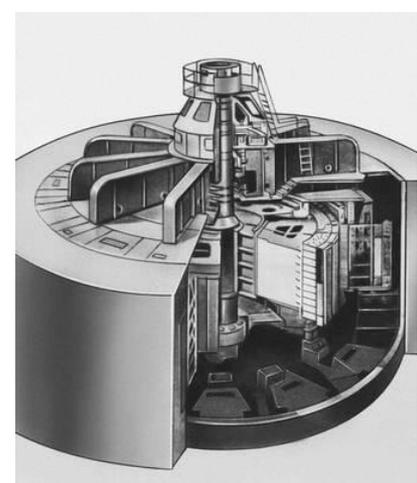
---

Мощные тихоходные гидроагрегата обычно велики по размерам; для уменьшения их габаритов и снижения веса целесообразно зонтичное исполнение. Пример Г. зонтичного типа — гидрогенератор Красноярской ГЭС: частота вращения  $93,8$  об/мин, диаметр ротора  $16$  м и масса  $1640$  т.

Для быстроходных гидроагрегатов меньших габаритов предпочтительна конструкция подвесного типа, которая по сравнению с зонтичной обладает большей устойчивостью к механическим колебаниям ротора, имеет меньший диаметр опорного подшипника и проще в монтаже. Примером может служить гидрогенератор Братской ГЭС: частота вращения  $125$  об/мин, диаметр ротора  $10$  м, масса  $1450$  т.



Гидрогенератор ( $508$  Мвт),  
установленный на Красноярской ГЭС



Гидрогенератор ( $225$  Мвт),  
установленный на Братской ГЭС.



# Гидрогенератор

---

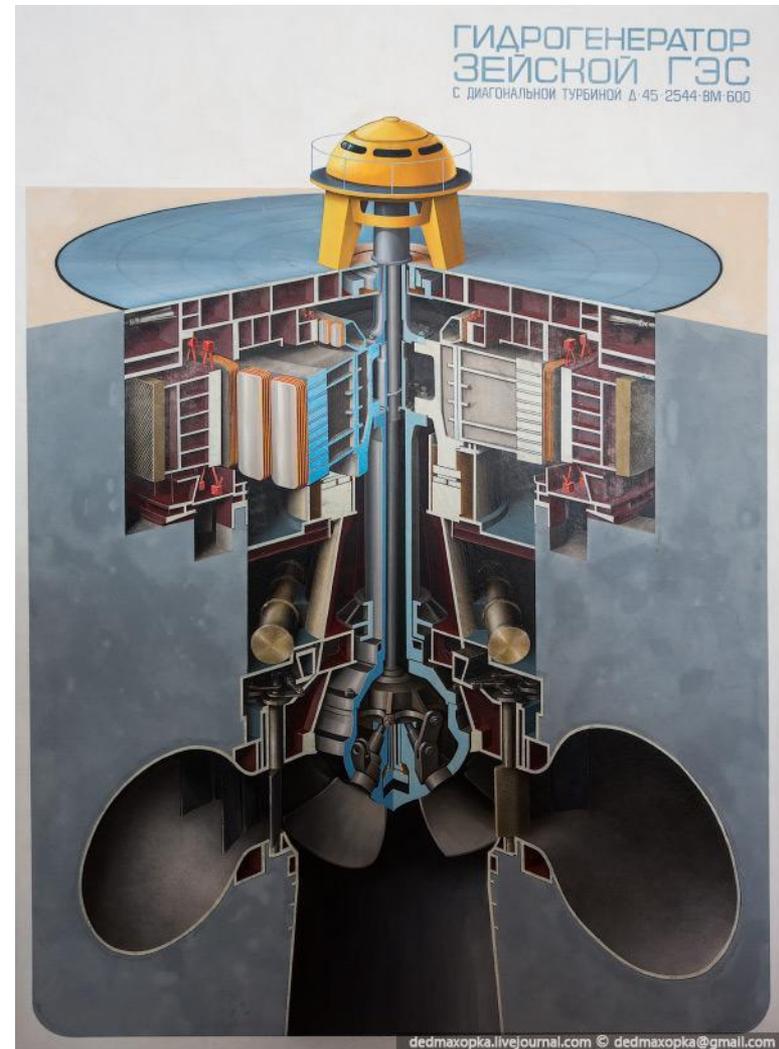
На гидроаккумулирующих электростанциях используются обратимые гидрогенераторы (гидрогенераторы-двигатели), которые могут как вырабатывать электрическую энергию, так и потреблять ее. От обычных гидрогенераторов они отличаются особой конструкцией подпятника, позволяющей ротору вращаться в обе стороны.

Горизонтальные капсульные гидрогенераторы представляют собой часть герметичной капсулы, содержащей помимо гидрогенератора гидротурбину и системы обеспечения. Капсула помещается непосредственно в проточную часть гидроэлектростанции.



# Гидрогенератор

## □ Гидрогенератор Зейской ГЭС



# Гидрогенератор

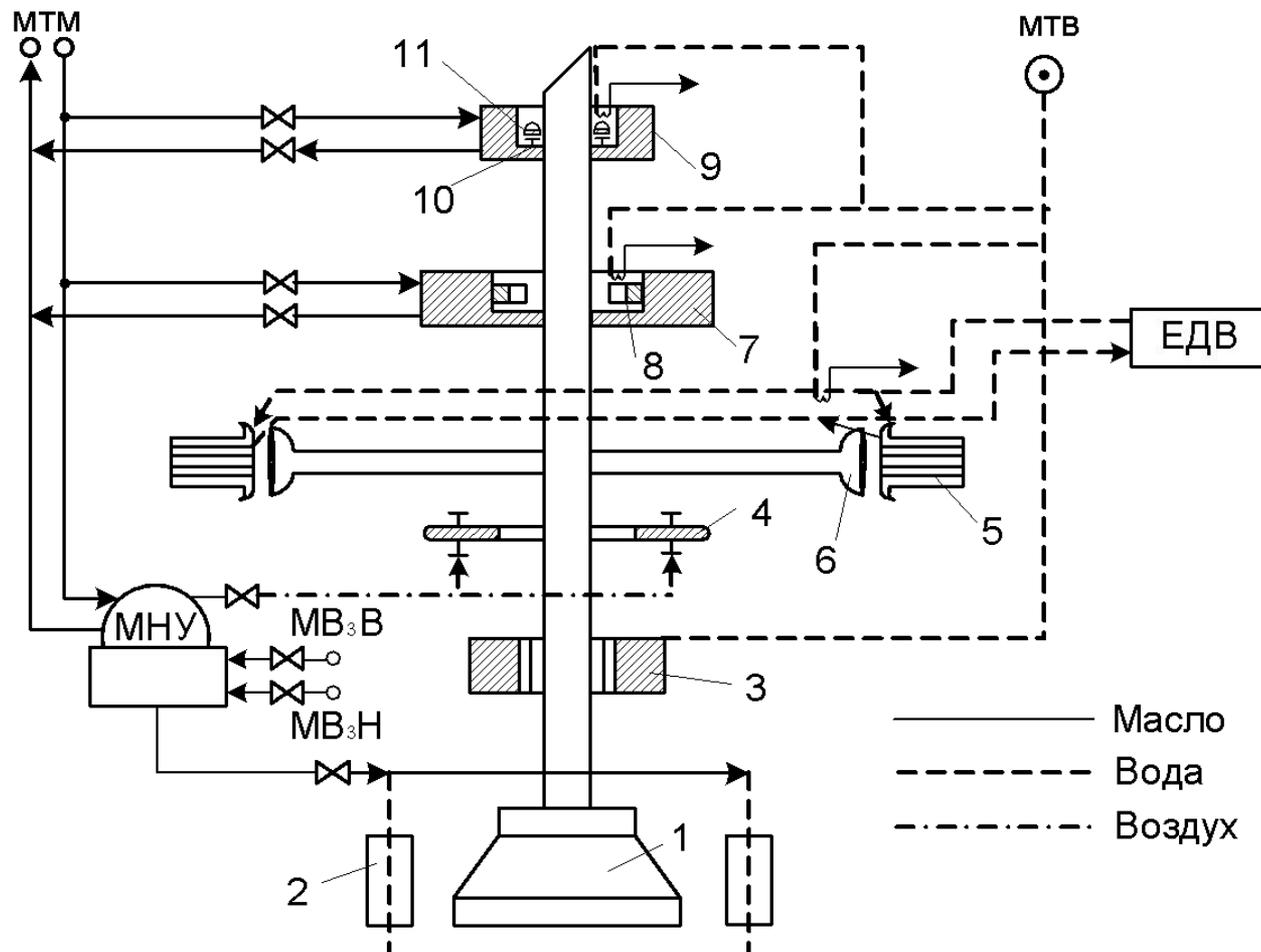
---

Для охлаждения крупных генераторов (до 300 Мвт) обычно применяется замкнутая система вентиляции: косвенная, или поверхностная, когда воздух обдувает обмотку с поверхности, и форсированная, когда воздух подаётся внутрь проводника с током или между проводниками. Значительно более эффективно охлаждение обмоток статора дистиллированной водой с форсированным воздушным охлаждением обмотки ротора. Применение форсированного охлаждения повышает коэффициент использования гидрогенератора, снижает расход изоляции, меди и активной стали.

Возбуждение Г. обычно осуществляется от вспомогательного генератора постоянного тока, установленного на валу; на крупных Г. имеется дополнительно подвозбудитель для возбуждения вспомогательного генератора. В некоторых случаях для этой цели используется синхронный генератор с выпрямителями, который одновременно служит и вспомогательным генератором.



# Устройство и основные системы обеспечения гидроагрегатов ГЭС



- 1 – рабочее колесо турбины;
- 2 – лопатки, направляющие аппарат;
- 3 – турбинный подшипник;
- 4 – тормоза-домкраты;
- 5 – статор генератора;
- 6 – ротор генератора;
- 7, 9 – ванны генераторного подшипника и подпятника;
- 8 – генераторный подшипник;
- 10 – сегменты подпятника;
- 11 – зеркало подпятника



# Устройство и основные системы обеспечения гидроагрегатов ГЭС

---

Смазка направляющих 8, 3 опорного подшипника 9 осуществляется специальной системой агрегатного масла и водоснабжения.

Подшипник генератора и подпятник погружены в специальные ванны, заполненные маслом. Долив масла производится по сигналу датчиков через МТМ, после остановки агрегата. Охлаждение масла производится с помощью специальных теплообменников, в которые подается холодная техническая вода. В переходных режимах применяется специальная система принудительной смазки подпятника, когда к сегментам подпятника подводятся специальные напорные маслопроводы, в которых создается избыточное давление. Снабжение агрегата технической водой, маслом и дистиллированной водой осуществляется системой водоснабжения и маслоснабжения. Для создания высокого давления масла в системе регулирования частоты вращения турбины и торможения агрегата применяются системы воздуhosнабжения.



# Устройство и основные системы обеспечения гидроагрегатов ГЭС

---

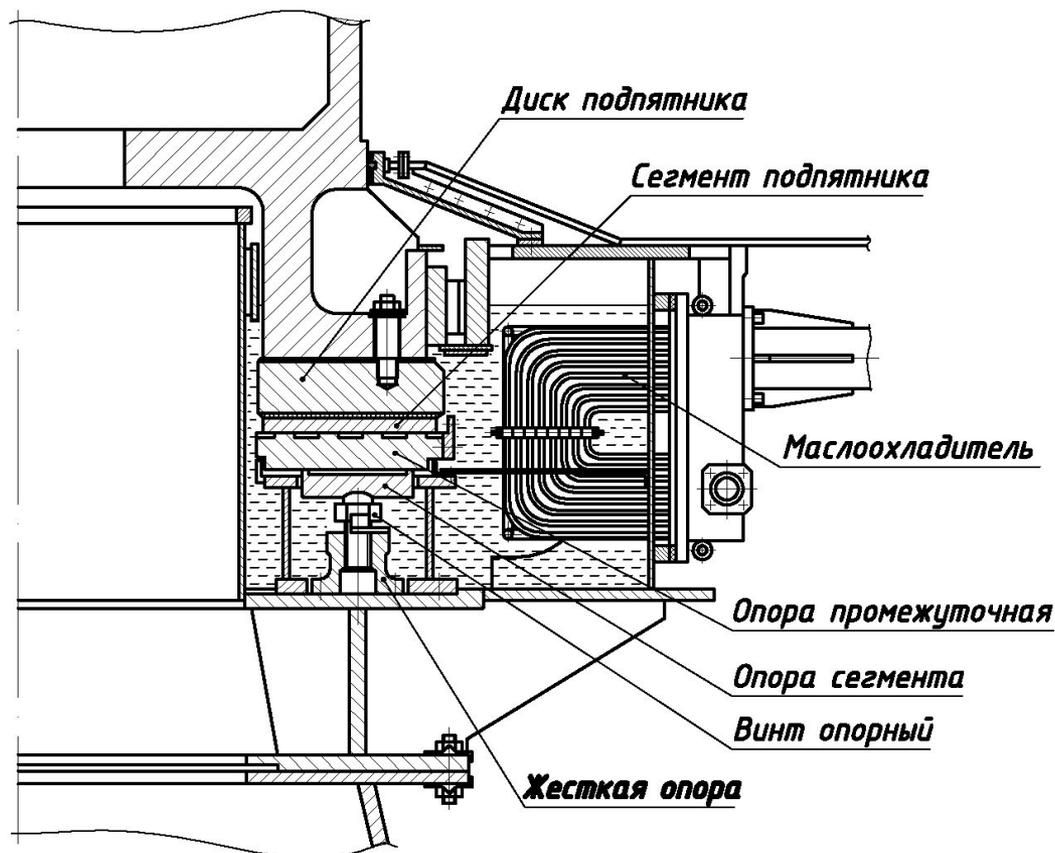
Воздух высокого давления, который создается пневмокомпрессорами, подается в котел маслонапорной установки (МНУ), за счет чего создается требуемое давление масла в системе регулирования.

Воздух низкого давления подается в систему торможения агрегата, который позволяет осуществить его полную остановку в течение 2–4 минут против 10 – 12 минут без системы для подтопленного рабочего колеса и до 40 минут для неподтопленного.



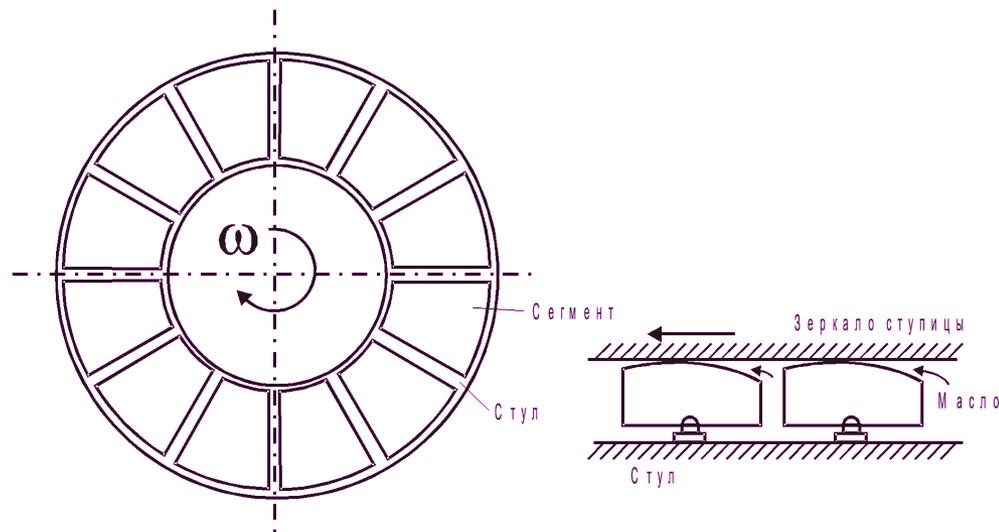
# Устройство и основные системы обеспечения гидроагрегатов ГЭС

## Подпятник генератора



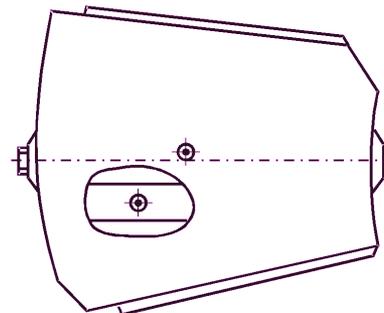
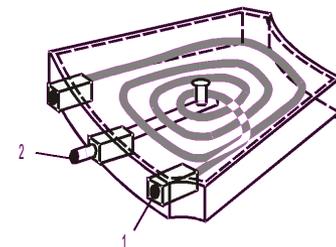
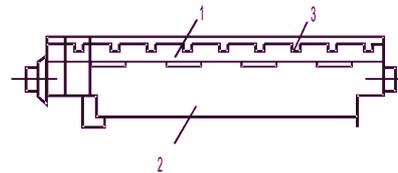
# Устройство и основные системы обеспечения гидроагрегатов ГЭС

При эксплуатации наиболее уязвимым элементом гидроагрегата является его ПП, состоящий из ступицы ПП, укрепленной на валу гидрогенератора, нижняя часть которой снабжена диском с полированной поверхностью – зеркалом ПП. Вся вертикальная нагрузка передается через зеркало ПП на сегменты ПП.



# Устройство и основные системы обеспечения гидроагрегатов ГЭС

Сегменты ПП расположены в один или два ряда на стуле ПП, воспринимающем нагрузку ПП. Стальной сегмент состоит из тела сегмента 2 и подушки 1, покрытой слоем антифрикционного материала - баббита или фторопласта. Для облегчения пуска у мощных гидроагрегатов иногда предусматривают центральное отверстие в сегменте, из которого под зеркало в момент пуска гидроагрегата подается масло под высоким давлением - около 29 МПа ( $300 \text{ кгс/см}^2$ ), т.н. «клизма». Поступающее масло создает слой между сегментом и зеркалом, обеспечивающий «всплытие» ПП. Тем самым значительно повышается надежность ПП, 90% всех повреждений которого происходит именно в момент пуска агрегата.



# Устройство и основные системы обеспечения гидроагрегатов ГЭС

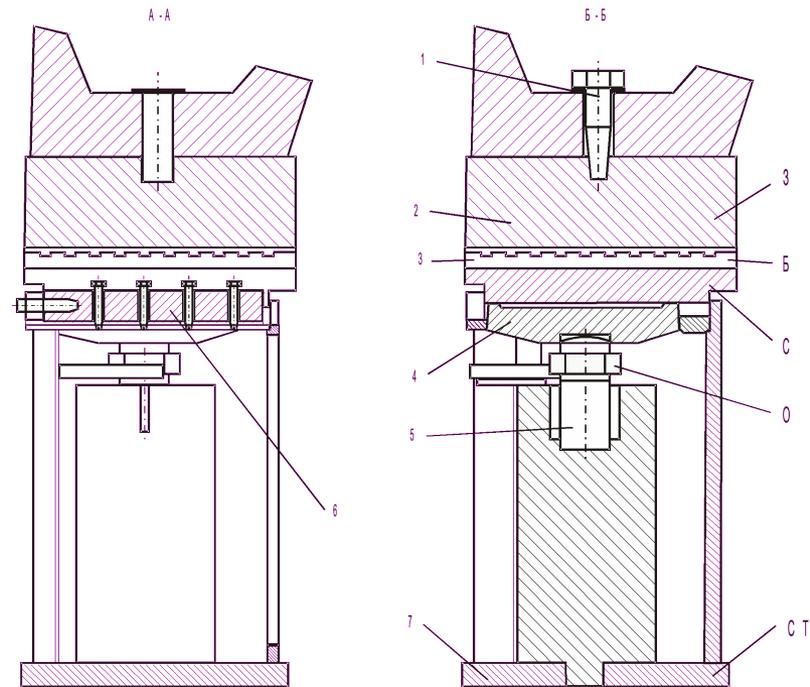
---

В некоторых конструкциях ПП предусмотрено внутреннее охлаждение сегмента - трубки, по которым циркулирует вода. Усложнение конструкции сегмента и всего ПП окупается повышением надежности ПП. Дело в том, что сегмент нагревается потерями на трение, возникающими на его верхней поверхности. Это приводит к тому, что верхняя часть сегмента всегда горячее нижней. Такой неравномерный нагрев неизбежно приводит к тепловой деформации сегмента: его центральная часть выпячивается, а края опускаются. Таким образом, центральная часть сегмента оказывается более нагруженной, баббит там перегревается и быстрее изнашивается. Внутреннее охлаждение сегмента предотвращает его выгибание.



