

ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ И

ТЭС

СЛЮСАРСКИЙ К.В.

ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ ТЭС

Виды тепловых схем ТЭС:

- Принципиальная схема – включает в себя основное оборудование. Однотипное оборудование изображается одним элементом вне зависимости от числа установленных агрегатов.
- Развернутая тепловая схема – включает в себя тепловое оборудование всех трактов, в т.ч. все основные и вспомогательные агрегаты, а также трубопроводы в полном объеме.

Принципиальная тепловая схема используется для реализации проектных и оптимизационных расчетов при проектировании ТЭС.

Развернутая тепловая схема позволяет определить функциональные связи всех основных систем ТЭС (в т.ч. пусковые, резервные и аварийные линии и оборудование).

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

	Свежий пар		Непрерывная продувка
	Пар промежуточного перегрева		Периодическая продувка
	Питательная вода, впрыск		Клапан, задвижка
	Конденсат		Обратный затвор
	Пар отборов, на обдувку		Регулирующий клапан
	Пар уплотнений		Регулирующий клапан с электроприводом
	Дренаж		Регулирующий клапан с колонкой дистанционного управления (КДУ)
	Паровоздушная смесь		Обратный затвор с гидроприводом
	Рециркуляция, линии растопки		Предохранительный клапан

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Выпар



Химобессоленная вода



Циркуляционная вода



Пар сбросной, пере-
пускной, на собствен-
ные нужды



Шайба дроссельная



Набор дроссельных
шайб



Электропривод



Соединение трубопро-
водов



Арматура под вакуумом



Редукционный клапан



Впрыскивающий пароохла-
дитель



Редукционно-охладитель-
ное устройство



Расходомер



Воронка открытая



Выхлоп в атмосферу



Фильтр водяной

РАЗВЕРНУТАЯ ТЕПЛОВАЯ СХЕМА БЛОКА НА 800 МВт