# Устройство и основные системы обеспечения гидроагрегатов ГЭС

Большое значение для надежной эксплуатации ПП имеет равномерное распределение нагрузки ПП на все сегменты. Каждый сегмент С с баббитовым слоем Б, нагруженный зеркалом 3 установлен на винтовой опоре О, стоящей на стуле СТ опоры ПП. Гайкой винтовой опоры регулируется сегмент по высоте для обеспечения равномерной нагрузки всех сегментов. Нагрузка сегмента контролируется по его прогибу. Однако при этом способе равномерность нагрузки сегментов находится в пределах  $\pm 20-25\%$ , что не обеспечивает необходимую надежность работы ПП. Распределение нагрузки на сегменты с точностью  $\pm 5\%$  позволило произвести внедрение тензометрии, сократившее трудоемкость балансировки ПП в 6-7 раз, а аварийность ПП - в пять раз.



# Устройство и основные системы обеспечения гидроагрегатов ГЭС

---

Жесткость винтовой опоры сегмента ПП является существенным недостатком этой конструкции. Его удалось преодолеть в конструкции ПП на гидростатической опоре. В ней сегмент опирается на мощный стальной сильфон - упругий сосуд, наполненный маслом. Сильфоны всех сегментов связаны между собой трубопроводами, обеспечивающими одинаковое давление во всех сильфонах и тем самым - одинаковую нагрузку всех сегментов.

Для контроля теплового режима ПП в каждый сегмент ПП вставлены термометры сопротивления. Они погружены в холодное масло, поступающее в зазор между сегментом, и в горячее масло, выходящее из зазора. Температуру ПП периодически проверяют (несколько раз в смену, а также во время пуска и остановки агрегата. При недопустимом нагревании установка подает предупредительный и аварийный сигналы.



# Устройство и основные системы обеспечения гидроагрегатов ГЭС

---



Подпятник на гидравлической опоре



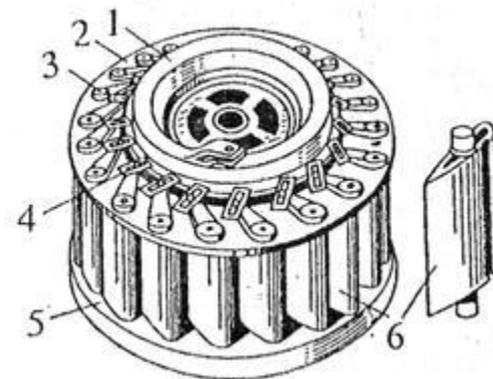
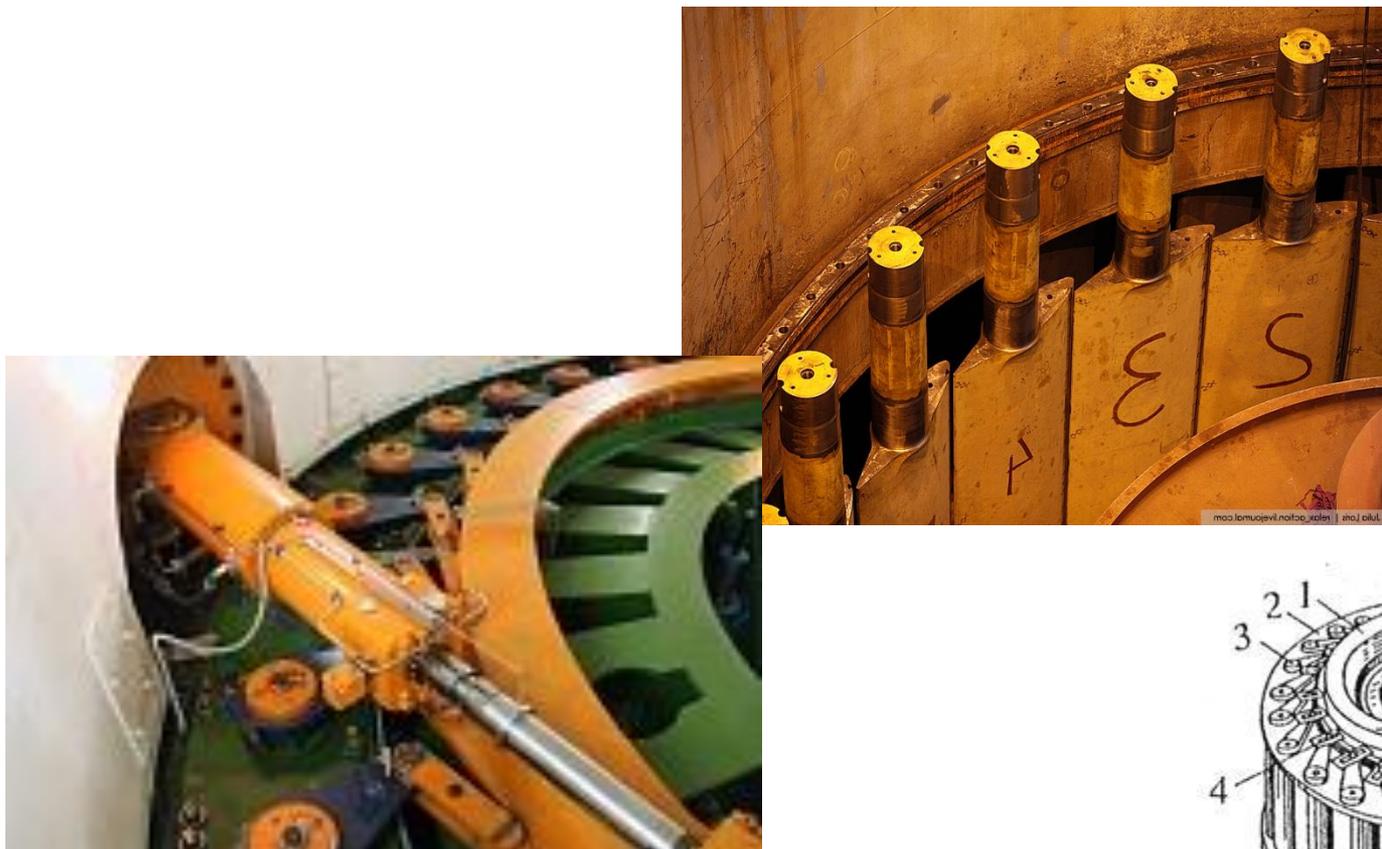
# Направляющий аппарат гидравлической турбины

---

Направляющий аппарат служит для подвода воды к рабочему колесу, регулирования расхода в соответствии с необходимой для генератора мощностью, закрытия доступа воды к рабочему колесу турбины при ее остановке и создания определенного направления (закрутки) потока. Конструкция направляющего аппарата состоит, в основном, из двух опорных колец и подвижных лопаток обтекаемой формы, размещенных между этими кольцами. Лопатки с помощью регулирующего кольца могут одновременно поворачиваться вокруг собственных осей на определенный угол, образуя одинаковые просветы величиной  $a_0$ , называемые открытием направляющего аппарата. Число подвижных лопаток зависит от размеров турбины и колеблется от 12 до 32.



# Направляющий аппарат гидравлической турбины



# Направляющий аппарат гидравлической турбины

---



dedmaxopka.livejournal.com © dedmaxopka@gmail.com



# Направляющий аппарат гидравлической турбины

---

Направляющий аппарат (НА) состоит из отлитых из углеродистой стали (иногда чугуновых) поворотных лопаток, цапфы которых установлены в подшипниках верхнего и нижнего колец. На верхние концы цапф лопаток надеты и закреплены, с помощью разрезных цилиндрических шпонок, стальные рычаги. Связь рычагов с регулирующим кольцом осуществлена посредством серег, надетых на пальцы, запрессованные в рычаги и регулирующее кольцо. На каждой серьге имеется специальная деталь-камень, закрепленный разрывным болтом, который в случае попадания посторонних тел между лопатками (бревен и других предметов) при закрытии турбины разрывается, предохраняя тем самым от поломки другие детали направляющего аппарата.

Для предохранения серьги от поломки при разрыве болта установлен гибкий упор. Кроме того, для сигнализации о разрыве болтов, на каждой серьге установлен концевой электрический выключатель. Верхнее кольцо НА стальное, состоит из четырех частей, соединенных между собой болтами и установлено на стальной статор. Чугунные подшипники направляющих лопаток установлены в отверстия верхнего кольца и закреплены на нем болтами.

---



# Направляющий аппарат гидравлической турбины

---

Для защиты от проникновения воды из спиральной камеры на крышку турбины на верхней части подшипника установлено манжетное уплотнение. Шейка лопатки в месте установки манжетного уплотнения облицована кольцом из нержавеющей стали с целью исключения коррозии шейки и уменьшения механического износа манжеты. Внизу верхнего кольца имеется выемка, которая используется при демонтаже лопаток. Нижняя торцовая плоскость верхнего кольца облицована листами, которые перекрывают выемку и отверстия для подшипников.

Нижнее кольцо НА чугунное, состоит из четырех частей, соединенных между собой болтами. Само кольцо закреплено болтами к нижнему кольцу статора. На нижнем кольце НА расточены отверстия, в которые запрессованы втулки, служащие подшипниками для нижних цапф лопаток. Кроме того, на нижнем кольце по внутренней сфере в восьми местах имеются резьбовые отверстия и выемки для крепления подвесок, на которых держится рабочее колесо при монтаже и ремонте.



# Направляющий аппарат гидравлической турбины

---

На верхней части крышки расположены опора регулирующего кольца направляющего аппарата и опора подпятника генератора. Регулирующее кольцо с двумя ушами, посредством которых оно соединяется с тягами сервомоторов, установлено на опоре крышки. Регулирующее кольцо состоит из двух частей, соединенных между собой болтами

Направляющий аппарат оборудован специальным резиновым уплотнением, установленным на кольцах и лопатках, предохраняющим от протечек из спиральной камеры в камеру рабочего колеса при закрытом положении лопаток. Уплотнение осуществляется как в месте соприкосновения лопаток между собой, так и между кольцами и торцами лопаток. Поворот регулирующего кольца направляющего аппарата, а следовательно, и открытие его, осуществляется двумя масляными сервомоторами, установленными в шахте турбины. Сервомоторы представляют собой чугунные цилиндры с перемещающимися в них чугунными поршнями. Поршни сервомоторов соединены с тягами, идущими к регулируемому кольцу. Тяги сервомоторов состоят из двух частей, соединенных винтовой стяжкой, позволяющей в некоторых пределах регулировать длину тяг, чем создаются более удобные условия для разборки сервомоторов.

---



# Направляющий аппарат гидравлической турбины

---

Сервомоторы снабжены специальным замедлительным устройством, предохраняющим поршень от удара о крышку сервомотора в конце хода на закрытие, одновременно замедлительное устройство предотвращает повышение давления (гидроудар) в спиральной камере в момент полного закрытия НА. На одном из сервомоторов установлен стопор для фиксации НА в закрытом положении, имеющий малый сервомотор и золотник, управляемый из колонки регулятора. Поршень стопора связан с вилкой, которая, опускаясь, препятствует движению поршня сервомотора турбины на открытие. Стопор сервомотора связан блокировочным устройством с гидроклапаном и механизмами регулятора так, что обеспечивается очередность их включения и выключения. Протечки масла через сальниковые уплотнения и масло из полостей цилиндров сервомоторов отводятся по трубопроводам в сливной бак МНУ.



# Направляющий аппарат гидравлической турбины

---

Рабочим телом сервомоторов является турбинное масло под давлением. На ГЭС наиболее часто встречаются сервомоторы на давление от 1,2 МПа до 16 МПа. Питание сервомоторов маслом стабилизированного давления, очистку масла, нормализацию его температуры, а также аккумулярование на ГЭС осуществляется специальным устройством - *маслонапорной установкой* (МНУ). В зависимости от конструкции электростанции она может содержать одну или несколько отдельных МНУ. В первом случае от одной установки питаются все гидроагрегаты ГЭС. Во втором на каждый гидроагрегат устанавливается собственная маслонапорная станция.

На современной ГЭС маслонапорная установка представляется как самостоятельно устройство с собственной системой управления, полностью управляющей всем технологическим процессом, связанным с ее назначением. Изменение параметров и режимов работы производится в соответствии с получаемыми от системы управления ГЭС инструкциями. В качестве выходной информации управляющее устройство МНУ возвращает значения основных контролируемых параметров, режимы работы, предупреждения о возможности возникновения аварийных состояний.

---



# Маслонапорная установка (МНУ)

---

Маслонапорная установка (МНУ) предназначена для питания регуляторов гидротурбин маслом под давлением и является одним из важнейших устройств системы регулирования. Во многих случаях МНУ питает маслом механизмы управления затворов, установленных перед турбиной, и др. автоматические устройства.

В состав маслонапорной установки входят: напорный котел, сливной бак, масляные насосы с электродвигателями и различная арматура.

Напорный котел заполнен частично маслом и частично сжатым воздухом и является аккумулятором энергии, необходимой для приведения в действие механизмов системы регулирования. Наличие в МНУ котельных регуляторов запаса энергии обуславливает большое преимущество этой системы регулирования перед проточной системой.

Масло из котла МНУ расходуется на работу системы регулирования, а также на протечки. Сливной бак является резервуаром, куда сливается из системы регулирования отработавшее масло и откуда оно нагнетается насосом в котел для восстановления израсходованного объема масла.

Масляные трубопроводы регулятора вместе с МНУ представляют замкнутую систему.

---



# Маслонапорная установка (МНУ)

---

Масляный насос нагнетает масло из бака в котел, где действием специальной арматуры поддерживаются необходимые уровень и давление масла. Для обеспечения высокой надежности работы МНУ снабжаются в большинстве случаев двумя масляными насосами, один из которых является рабочим, а другой резервным.

При нормальном состоянии МНУ масло в котле занимает около 30—40% от полного объема котла, а остальная часть заполнена сжатым воздухом, который теоретически из котла не расходуется. Однако некоторое количество сжатого воздуха теряется вместе с маслом, а также вследствие неплотностей. Поэтому требуется периодически его нагнетать в котел специальным компрессором, который обычно устанавливается на ГЭС для обслуживания одновременно всех МНУ.

Нормально для каждой гидротурбины устанавливается отдельная МНУ, и только в редких случаях, по условиям компоновки оборудования на ГЭС, одна МНУ одновременно питает системы регулирования нескольких турбин.



# Маслонапорная установка (МНУ)

---

Иногда МНУ отдельных турбин связываются между собой соединительными масляными трубопроводами, снабженными соответствующими клапанами. При такой схеме путем переключения клапанов принципиально возможно получать различные комбинации работы МНУ: например, отдельная работа МНУ на турбину, параллельная работа МНУ, работа МНУ на соседнюю турбину, В МНУ, связанных соединительными трубопроводами, можно не устанавливать второго масляного насоса, так как резервирование в этом случае может быть обеспечено другими МНУ через соединительный трубопровод.

Однако усложнение автоматизации вследствие необходимости поддерживать соотношение уровней - масла в котлах отдельных МНУ, необходимость автоматизировать действие клапанов, установленных на соединительных трубопроводах, и т. п. заставляют отказываться от соединения МНУ.



# Маслонапорная установка (МНУ)

---

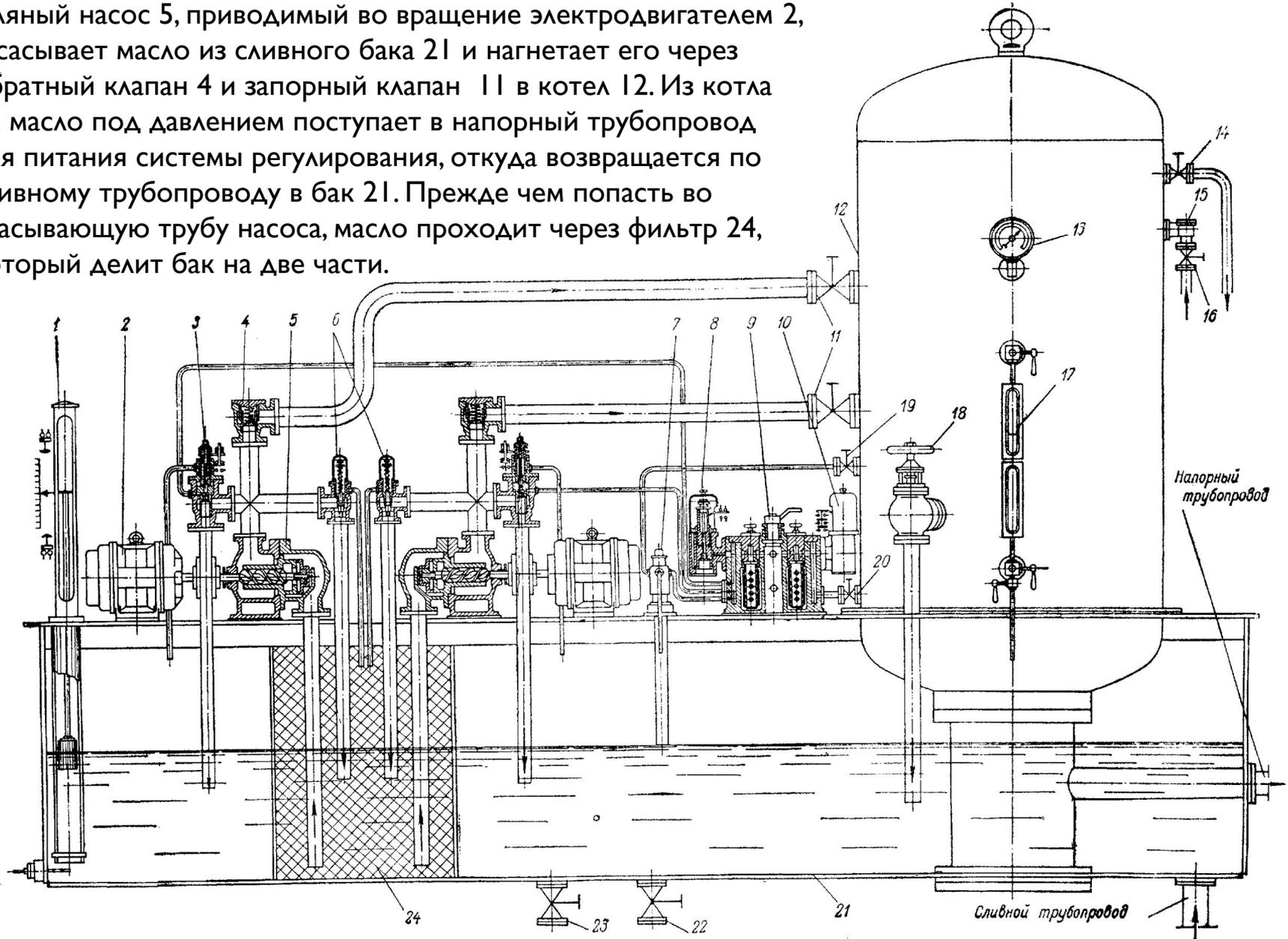
Кроме того, современные схемы автоматизации гидротурбинного оборудования на ГЭС строятся главным образом по агрегатно, как наиболее простые и экономичные. Поэтому для каждого агрегата устанавливаются отдельные МНУ и резервирование достигается установкой второго масляного насоса.

Действие МНУ полностью автоматизировано.



# МН

**У** Масляный насос 5, приводимый во вращение электродвигателем 2, засасывает масло из сливного бака 21 и нагнетает его через обратный клапан 4 и запорный клапан 11 в котел 12. Из котла 12 масло под давлением поступает в напорный трубопровод для питания системы регулирования, откуда возвращается по сливному трубопроводу в бак 21. Прежде чем попасть во всасывающую трубу насоса, масло проходит через фильтр 24, который делит бак на две части.



# Насос

---

Для маслонапорных установок применяются зубчатые и винтовые насосы. В последнее время широкое распространение получили винтовые насосы, как более экономичные и надежные в эксплуатации.

Производительность насосов, применяемых для различных типоразмеров МНУ, составляет 6-25 л/сек при рабочем давлении 20—25 кг/см<sup>2</sup>.

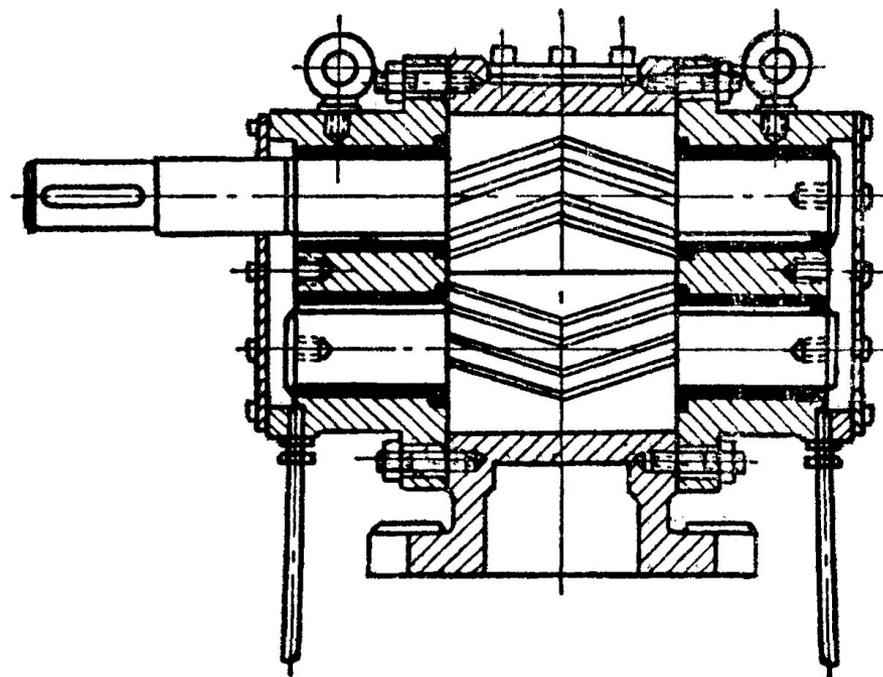
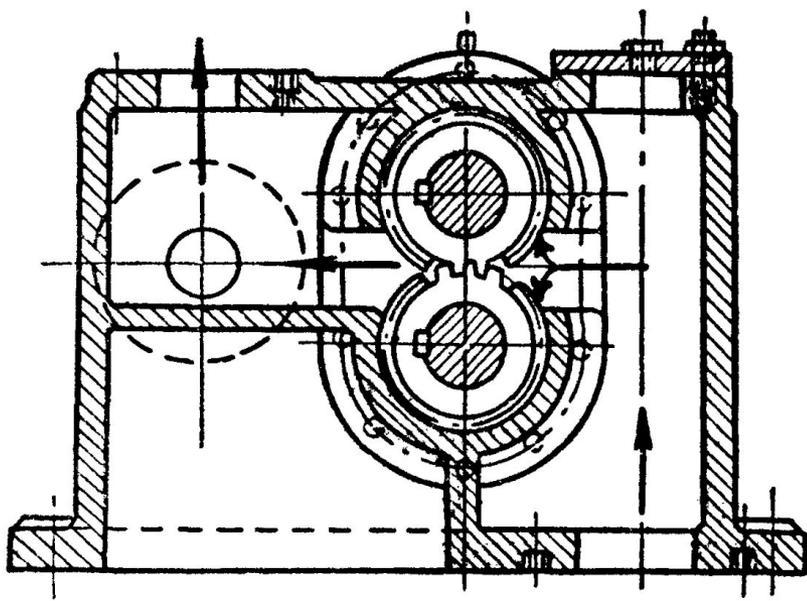
*Зубчатые насосы.* Зубчатый насос состоит из чугунного корпуса, внутри которого располагаются две шестерни с прямым или косым зубом. В последнем случае шестерни обычно изготавливаются шевронными, состоящими из двух склепанных половин. При этом одна половина шестерни имеет правую нарезку зубцов, а другая половина левую. Шевронные шестерни имеют более плавное зацепление, что обеспечивает более спокойную работу насоса.

Шестерни насоса запрессованы на валы и связаны с ними шпонками. Цапфы валов входят во втулки, запрессованные в чугунных крышках, которые крепятся с обеих сторон корпуса насоса. Таким образом, крышки являются также и корпусами подшипников для цапф валов насоса. Втулки подшипников изготавливаются из антифрикционной бронзы или из чугуна с баббитовой заливкой.

---



# Насос



Шестерни и валы насоса — стальные. Короткий вал является ведомым, а длинный — ведущим; при помощи эластичной муфты он связан с электродвигателем.



# Насос

---

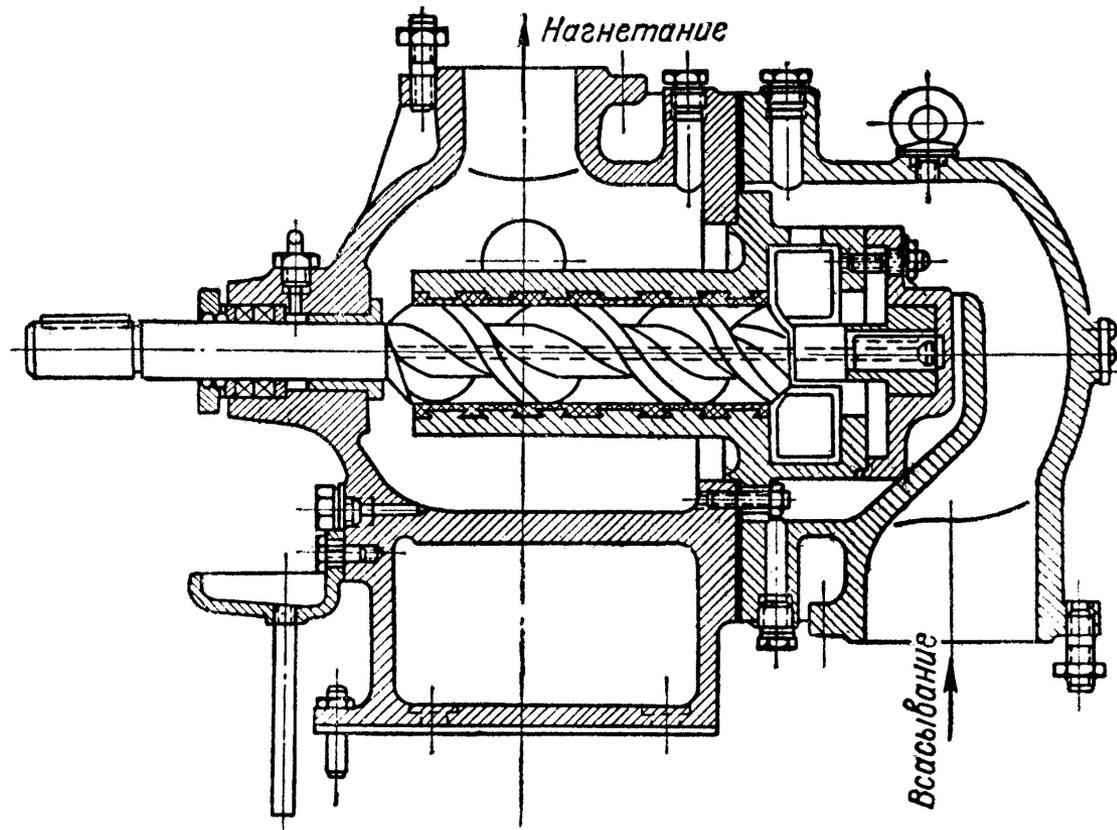
Корпус насоса имеет две камеры: нагнетания и всасывания. К специальным приливам камеры нагнетания крепится арматура насоса, состоящая из обратного, перепускного и предохранительного клапанов. К камере всасывания крепится всасывающая труба насоса, которая сообщается с масляным резервуаром МНУ. При вращении шестерен насоса масло увлекается в пространство между впадинами шестерен и корпусом насоса и нагнетается по напорной трубе в котел МНУ.

Габариты зубчатого насоса определяются его производительностью. Потребляемая мощность электродвигателя насоса зависит от его производительности и максимального рабочего давления, развиваемого насосом. Число оборотов насоса определяется исходя из допустимой окружной скорости шестерни, которая принимается не выше 5—7 м/сек.



# Насос

Винтовые насосы. Винтовой насос состоит из чугунного корпуса, в котором закреплена чугунная рубашка, залитая баббитом. Внутри рубашки имеются три обработанные параллельно цилиндрические полости, сливающиеся между собой. В этих полостях расположены рабочие органы насоса — стальные винты с нарезкой специального профиля.



# Насос

Средний винт с большим наружным диаметром является ведущим. Конец ведущего винта выходит из корпуса наружу и присоединяется к электродвигателю при помощи эластичной муфты. По бокам от ведущего винта расположены два одинаковых ведомых винта меньшего диаметра. Нарезка этих винтов имеет направление, противоположное нарезке ведущего винта. Зацепление профилей винтов обеспечивает полное разобщение камеры давления насоса и камеры всасывания.

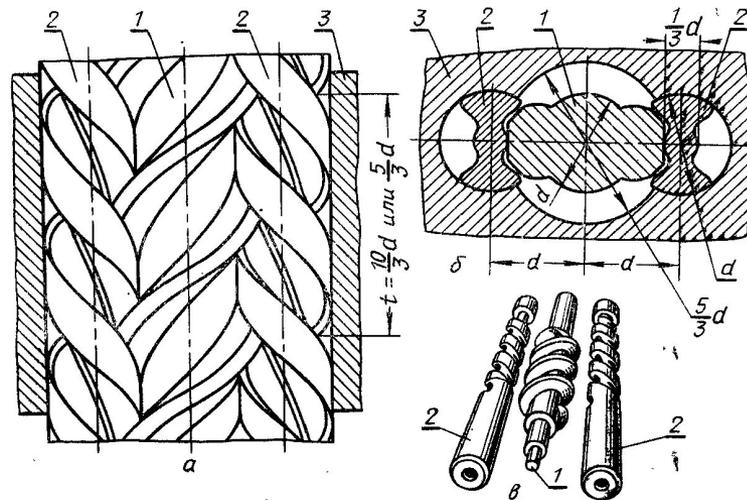


Схема трехвинтового масляного насоса

$a$  и  $b$  — разрезы насоса;  $e$  — винты насоса;  $1$  — ведущий винт;  $2$  — ведомый винт;  
 $3$  — обойма;  $t$  — ход.

# Обратный клапан

---

Обратный клапан присоединен к напорной камере насоса. Он предназначен для предотвращения обратного движения масла из котла, что может иметь место при остановках насоса или в те моменты, когда открыт перепускной клапан.

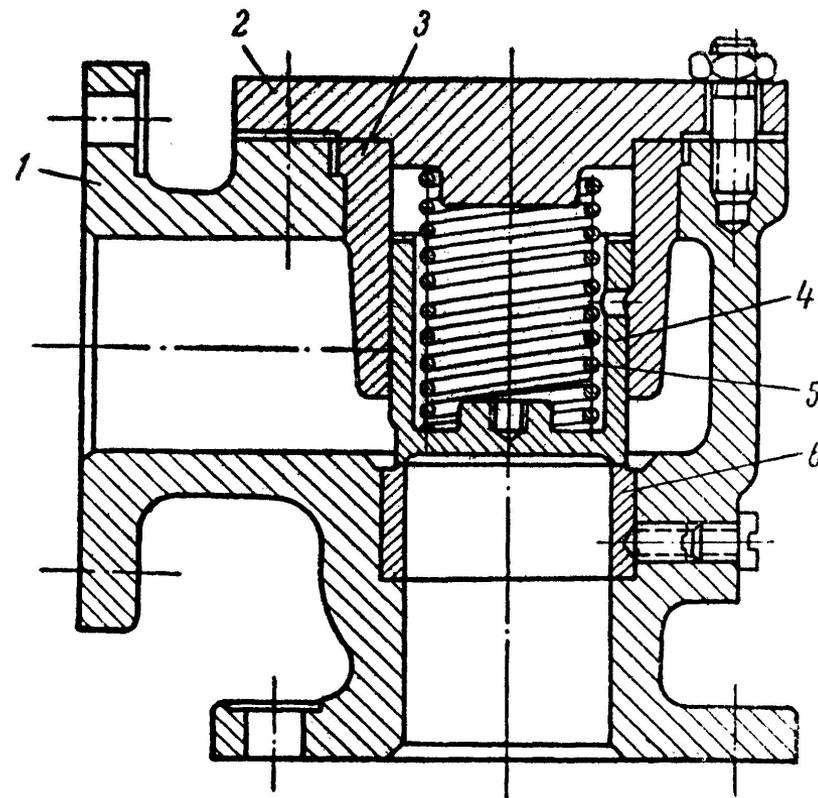
При работе насоса на котел, когда перепускной клапан закрыт, обратный клапан автоматически открывается давлением масла, создаваемым насосом. При этом нагнетаемое насосом масло поступает через обратный клапан в котел МНУ. При работе насоса вхолостую через перепускной клапан, когда последний открыт, а также при остановках насоса обратный клапан автоматически закрывается давлением масла и усилием пружины, препятствуя обратному потоку масла. При этом котел МНУ отключается от насоса.



# Обратный клапан

Обратный клапан состоит из чугунного корпуса 1, внутри которого расположены седло клапана 6, направляющая втулка 3 и клапан 4 с пружиной 5. Эти детали клапана выполнены из стали. Сверху корпус клапана закрыт чугунной крышкой 2, которая крепится к корпусу шпильками. Под действием предварительно сжатой пружины и давления масла, подводимого в полость над клапаном через отверстия в направляющей втулке, клапан прижат к седлу.

Корпус клапана имеет два фланца. Одним фланцем он присоединяется к корпусу насоса, а вторым — к напорной трубе, соединяющей насос с котлом МНУ.



# Сливной бак

---

Сливной бак маслonaпорной установки представляет сварной резервуар прямоугольной формы, который бетонируется в пол машинного зала станции. Внутри бак перегороден на две области: область чистого и область грязного масла, которые отделены друг от друга сетчатым фильтром, выполненным в виде прямоугольной рамки, легко вынимающейся для очистки. Обычно изготавливаются две рамки фильтров: одна находится в баке, а другая — на очистке. В область бака с грязным маслом поступает сливное масло из механизмов системы регулирования.

Крышка бака снабжена лазом, который дает возможность периодического осмотра и чистки внутренней поверхности бака. На баке установлены два масляных насоса с электродвигателями и арматурой. Один насос является рабочим, а второй — резервным.

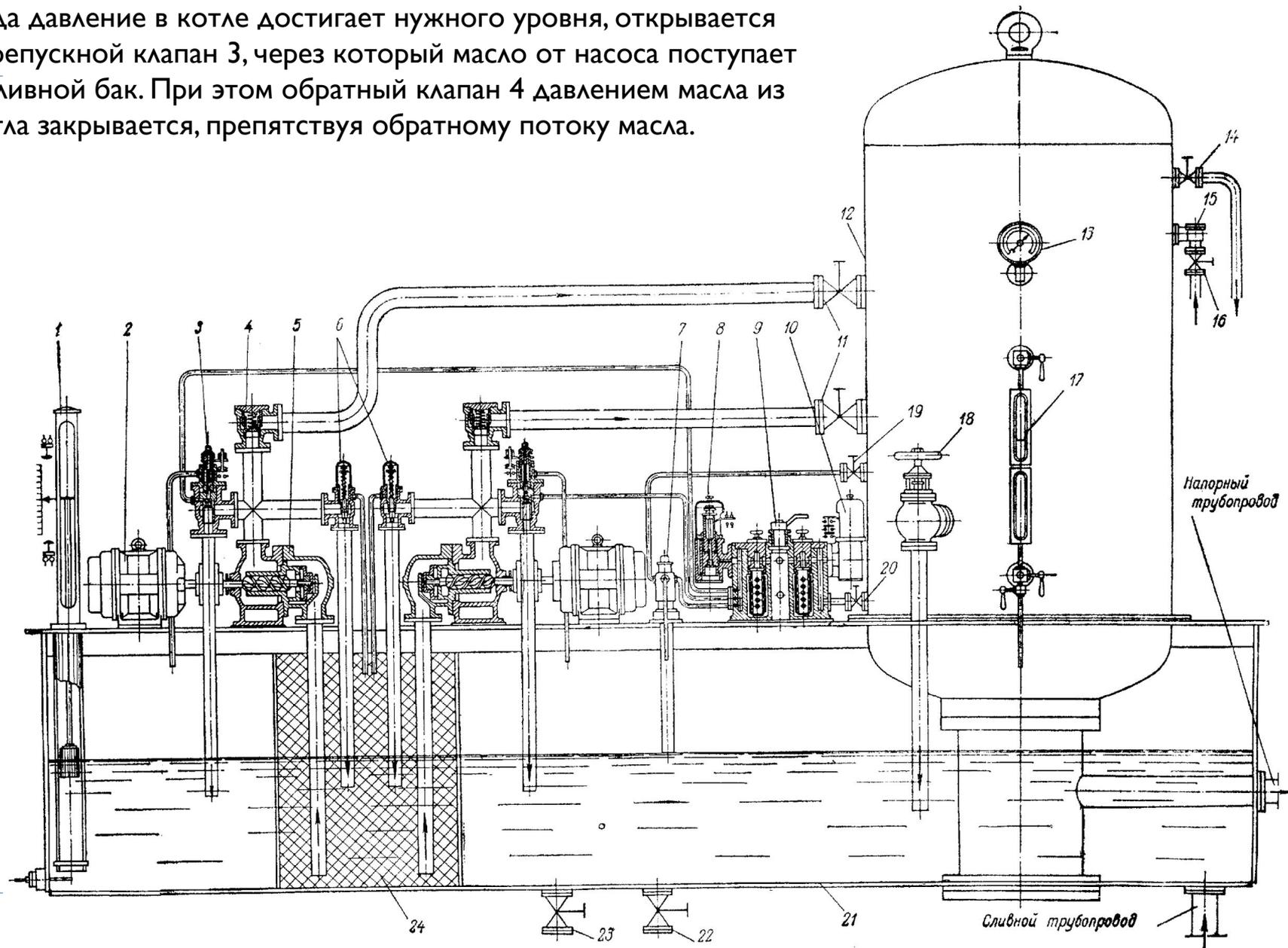
Габариты сливного бака в плане определяются размещением на нем напорного котла и насосов с электродвигателями. Объем бака принимается в пределах 1,2—1,4 объема котла.

---



# МН

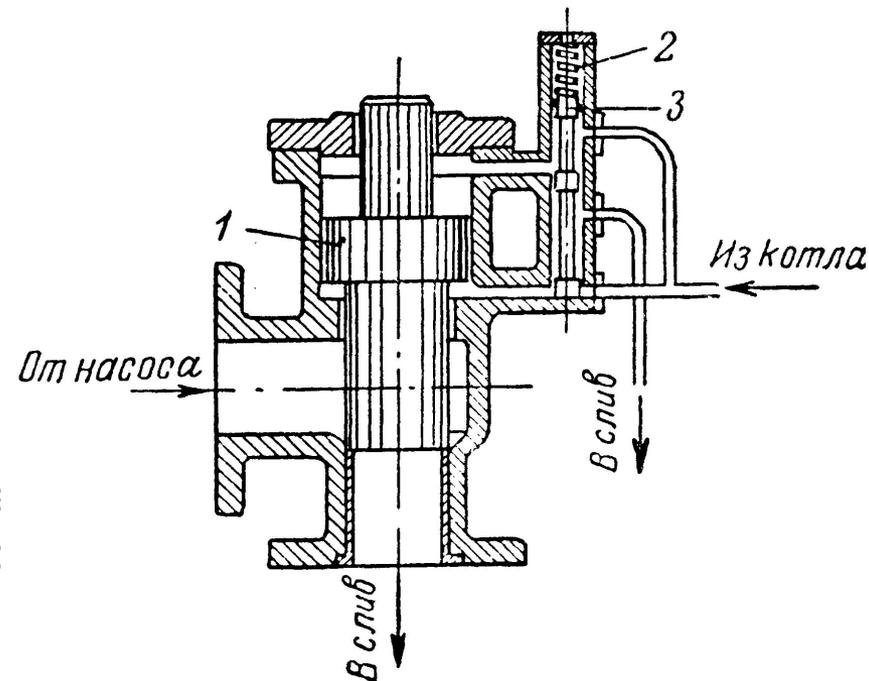
У  
Когда давление в котле достигает нужного уровня, открывается перепускной клапан 3, через который масло от насоса поступает в сливной бак. При этом обратный клапан 4 давлением масла из котла закрывается, препятствуя обратному потоку масла.



# Перепускной клапан

Перепускной клапан. Перепускной клапан присоединен к напорной камере насоса. Он предназначен для регулирования давления масла в котле МНУ и управляется давлением масла из котла

К золотнику 3 клапана, уравновешенному пружиной 2, подводится от котла масло под давлением. При нижнем положении золотника дифференциальный поршень 1 перепускного клапана также находится в нижнем положении и закрывает сливную трубу, вследствие чего масло от насоса поступает под давлением в котел. Насос работает под нагрузкой.

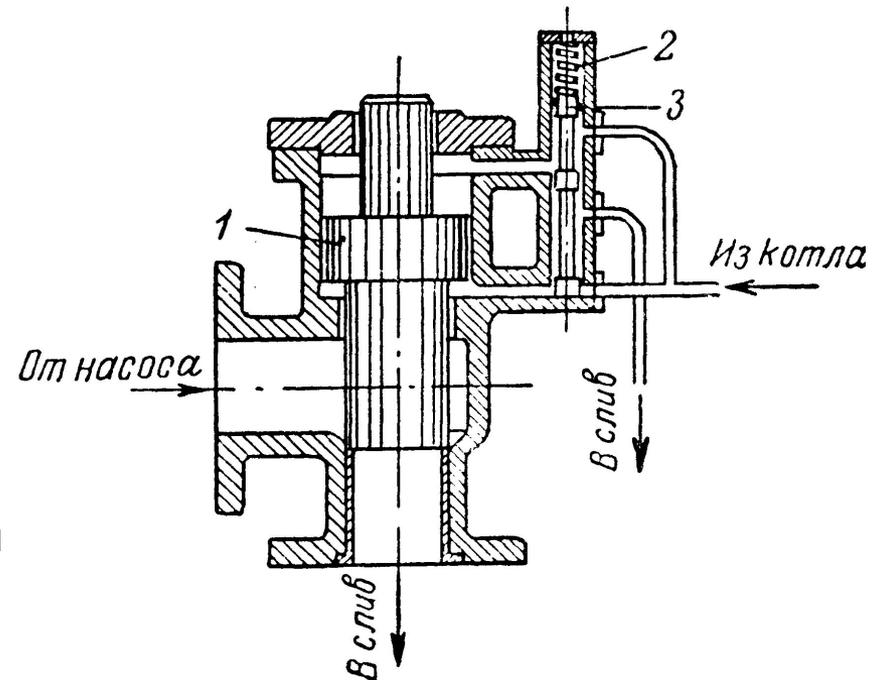


# Перепускной клапан

Когда в котле будет достигнут верхний предел нормального давления, золотник 3 давлением масла из котла переместится вверх, преодолевая сопротивление пружины. При этом область над поршнем клапана соединится со сливом, и поршень давлением масла снизу поднимется, открывая таким образом путь масла из насоса на слив. Давление масла перед обратным клапаном упадет, и он закроется.

Таким образом, при открытом перепускном клапане насос отключается от котла и работает вхолостую.

Благодаря действию перепускного клапана насос работает под нагрузкой не постоянно, а периодически

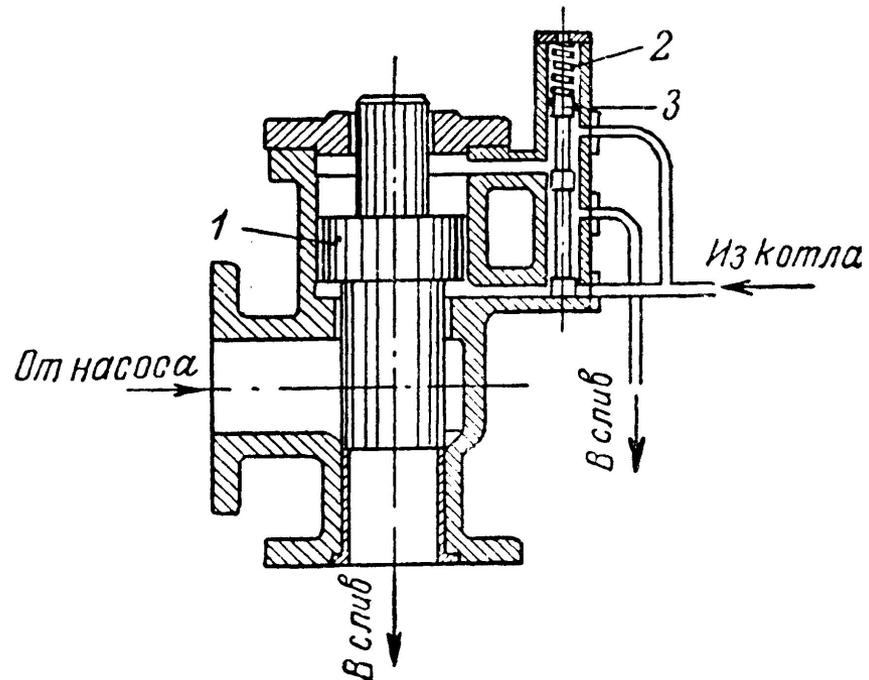


# Перепускной клапан

Действие перепускного клапана обуславливает некоторый перепад давления в котле, обычно в пределах  $1,5—2 \text{ кг / см}^2$ . Снижение давления в котле вызывается расходом масла на работу системы регулирования и на протечки.

Отношение времени работы насоса вхолостую к времени работы его под давлением на котел называется режимом работы насоса.

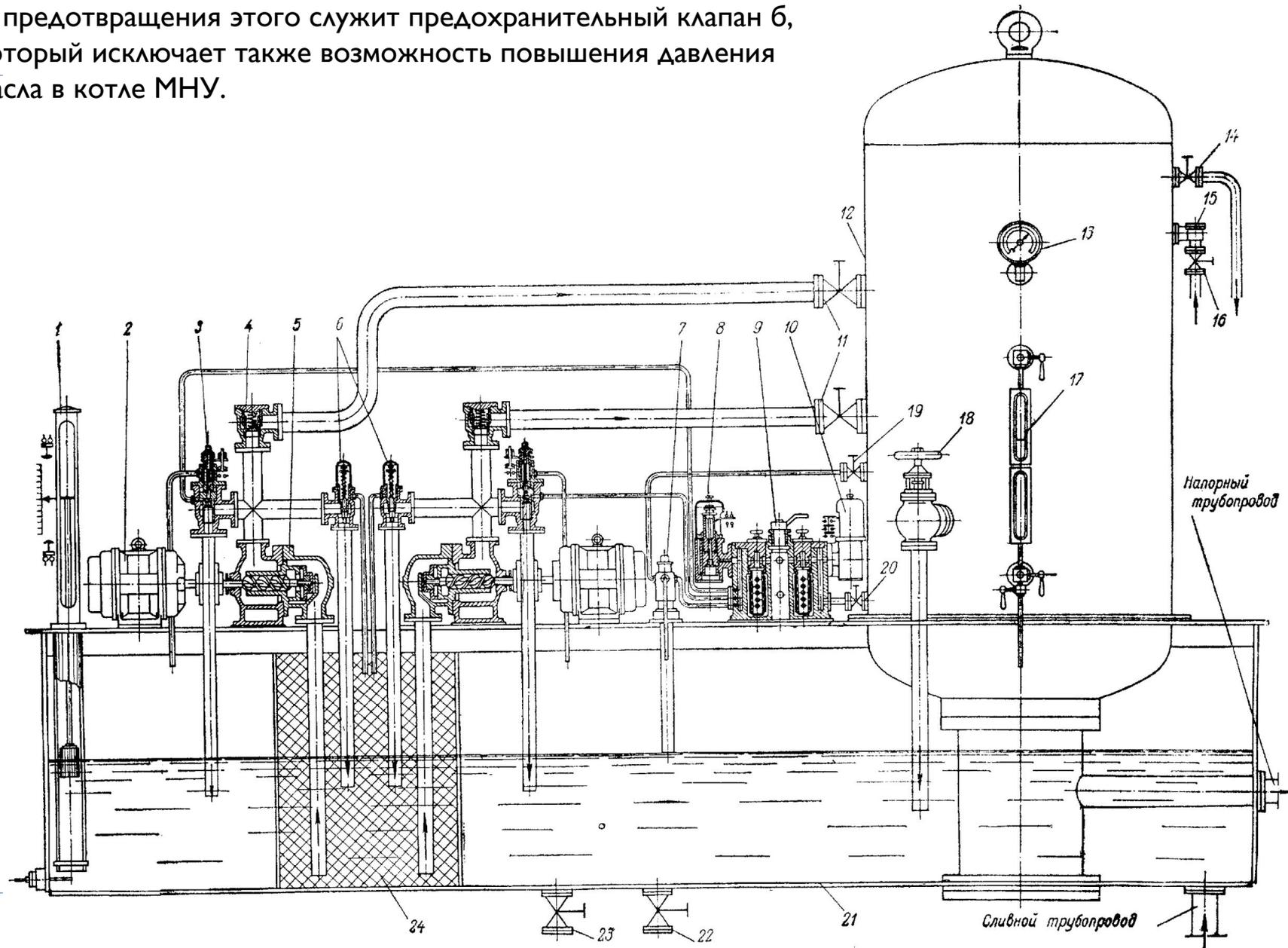
В настоящее время применяют работу насоса с периодическим отключением электродвигателя. При этом в момент достижения нормального давления в котле, когда перепускной клапан открывается, насос останавливается и снова включается, когда клапан закрывается.





# МН

Для предотвращения этого служит предохранительный клапан 6, который исключает также возможность повышения давления масла в котле МНУ.



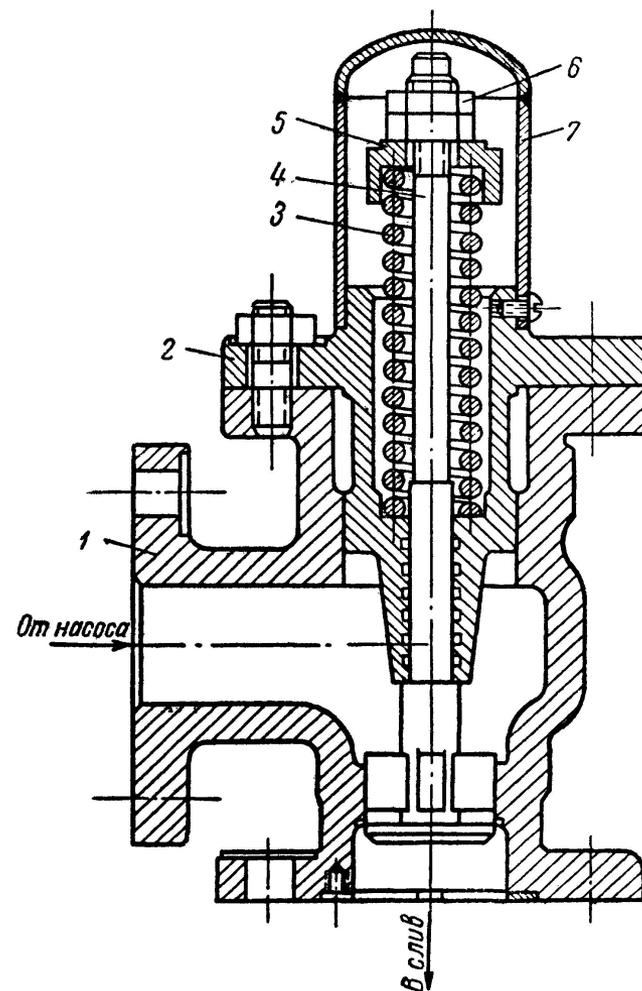
# Предохранительный клапан.

Предохранительный клапан присоединен к напорной камере насоса. Он предназначен для предотвращения в ней повышения давления масла, нагнетаемого насосом, выше допустимого предела.

Повышение давления масла в напорной камере возможно при отказе в действии перепускного клапана или при запуске насоса с закрытым запорным ручным клапаном на напорном трубопроводе от насоса к котлу.

Если давление масла в напорной камере насоса поднимается выше верхнего предела нормального давления в котле МНУ, предохранительный клапан открывается, и масло, нагнетаемое насосом, идет на слив.

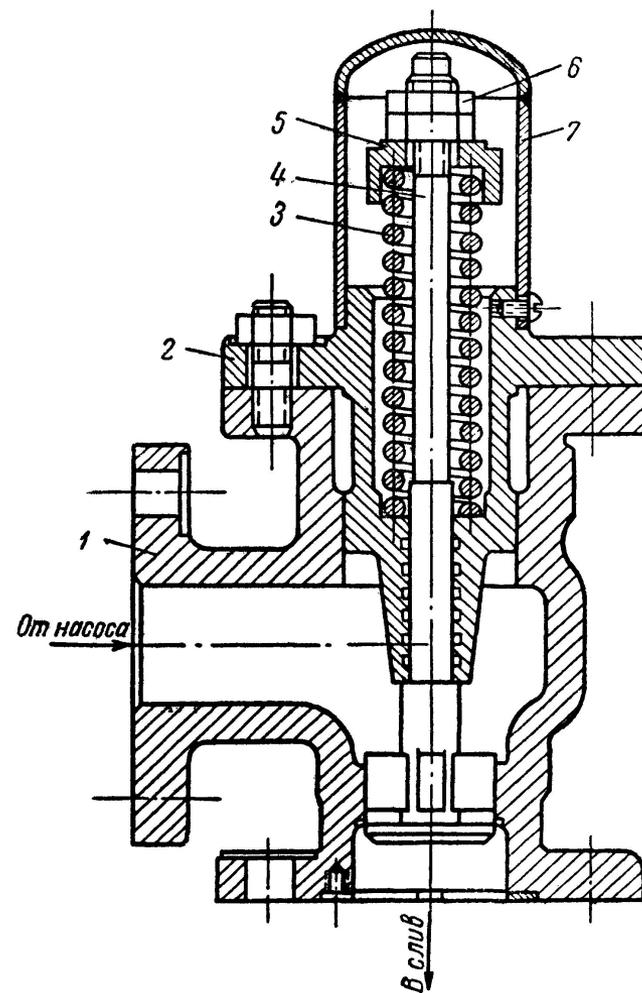
При уменьшении давления масла в напорной части насоса предохранительный клапан закрывается.



# Предохранительный клапан.

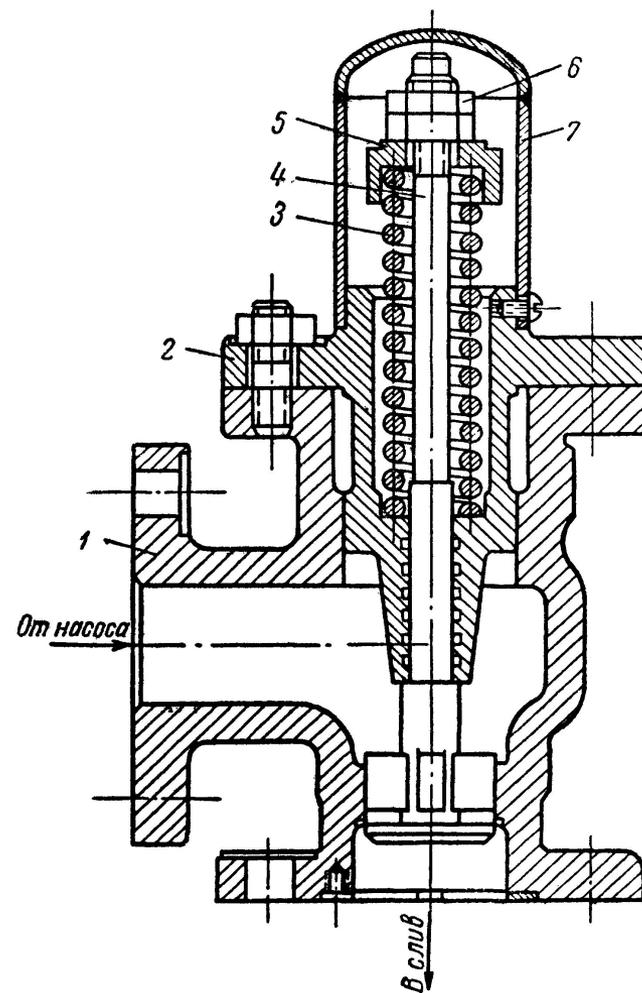
Предохранительный клапан состоит из чугунного корпуса 1, внутри которого расположен стальной поршень со штоком 4, направленный в чугунной крышке 2 клапана. Давления масла на поршень уравнивается пружиной 3, которая с одной стороны упирается в буртик крышки, а с другой стороны, при помощи упорного кольца 5 и гайки 6, соединяется со штоком поршня.

Натяжение пружины регулируется гайкой 6, накрученной на резьбу верхнего конца штока. Посредством контргайки регулирующая гайка фиксируется в определенном положении. Конец штока с пружиной, гайкой и контргайкой закрыт колпаком 7.



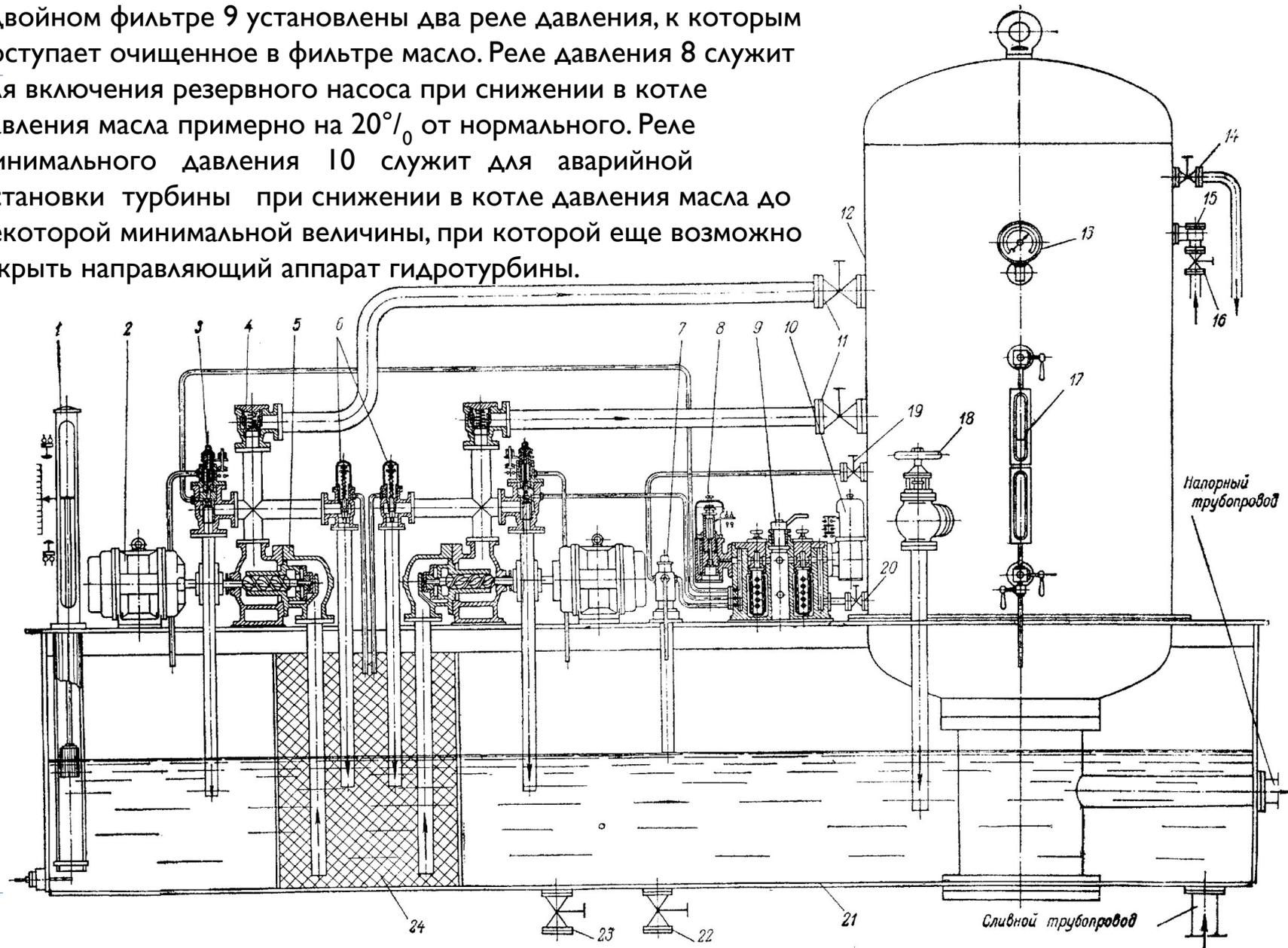
# Предохранительный клапан.

Корпус предохранительного клапана имеет два фланца. Один из них присоединен к корпусу насоса, а другой — к сливной трубе клапана. Диаметр проходных отверстий клапана, в зависимости от производительности, обычно определяется из расчета скорости масла 10—12 л/сек.



# МН

У двойном фильтре 9 установлены два реле давления, к которым поступает очищенное в фильтре масло. Реле давления 8 служит для включения резервного насоса при снижении в котле давления масла примерно на 20% от нормального. Реле минимального давления 10 служит для аварийной остановки турбины при снижении в котле давления масла до некоторой минимальной величины, при которой еще возможно закрыть направляющий аппарат гидротурбины.



# Реле давления

---

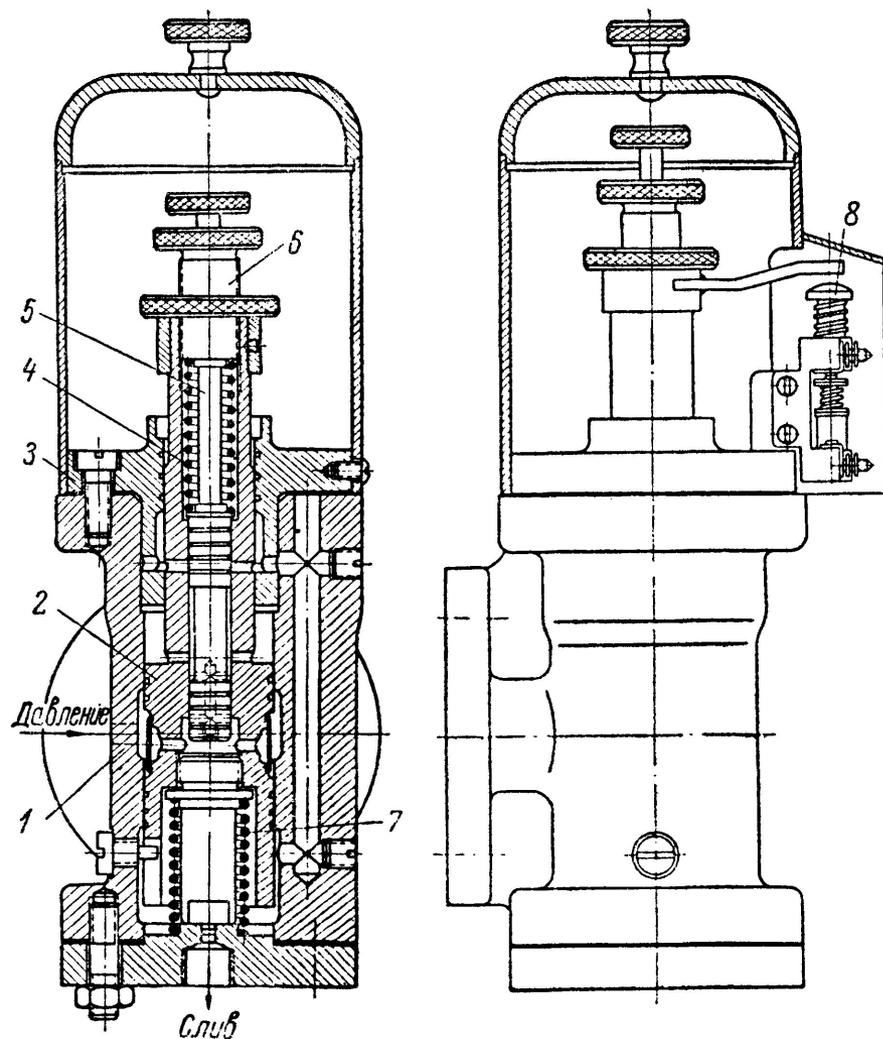
При снижении давления масла в котле до величины  $p_{рез}$  срабатывает реле пониженного давления, которое с помощью своих контактов автоматически включает резервный масляный насос МНУ. В случае дальнейшего снижения давления в котле до величины  $p_{пд}$  срабатывает реле минимального давления. Это реле с помощью своих контактов автоматически воздействует на систему управления турбины, чем приводит турбину к остановке. Снижение давления масла в котле МНУ ниже величины  $p_{рА}$  недопустимо, так как при этом появляется опасность лишить турбину управления.



# Реле давления

Реле давления состоит из чугунного корпуса 1, внутри которого расположен поршень 2, направленный в крышке 3 реле.

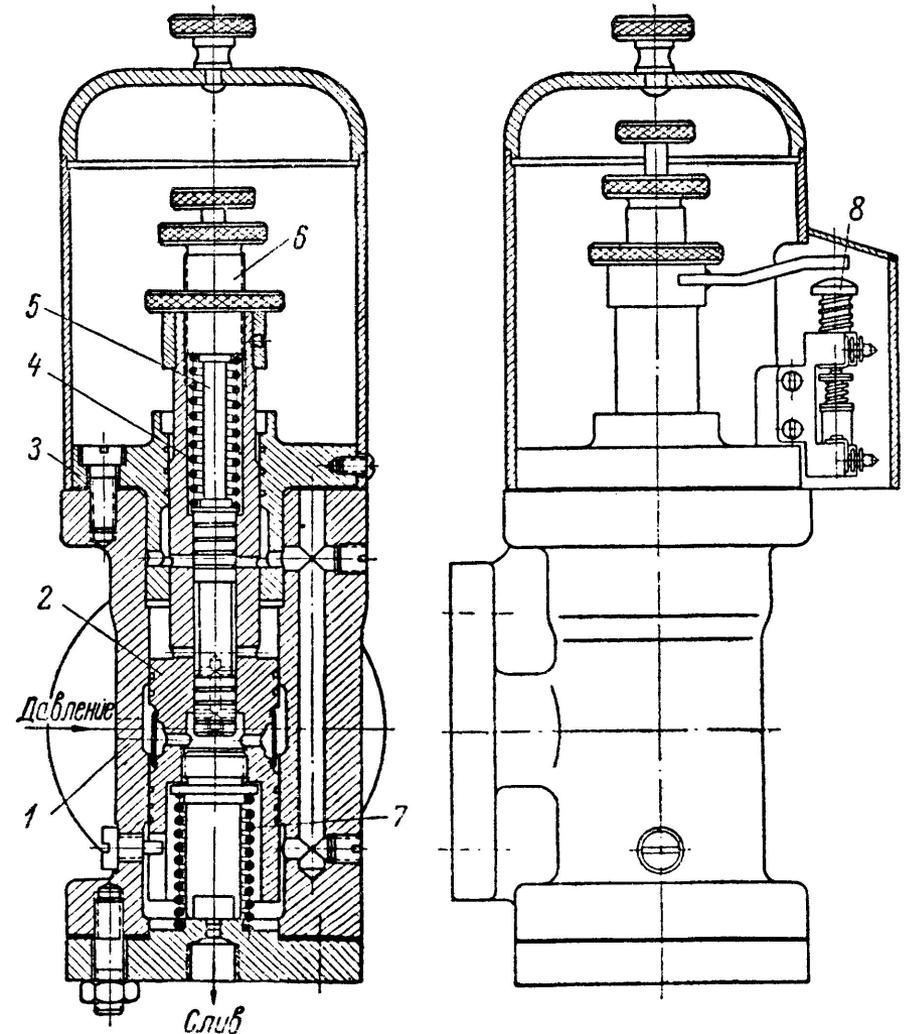
В осевое отверстие поршня входит игла реле 5 с пружиной 4. Если давление в котле превышает уставку реле, игла занимает верхнее положение. При этом область над поршнем реле соединена со сливом, и поршень усилием пружины 7, действующей на него снизу, прижат кверху. Благодаря этому конечный выключатель 8 разомкнут.



# Реле давления

При падении давления в котле ниже установленного игла под действием пружины 4 опускается вниз. При этом область над поршнем реле соединяется с зоной давления, и поршень опускается вниз, что соответствует показанному положению. Благодаря этому конечный выключатель замыкается, что дает соответствующий электрический импульс.

Регулируя поджатие пружины иглы при помощи винта 6 в поршне, можно установить нужное давление, при котором срабатывает реле.



# Двойной масляный фильтр

---

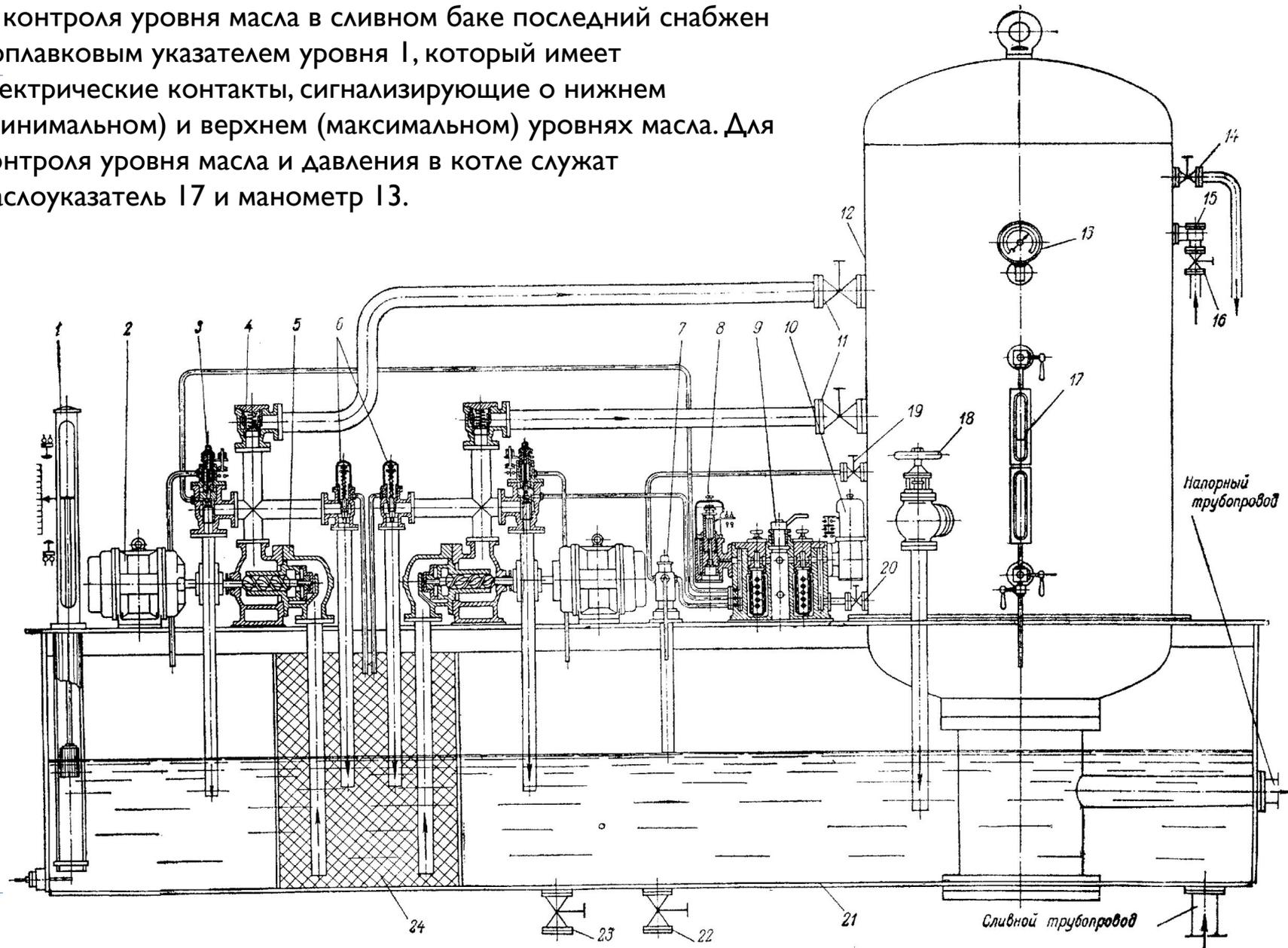
Двойной масляный фильтр служит для очистки масла, идущего из котла МНУ на питание всей ответственной арматуры: перепускных клапанов, реле давлений и т.д. Для четкой и надежной работы этой арматуры требуется тщательно очищенное масло, что предотвращает засорение ее рабочих органов.

Для бесперебойного питания арматуры маслом фильтр выполнен двойным с переключающим трехходовым краном. В случае засорения одного из фильтров подача очищенного масла производится через другой фильтр, в то время как первый может быть разобран и очищен.



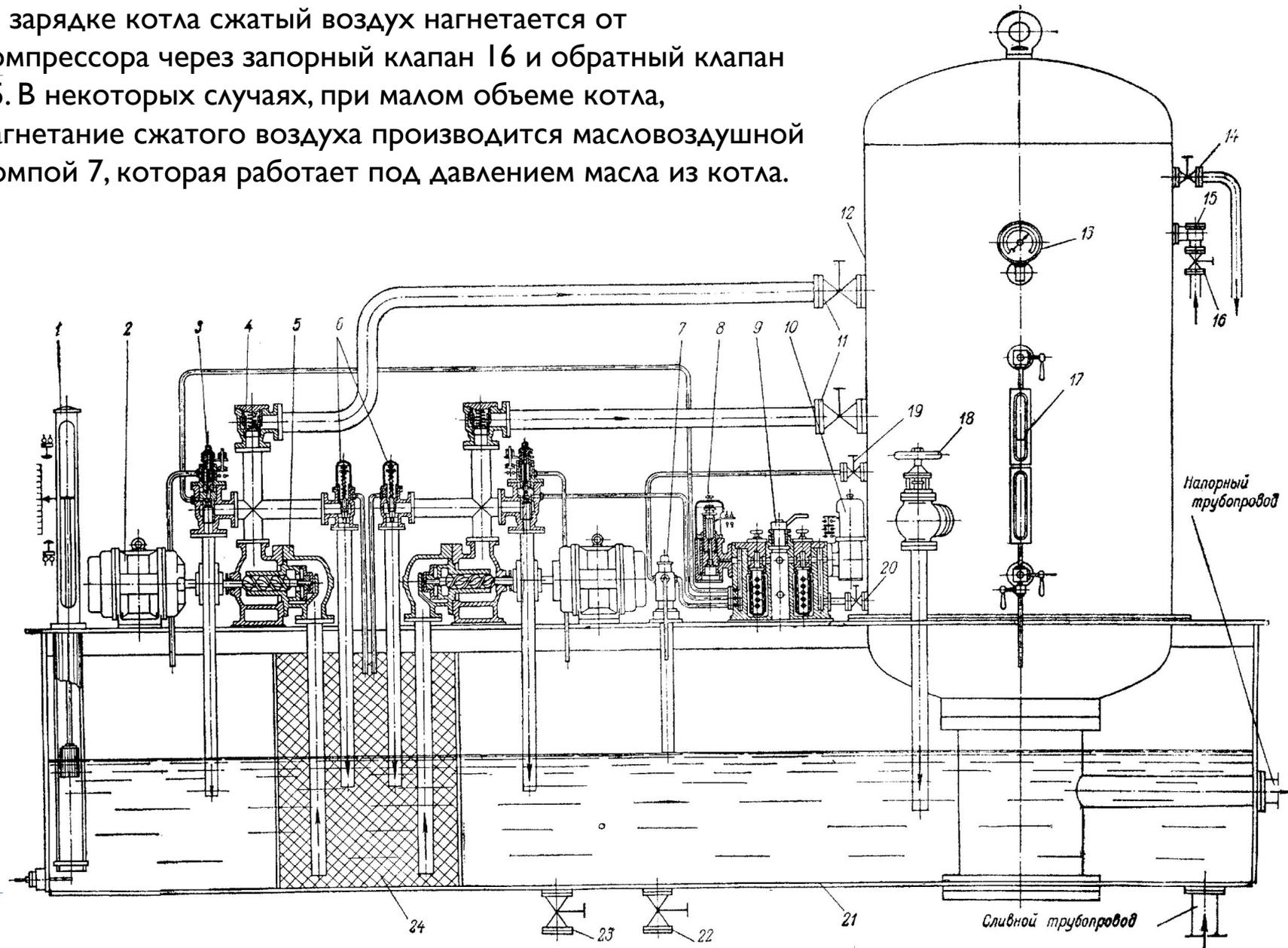
# МН

Для контроля уровня масла в сливном баке последний снабжен поплавковым указателем уровня I, который имеет электрические контакты, сигнализирующие о нижнем (минимальном) и верхнем (максимальном) уровнях масла. Для контроля уровня масла и давления в котле служат маслоуказатель 17 и манометр 13.



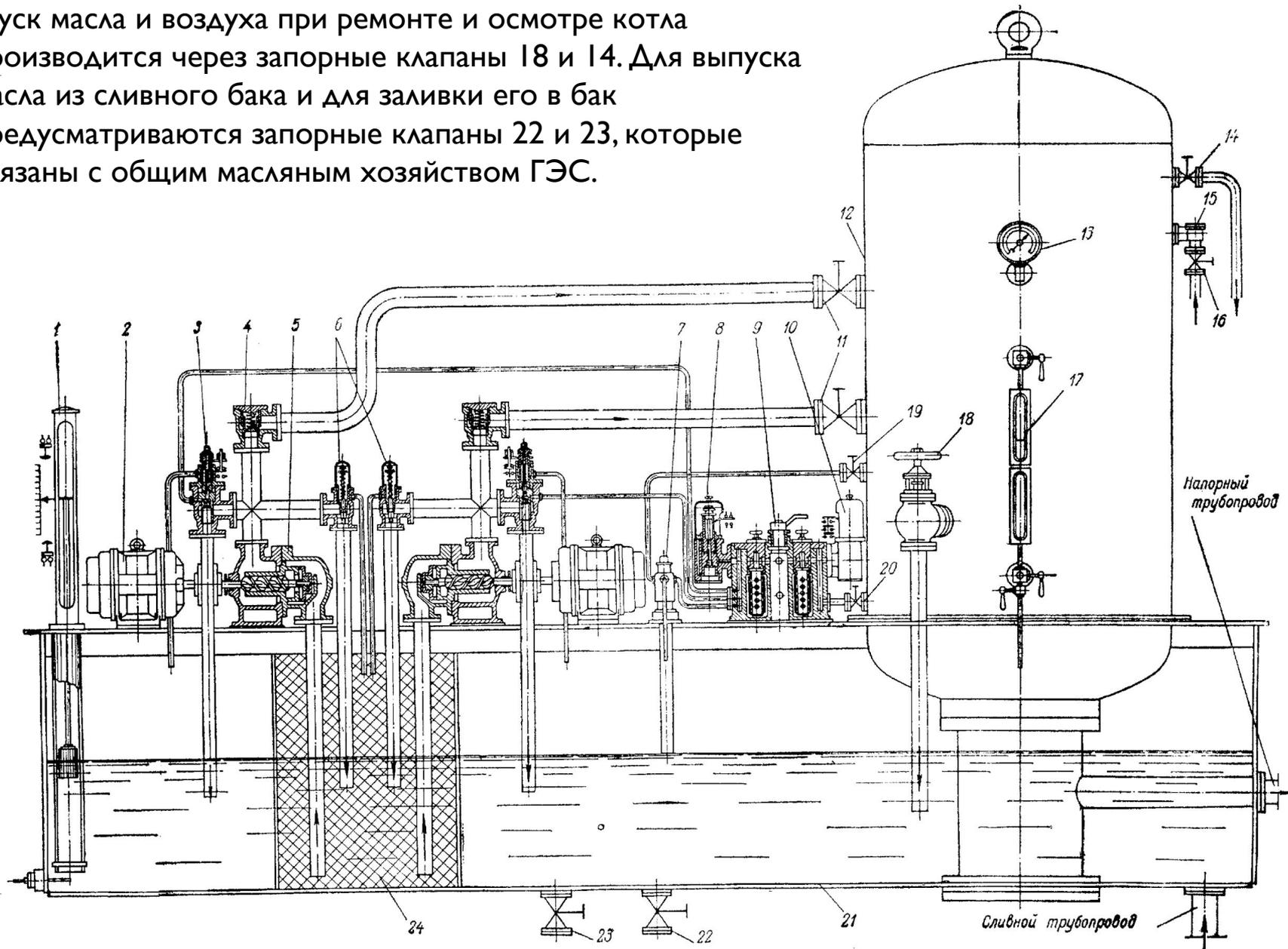
# МН

У При зарядке котла сжатый воздух нагнетается от компрессора через запорный клапан 16 и обратный клапан 15. В некоторых случаях, при малом объеме котла, нагнетание сжатого воздуха производится масловоздушной помпой 7, которая работает под давлением масла из котла.



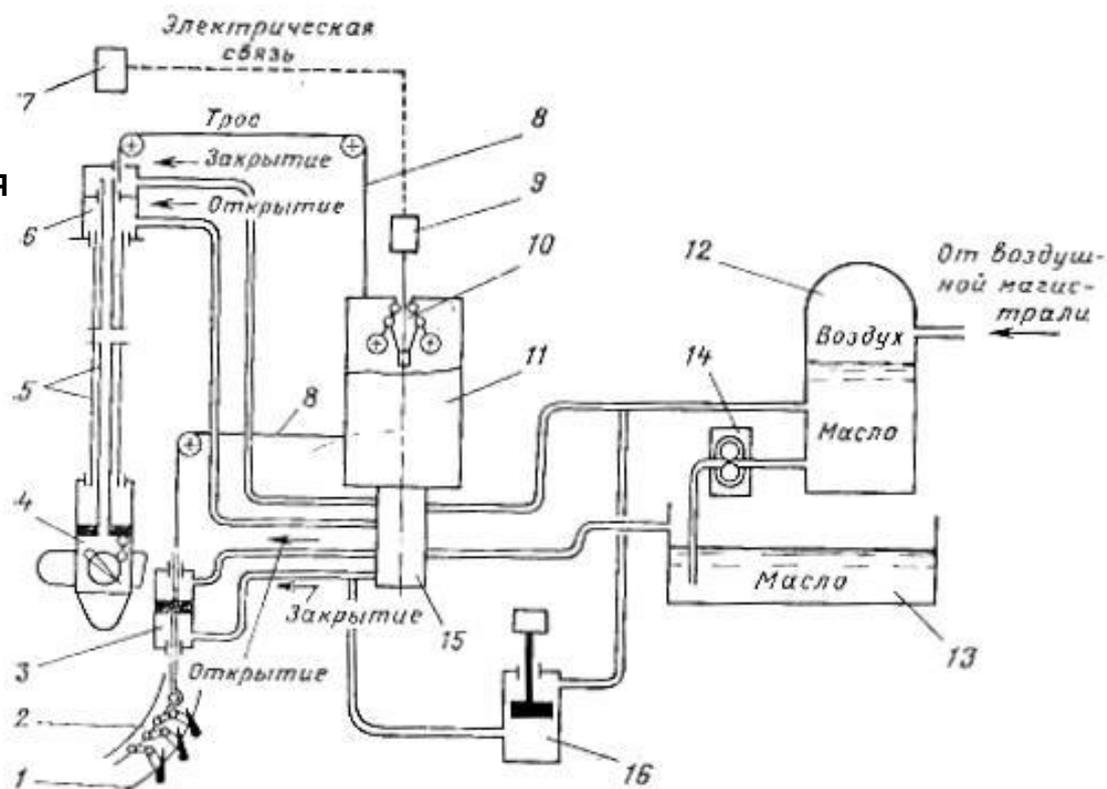
# МН

**У** выпуск масла и воздуха при ремонте и осмотре котла производится через запорные клапаны 18 и 14. Для выпуска масла из сливного бака и для заливки его в бак предусматриваются запорные клапаны 22 и 23, которые связаны с общим масляным хозяйством ГЭС.



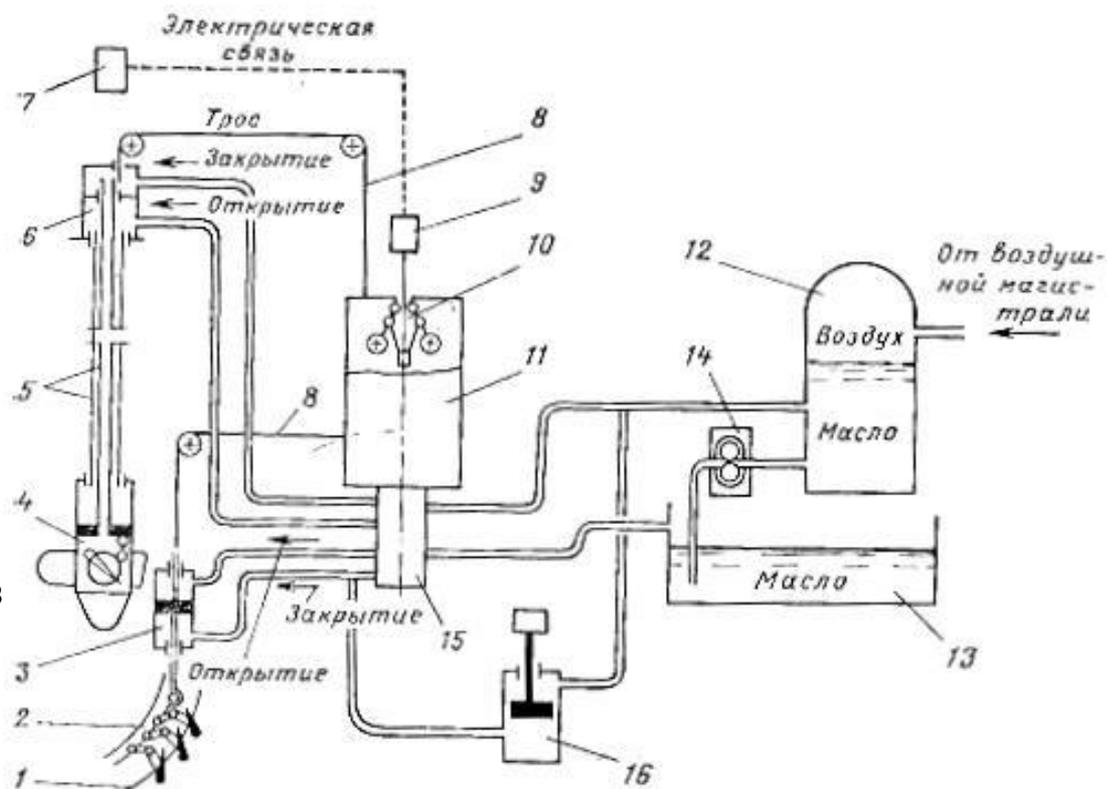
# Регулирование турбины

Для управления процессом регулирования турбина оснащается автоматическим регулятором частоты вращения (скорости), обеспечивающим работу гидроагрегата с постоянной, синхронной частотой вращения, не зависящей от его нагрузки. С помощью регулятора также производится пуск, остановка и изменение нагрузки гидроагрегата.



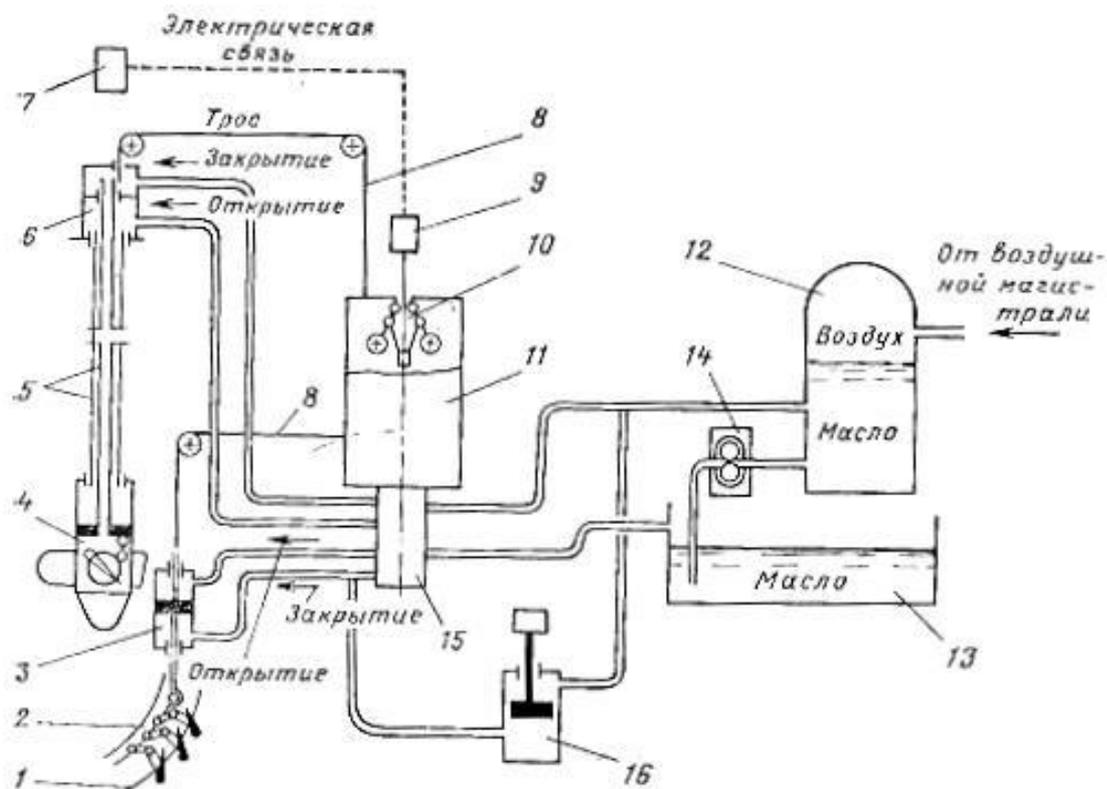
# Регулирование турбины

Маслонапорная установка состоит из котла 12, бака 13 и маслонасосов 14. Котел (масловоздушный аккумулятор давления) в верхней части заполнен воздухом, сжатым до давления 2; 4 или 6,4 МПа, в нижней части — турбинным маслом. Воздух, запас которого изредка пополняется от компрессоров, играет роль упругой подушки, создающей рабочее давление в масляной среде. Из котла по мере необходимости масло подается в сервомоторы, а отработанное масло сливается в бак. При расходе масла в котле снижается давление, что вызывает автоматическое включение маслонасосов, подкачивающих масло из бака до восстановления давления.



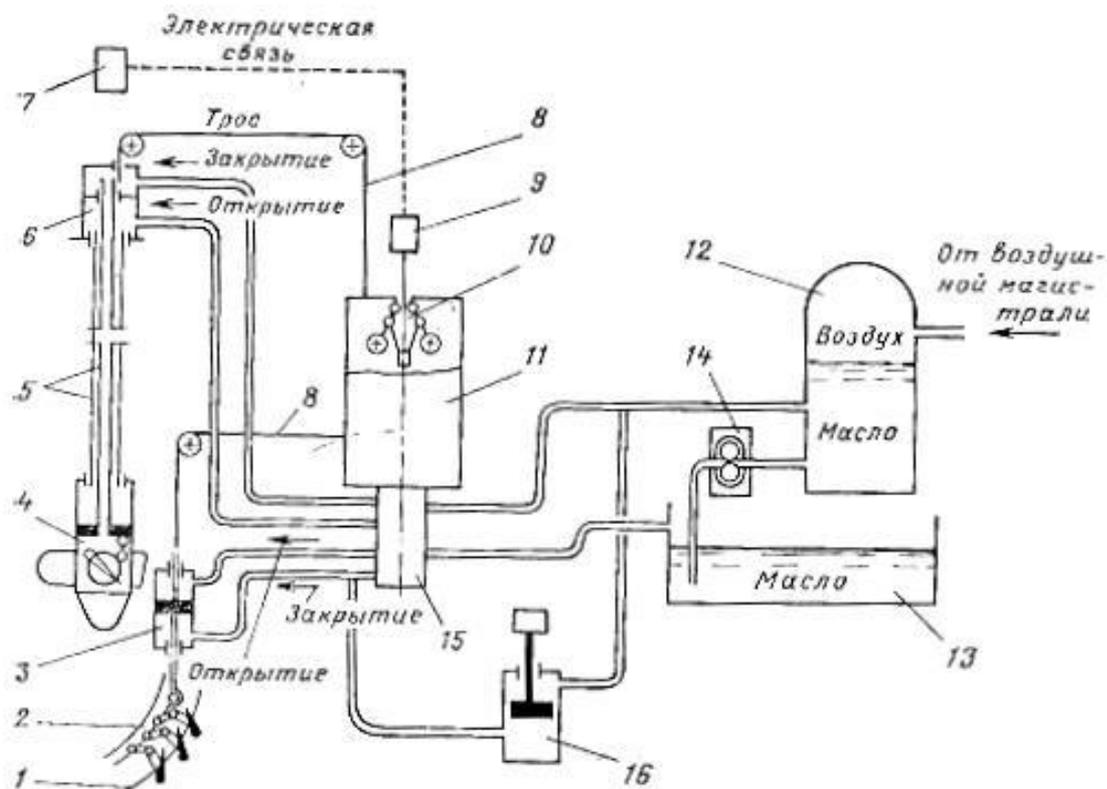
# Регулирование турбины

Основным органом регулятора // является центробежный маятник 10, вращающийся с частотой, строго пропорциональной частоте вращения гидроагрегата, с помощью двигателя 9. Двигатель электрически связан с вспомогательным регуляторным генератором 7, работающим на валу гидроагрегата. Получив импульс об изменении частоты вращения при изменении нагрузки, маятник приводит в действие сложную систему регулятора, многократно усиливающую этот импульс.



# Регулирование турбины

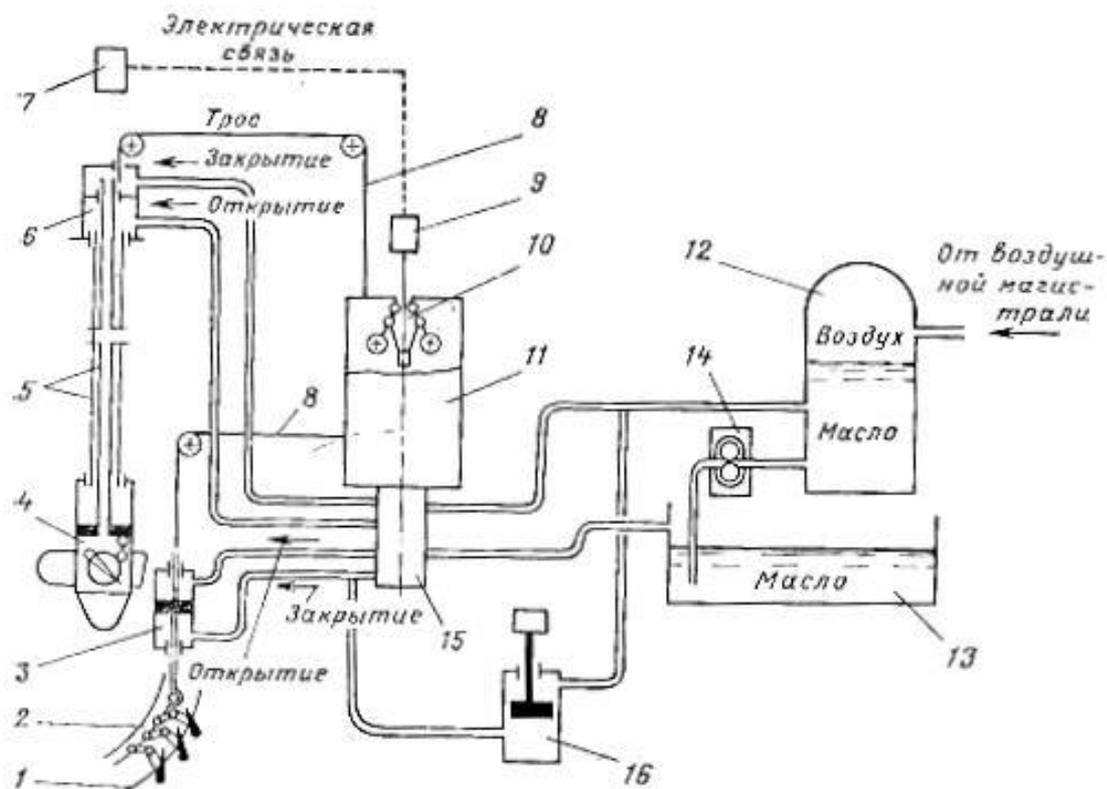
Это приводит к перемещению рабочего тела главного золотника 15, который подает масло в сервомоторы 3 направляющего аппарата, а они, поворачивая регулирующее кольцо 2, изменяют открытие лопаток 1 и расход воды и частоту вращения гидроагрегата. Прекращение регулирования наступает от действия обратной связи 8, которая как бы сообщает регулятору об исполнении его команды.





# Регулирование турбины

В маслоприемнике имеются две неподвижные полости, в отверстия которых с малым зазором входят концентрические расположенные внутри полого вала и вращающиеся вместе с ним трубчатые штанги 5. Штанги связаны с полостями сервомотора, рабочего колеса 4. По внутренней штанге масло подается для смещения поршня сервомотора вверх, по кольцевому зазору между штангами — для смещения вниз.

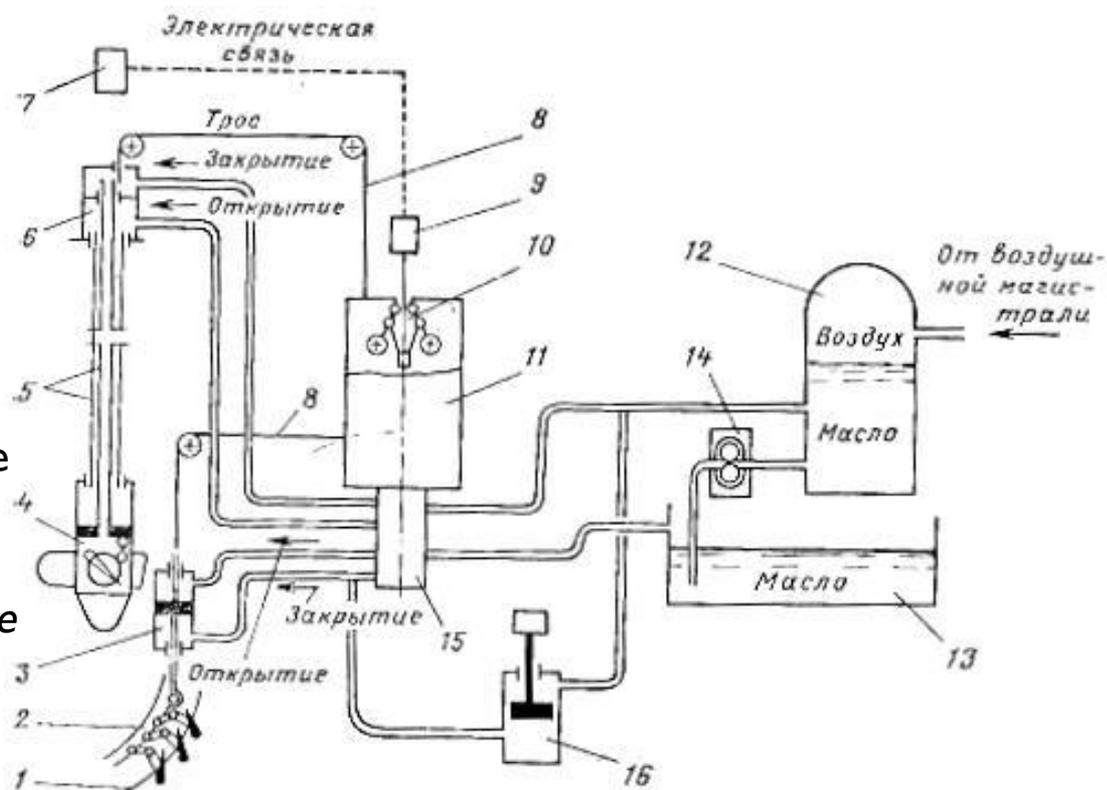


# Регулирование турбины

Вертикальное смещение штанг вместе с поршнем приводит в действие обратную связь 8.

В схеме регулирования предусмотрен золотник аварийного закрытия 16, который в случае отказа регулятора останавливает турбину для предотвращения ее разгона.

Применяются два типа регуляторов: гидромеханические (ГМ) и электрогидравлические (ЭГР). В последних вместо центробежного маятника и гидравлической системы усиления импульсов применена электрическая схема.



# Затворы ГЭС

---

В зданиях ГЭС и водоприемниках затворы применяются для перекрытия водопропускных отверстий и регулирования пропуска расхода воды.

По функциональному назначению можно выделить несколько видов затворов:

- Основные (рабочие) затворы предназначены для регулирования расходов. Они должны открываться и закрываться под напором, в потоке воды. Такие затворы устанавливаются на водосбросах зданий ГЭС совмещенного типа и водоприемниках головных узлов некоторых деривационных ГЭС.
  - Аварийные затворы применяются в случае аварии с основным затвором, при потере регулирования или повреждении турбины, разрыве водовода. Такие затворы закрываются в потоке под напором, открываются без напора, с предварительным выравниванием уровней перед затвором и за ним после устранения последствий аварии. Аварийный затвор обычно позволяет осушить, перекрытый им водовод для ремонта.
  - Ремонтные затворы устанавливают при выровненных уровнях воды перед затвором и за ним для перекрытия отверстий с последующим осушением водоводов при плановых ремонтах. Открытие затворов также производится при выровненных уровнях без напора.
- 



# Затворы ГЭС

Наибольшее распространение на ГЭС получили плоские затворы со скользящими опорами. В некоторых случаях применяют колесные опорно-ходовые части с жестким закреплением колес.

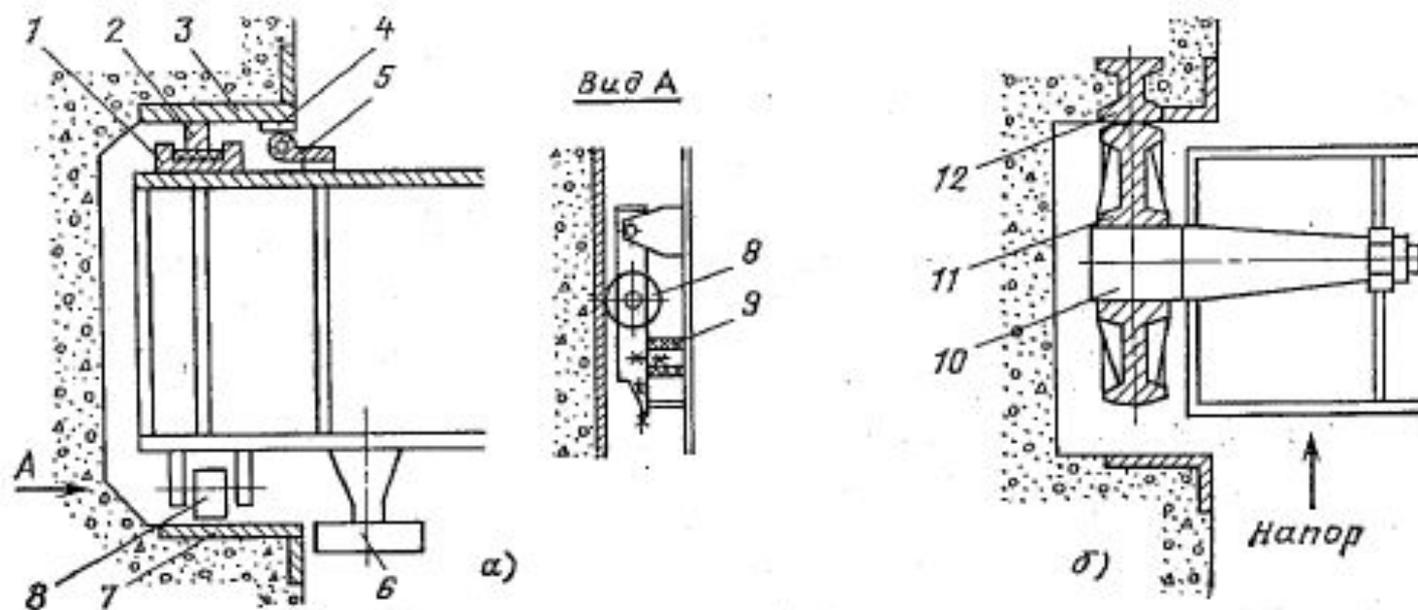


Рис. 3.30. Опорно-ходовые части плоских затворов:

а — скользящие; б — колесные; 1 — опорный скользящий полоз; 2 — рельс для скольжения; 3 — закладная часть рабочего пути; 4 — опорная полоса уплотнения; 5 — уплотнение; 6 — боковое колесо; 7 — закладная часть обратного пути; 8 — обратное колесо; 9 — резиновый буфер; 10 — консольная ось; 11 — рабочее колесо; 12 — рельс для качения

# Затворы ГЭС

---

Затвор, верхняя часть которого после его опускания на порог возвышается над уровнем воды, называется поверхностным. Если затвор перекрывает полностью затопленное, отверстие, его называют глубинным.

Различают стационарные затворы, постоянно находящиеся, на отверстии, и инвентарные, хранящиеся в затворо-хранилище. Каждый инвентарный затвор обслуживает несколько отверстий и устанавливается при необходимости в любое из них передвижным краном.

Стационарные затворы могут иметь индивидуальный электрический или гидравлический привод.

Современные гидротурбины, оснащенные совершенными регуляторами и золотниками аварийного закрытия, не требуют дополнительной защиты от разгона, и, как правило, на их водоприемниках предусматривают лишь инвентарные аварийно-ремонтные затворы. Исключением являются приплотинные и обособленные здания ГЭС, к которым вода подается открыто уложенными металлическими водоводами, тогда на случай разрыва водовода на водоприемнике обязательно устройство быстродействующих аварийно-ремонтных затворов, оснащенных индивидуальным приводом с автоматическим управлением.

---



# Затворы ГЭС

---

На ГЭС с небольшим числом турбин по экономическим соображениям могут применяться стационарные аварийно-ремонтные затворы с индивидуальным приводом или без него. Иногда аварийно-ремонтные затворы с индивидуальным приводом устанавливают в диффузоре отсасывающей трубы, например на ГЭС с горизонтальными капсульными гидроагрегатами. Обычно предусматривают инвентарные ремонтные затворы на выходных отверстиях отсасывающих труб для их осушения.

Некоторые распространены на ГЭС имеют сегментные затворы, применяемые в качестве основных затворах на водосбросах, реже - в качестве аварийно-ремонтных перед турбинами.

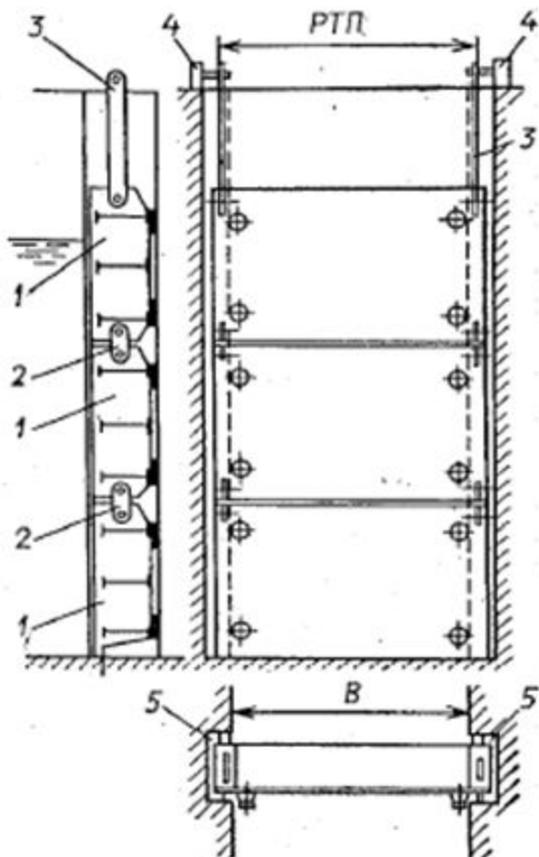
Особая группа затворов—затворы на водоводах. В качестве предтурбинных их установка обязательна в случае присоединения двух и более турбин к одному водоводу, а также при напорах выше 200 м (для сокращения потерь на фильтрацию через направляющий аппарат).

Наиболее распространены дисковые затворы (при напорах до 200 м) и шаровые затворы (при напорах более 200 м). Обычно они имеют индивидуальный гидропривод.

---

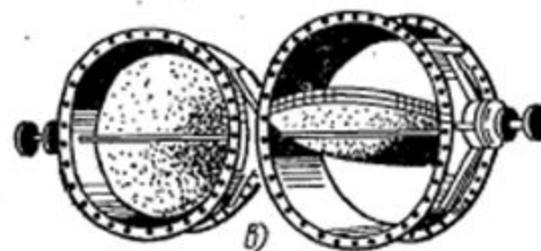
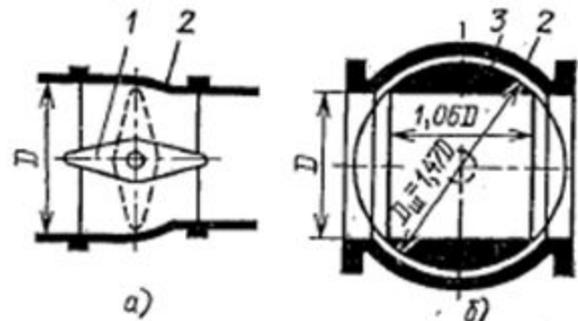


# Затворы ГЭС



Плоский секционный затвор:

1 — секции затвора; 2 — сцепы; 3 — штанги; 4 — подхваты; 5 — пазы

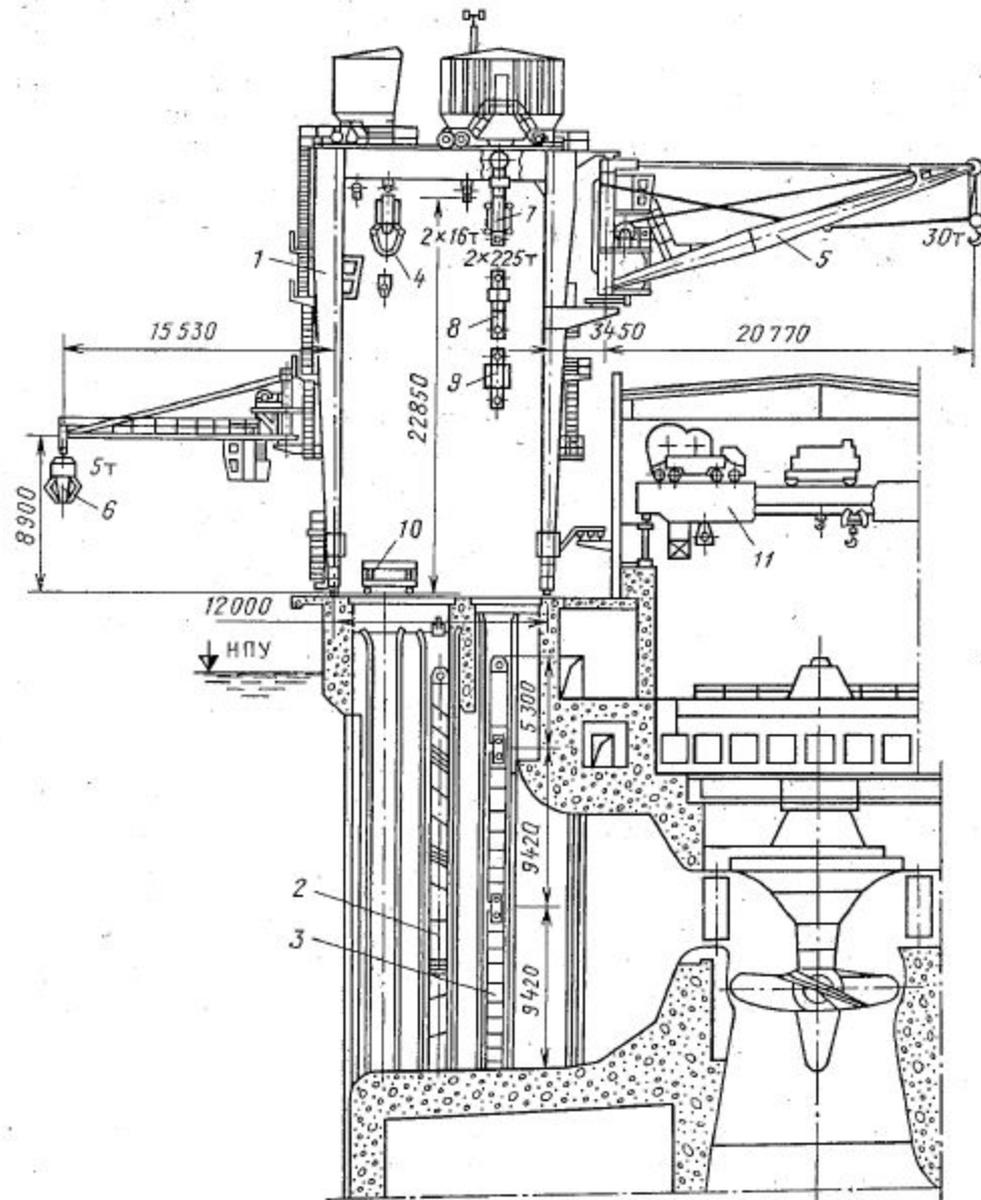


Затворы на водоводах:

а — дисковый затвор; б — шаровой затвор; в — дисковый затвор в закрытом (слева) и открытом положениях; 1 — диск; 2 — корпус; 3 — сферическая поворотная часть

# Краны

- 1 - универсальный козловой кран;
- 2 - сороудерживающая решетка;
- 3 - аварийно-ремонтный затвор;
- 4 - плоско-челюстной грейфер;
- 5 - стрела строительного периода;
- 6 - грейфер типа «полип»;
- 7 - захватная балка для затворов и решеток ГЭС;
- 8 - траверса для затворов плотины;
- 9 - траверса для разгрузки трансформаторов ;
- 10 - тележка для мусора;
- 11 - мостовой край машинного зала.



Механическое оборудование верхнего бьефа Нижнекамской ГЭС

# Краны

---

Мостовые краны применяются для монтажа и ремонта гидроагрегатов и устанавливаются в машинных залах. Их грузоподъемность подбирается в зависимости от массы ротора генератора. При массе более 400 т ротор обычно переносится двумя кранами. Иногда вместо мостового крана в машинном зале применяется полукозловой или козловой кран.

Козловые краны широко используются для обслуживания затворов, решеток и другого механического оборудования.

Козловые краны обычно выполняют комплекс операций. Так, козловый кран Нижнекамской ГЭС обслуживает затворы верхнего бьефа ГЭС и водосливной плотины, очищает решетки и прилегающую к ним акваторию с помощью плоско-челюстного грейфера и подвешенного на стреле грейфера типа «полип», разгружает и подает на монтажную площадку оборудование, включая трансформаторы.

В конструкции козловых кранов целесообразно предусматривать дополнительные стрелы, полезные при строительстве ГЭС. Так, кран Нижнекамской ГЭС снабжен стрелой грузоподъемностью 30 т. По окончании строительства эти стрелы могут быть сняты и сохранены для использования при капитальных ремонтах.

---



# Грейферы

---



ПЛОСКО-ЧЕЛЮСТНОЙ



ТИПА «ПОЛИП»



# Маслохозяйство

---

Масляное хозяйство. На ГЭС имеется большое количество трансформаторного масла, заливаемого в трансформаторы и выключатели, а также турбинного масла, используемого в системе регулирования в качестве энергоносителя, в подпятниках и подшипниках - для смазки и охлаждения. К чистоте масла (отсутствию механических загрязнений и влаги) предъявляются высокие требования. Для приемки, хранения и очистки масла на ГЭС создается масляное хозяйство.

Для каждого из видов масел в хозяйстве имеется не менее трех баков (для свежего, чистого, эксплуатационного масла) и аппаратная с системой коллекторов. К коллекторам подключается маслоочистительная аппаратура, позволяющая очищать масло, перекачивая его из бака в бак или за счет циркуляции в одном баке. Для очистки используются центрифуги, фильтр-прессы, цеолитовые установки, комбинированные агрегаты.

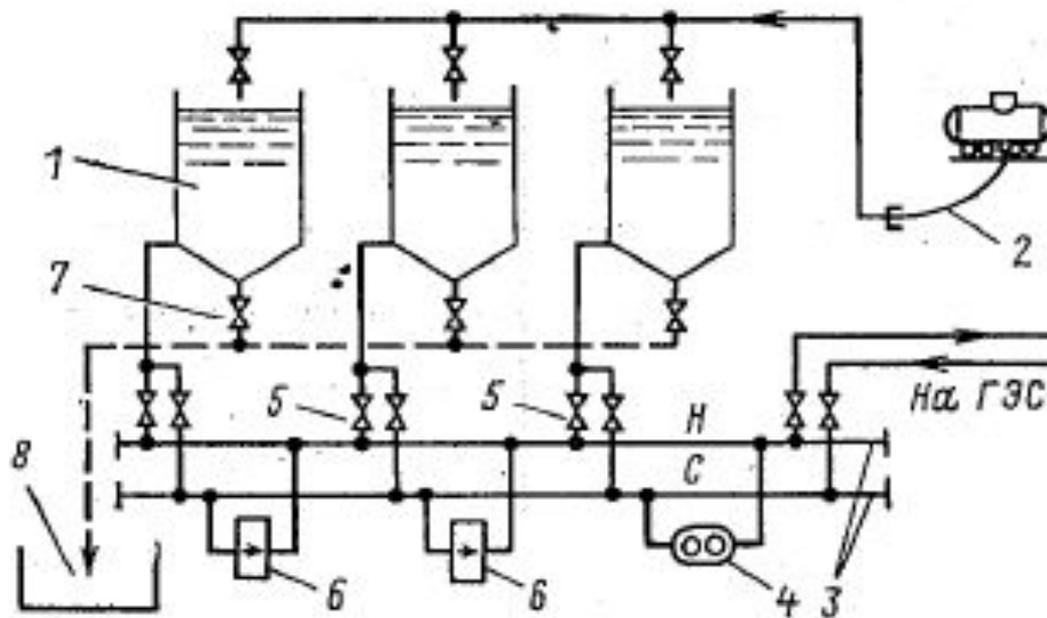
Масляное хозяйство обычно размещается в здании ГЭС (под монтажной площадкой) или отдельно (с открытым расположением баков). От маслохозяйства к гидроагрегатам вдоль здания ГЭС прокладываются маслопроводы.

---



# Маслохозяйство

---



Принципиальная схема масляного хозяйства:

1 - баки; 2 - приемное устройство; 3 - коллекторы (Н – напорный, С - сливной);

4 - маслонасос; 5 - запорная арматура; 6 - маслоочистительная аппаратура; 7 - задвижки аварийного слива; 8 - аварийный бак

---

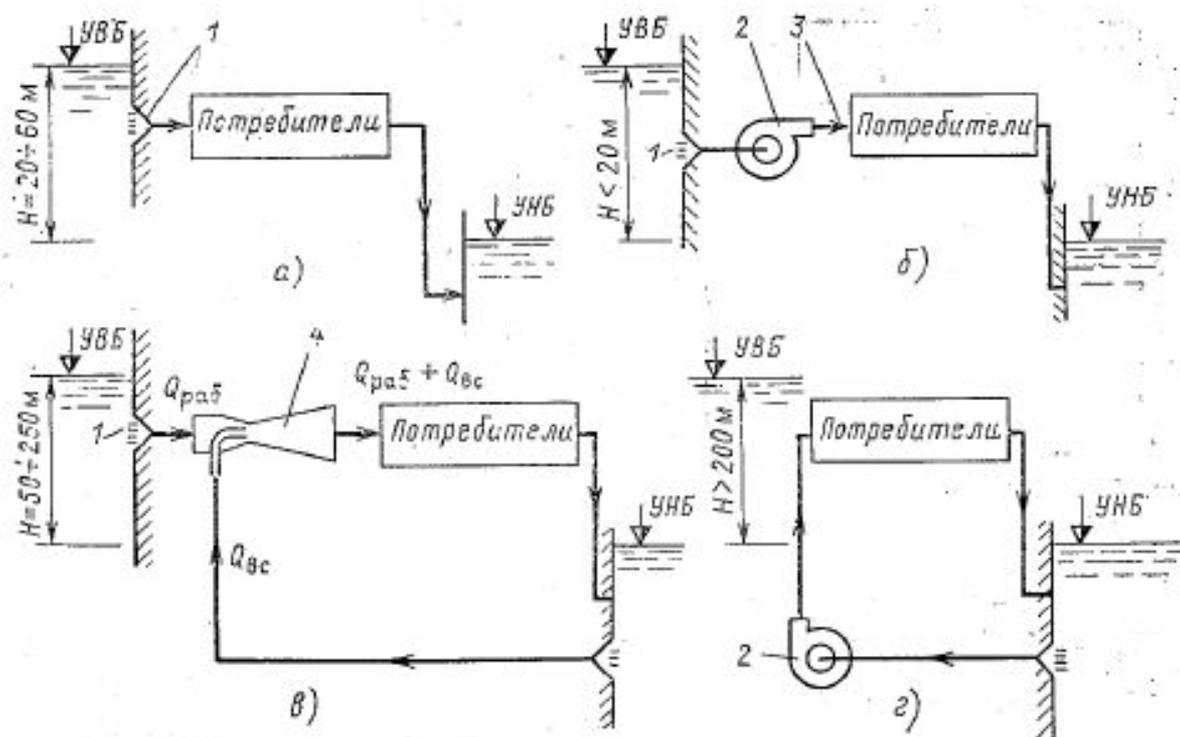
# Техническое водоснабжение

---

Суммарный расход воды охлаждения генераторов, трансформаторов для смазки подшипников турбин и других нужд на крупных ГЭС может достигать нескольких кубических метров в секунду. Давление воды должно быть в пределах 0,3—0,5 МПа, поэтому не всегда возможна наиболее простая самотечная схема технического водоснабжения, особенно если используется вода под напором, имеющимся на ГЭС. При низких напорах применяют насосную схему, увеличивая насосами давление воды. При высоких напорах (выше 200 - 250 м) также применяется насосная схема, но с забором воды из нижнего бьефа. При напорах 50—250 м применяется эжекторная схема с использованием водоструйных насосов-эжекторов. Через эжектор пропускается рабочий расход воды под напором ГЭС, и за счет разрежения, образуемого диффузором эжектора, из нижнего бьефа дополнительно подсасывается вода. На выходе из эжектора давление снижается.



# Техническое водоснабжение



Принципиальные схемы технического водоснабжения:

а - самотечная; б - насосная при низких напорах; в - эжекторная; г — насосная при высоких напорах; 1 - водоприемник; 2 - насос; 3 - направление тока воды; 4 - эжектор

# Система осушения

---

При ремонтах проточная часть гидроагрегата, отделенная от бьефов ремонтными затворами, должна быть осушена. Для этого на ГЭС предусматриваются насосные установки, позволяющие осушить проточную часть одного гидроагрегата не более чем за 4 ч.

На многоагрегатных ГЭС (особенно возведенных на нескальном основании), имеющих развитый массив фундаментной плиты, часто применяют схему осушения с использованием сборной потерны, проходящей через все здание ГЭС, к которой подведены трубопроводы от всех отсасывающих труб. Вода из спиральных камер сливается либо в отсасывающие трубы, либо в потерну. Трубопроводы перекрываются клапанами с гидроприводом или задвижками, устанавливаемыми в сухой потерне. При необходимости осушения какого-либо гидроагрегата открывают клапаны, и вода устремляется в потерну, что обеспечивает быстрое снижение уровня воды в проточной части гидроагрегата и прижатие уплотнений затворов. После заполнения потерны включаются насосы, расположенные в устье здания ГЭС, и вода откачивается в нижний бьеф.

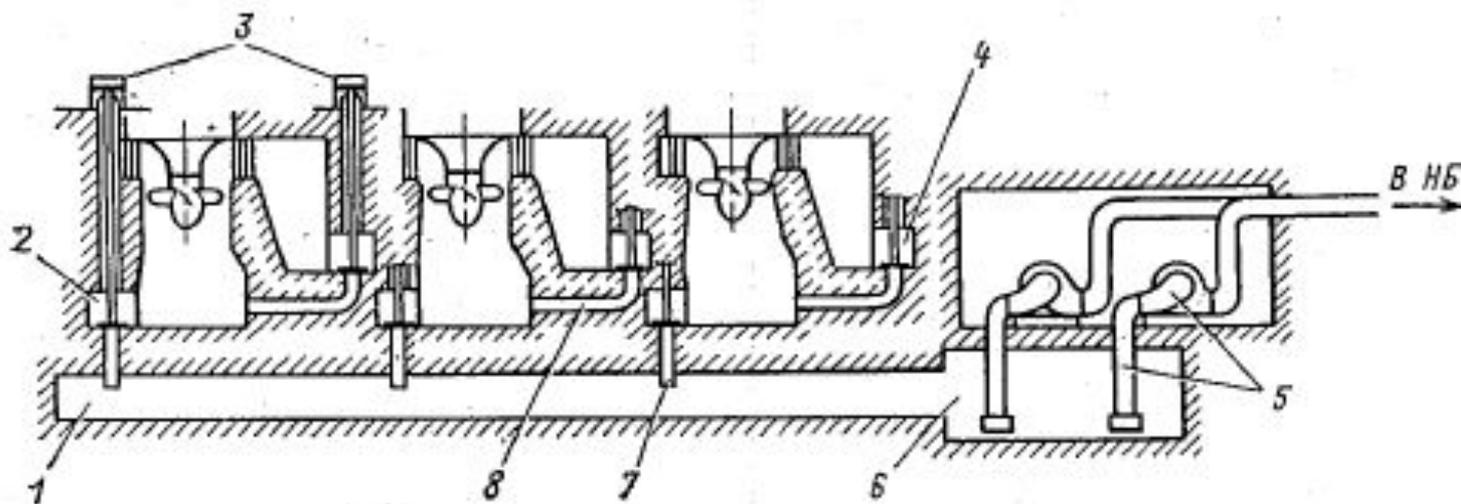
При осушении проточной части гидроагрегата вместо воды поступает воздух по аэрационным трубам. Такими же трубами оборудуется потерна. Аэрационные трубы выводятся выше уровней бьефов и рассчитываются исходя из максимальной скорости воздуха в них 40—50 м/с.

---



# Система осушения

---



Принципиальная схема системы осушения проточной части:

1 - сборная потерна; 2 - спускной клапан отсасывающей трубы; 3 - гидропривод клапана; 4 - спускной клапан спиральной камеры; 5 - насосы; 6 - приемная камера насосов; 7,8 - сливные трубопроводы



# Пневматическое хозяйство

---

Для работы оборудования ГЭС требуется сжатый воздух различного давления.

Источником высокого давления (7 МПа) служат компрессоры, создающие запас воздуха в воздухоборниках (ресиверах). Рабочее давление для МНУ (4 МПа) и для воздушных выключателей (2 МПа), а также низкое давление для торможения гидроагрегата и технических нужд (0,8 МПа) создается редуцированием воздуха через электромагнитные перепускные клапаны, включающиеся от электроконтактных манометров при снижении давления в воздухоборниках (до 4 и 0,8 МПа) и в сети (до 2 МПа). Редуцирование в результате термодинамического процесса воздуха сопровождается его осушением, что необходимо для нормальной работы аппаратуры. Системы высокого и низкого давления могут разделяться и обслуживаться также разными компрессорами.

В качестве воздухоборников кроме обычных конструкций могут использоваться полости в бетоне, облицованные металлом, или длинные трубы диаметром 1,5—3 м.

---



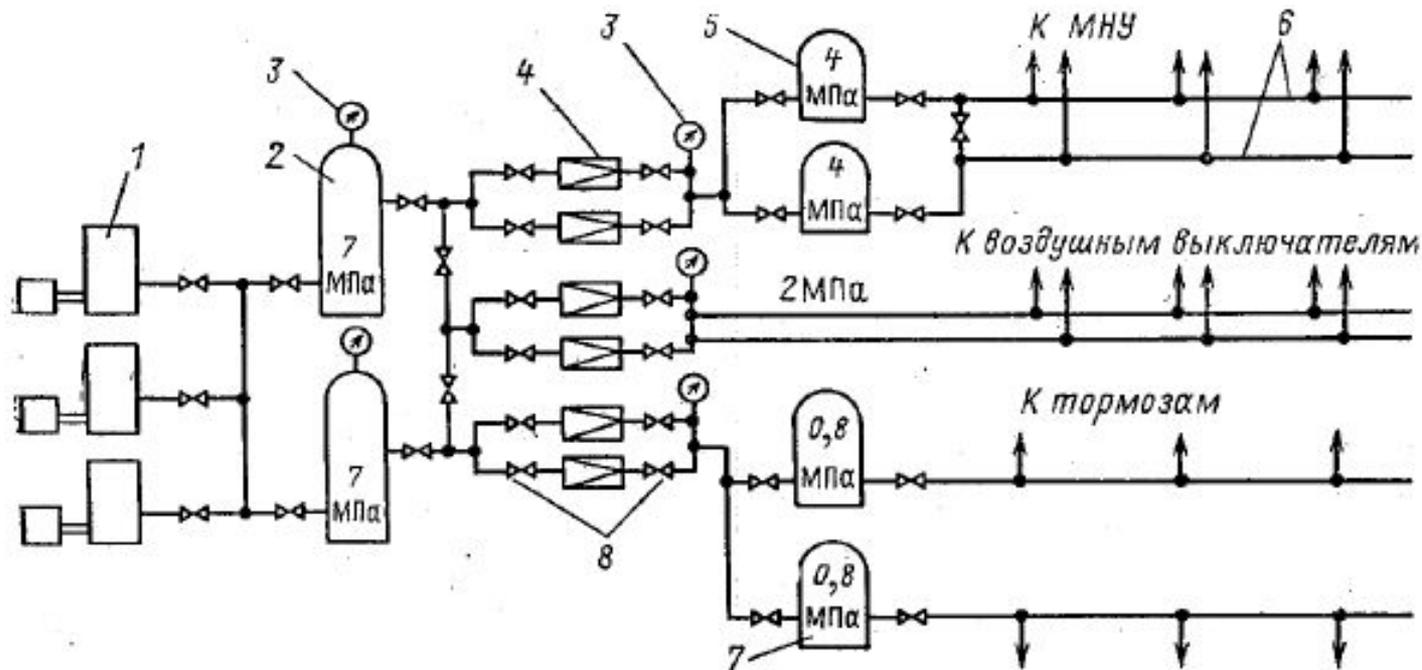
# Пневматическое хозяйство

---

Отдельную воздушную систему устраивают для отжима воды из камеры рабочего колеса при переводе гидроагрегата в режим синхронного компенсатора. Принцип работы системы состоит в том, что воздух, сжатый до некоторого давления в воздухоборнике, быстро выпускается в камеру рабочего колеса, вращающегося на холостом ходу при закрытом направляющем аппарате. Образующаяся воздушная подушка понижает уровень воды в камере и обеспечивает вращение рабочего колеса гидроагрегата, переведенного в двигательный режим, без потерь на трение об воду.



# Пневматическое хозяйство



Принципиальная схема пневматического хозяйства:

- 1 - компрессоры; 2 - воздухохранилища 7 МПа; 3 - электроконтактные манометры;
- 4 - перепускные клапаны; 5 - воздухохранилища 4 МПа; 6 - магистрали сжатого воздуха; 7 - воздухохранилища 0.8 МПа; 8 - запорная аппаратура

# Тормоза

---

Тормоза необходимы для быстрой остановки гидроагрегата, вращающегося по инерции после отключения генератора и закрытия направляющего аппарата турбины. Это особенно важно для работы подпятника, для которого пониженные скорости нежелательны. Система тормозов состоит из диска, укрепленного на роторе, и неподвижных тормозных цилиндров, работающих от сжатого до давления 0,8 МПа воздуха. При подаче воздуха в систему цилиндры прижимают к диску тормозные колодки. С помощью тормозов осуществляют также подъем ротора при ремонтах, для чего в цилиндры вместо воздуха подают масло под давлением до 15 МПа.



# Автоматизация мониторинга ВЫСОТНЫХ ПЛОТИН

---

## **Цели мониторинга:**

- обеспечение безопасности окружающих территорий при нарушении целостности плотины, предупреждение чрезвычайных ситуаций;
- повышение эффективности эксплуатации гидросооружений за счет оптимального регулирования объемов спускаемой воды в течении года.

## **Типовой состав систем контроля:**

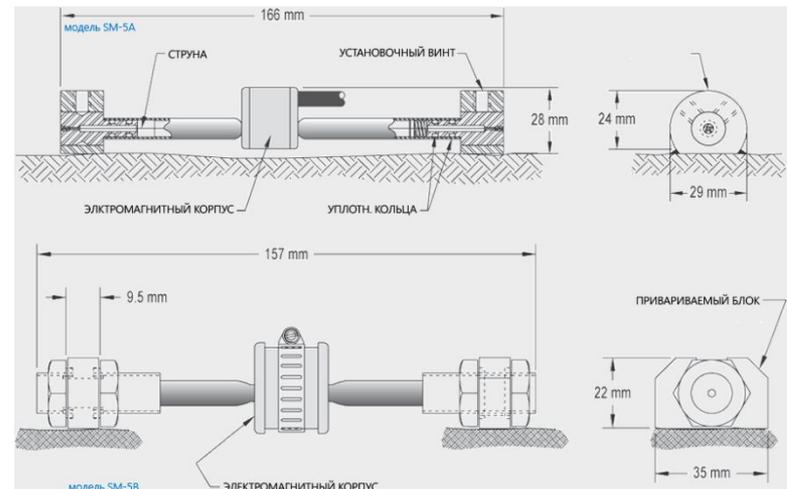
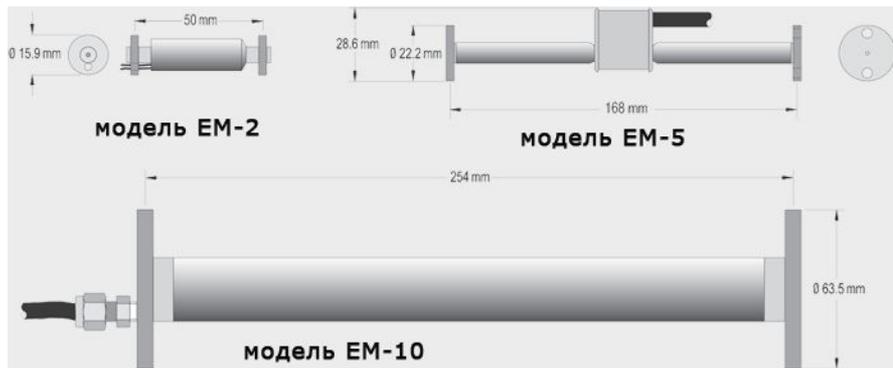
1. Подсистемы и приборы контроля напряженно-деформированного состояния (НДС).
  2. Подсистемы и приборы контроля плановых смещений.
  3. Геодезические створы.
  4. Гидронивелиры.
  5. Пьезометры, деформометры, щелемеры.
  6. Подсистемы контроля фильтрации воды.
  7. Уровнемеры воды в верхнем и нижнем бьефах.
  8. Подсистемы сейсмических наблюдений.
  9. Подсистемы контроля наполняемости водохранилищ и уровня стока воды в нижнем бьефе.
  10. Подсистемы контроля гидрогенераторов.
- 



# Автоматизация мониторинга высотных ПЛОТИН

I. Контроль напряженно-деформированного состояния (НДС): закладные струнные датчики, измеряемый параметр – собственная частота, требуемая точность 0.1 %.

Струнный датчик деформации представляет собой датчик на основе натянутой струны, частота колебаний которой зависит от испытываемого механического напряжения. Электромагнит преобразует колебания струны в электрический сигнал, который передается регистрирующим устройствам. Термистор внутри датчика позволяет получать информацию о температурных эффектах материалов.



# Автоматизация мониторинга высотных плотин

---

## 2. Подсистемы и приборы контроля плановых (горизонтальных) смещений.

Используются прямые и обратные струнные отвесы, требуемая точность  $\pm 50$  мкм.

Прямые отвесы - отвесы в виде стальной струны, закреплённой сверху, и груза внизу, в баке с водой для демпфирования.

Обратные отвесы – струны, но закреплённые внизу (в скважине). Натяжение вверх обеспечивалось поплавком в баке с водой.

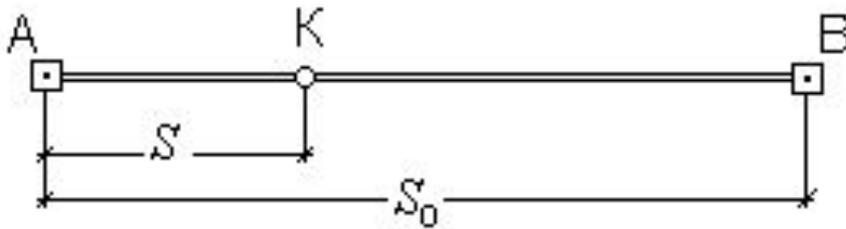
Прямые отвесы лучше приспособлены для наблюдений за поведением части плотины, особенно в процессе строительства; обратный отвес используется для определения смещений оснований сооружений. В необходимых случаях обратные отвесы, заложенные на конечных точках створа в галерее плотины на значительную глубину, где положение якоря отвеса практически неподвижно, можно использовать в качестве опорных пунктов для определения смещений контрольных точек, расположенных на бетонных блоках сооружения.

---

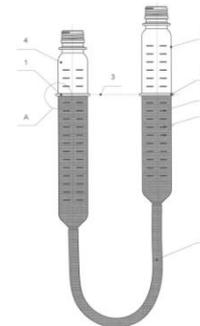


# Автоматизация мониторинга высотных плотин

3. Геодезические створы: струнные створы; оптические геодезические средства (теодолиты, нивелиры, лазерные дальномеры, сканирующие дальномеры); требуемая точность  $\pm 100$  мкм.



4. Гидронивелиры: трубы, заполненные водой, требуемая точность измерений уровня воды  $\pm 20$  мкм.

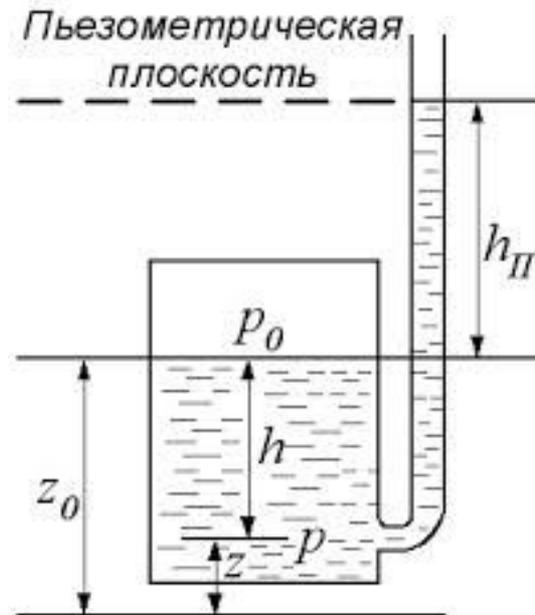


Фиг. 1

# Автоматизация мониторинга высотных ПЛОТИН

5. Пьезометры: измеряемый параметр – давление и уровень воды в скважинах.

Пьезометр - трубка, соединенная нижним концом с сосудом, наполненным жидкостью, и открытая в атмосферу. В гидрогеологии пьезометром является скважина, колодец или другая достигшая водоносной породы выработка, по данным которых можно судить о положении свободного уровня грунтовых вод или пьезометрической поверхности напорных вод.



# Автоматизация мониторинга высотных плотин

---

6. Подсистемы контроля наполняемости водохранилищ и уровня стока:  
Стандартных средств нет. Периодические замеры ручным способом.  
Необходимы автоматизированные дальномеры и системы оценки запасов воды и снежного покрова с использованием космических технологий.
7. Фильтрация воды: измерительные сосуды, периодические ручные измерения
8. Подсистемы сейсмических наблюдений: сеть дистанционных сейсмодатчиков, соединенных через кабельные и радио каналы связи с центральной станцией приема и обработки информации.
9. Подсистемы контроля биений осей гидрогенераторов.



# Существующий уровень автоматизации

---

№	Типы средств	Красноярская	Саяно-Шушенская	Братская	Усть-Илимская	Зейская
1	НДС	А	А (частично)	А	А	А
2	Плановые смещения	НА	НА	НА	НА	НА
3	Геодезические створы	НА	НА	НА	НА	НА
4	Гидронивелиры	НА	НА	НА	НА	НА
5	Пьезометры	НА	НА	НА	НА	НА
6	Фильтрации воды	НА	НА	НА	НА	НА
7	Уровнемеры в бьефах	НА	НА	НА	НА	НА
8	Сейсмические системы	А	А	А	А	А
9	Наполняемость воды	НА	НА	НА	НА	НА
10	Контроль стоков	НА	НА	НА	НА	НА

---

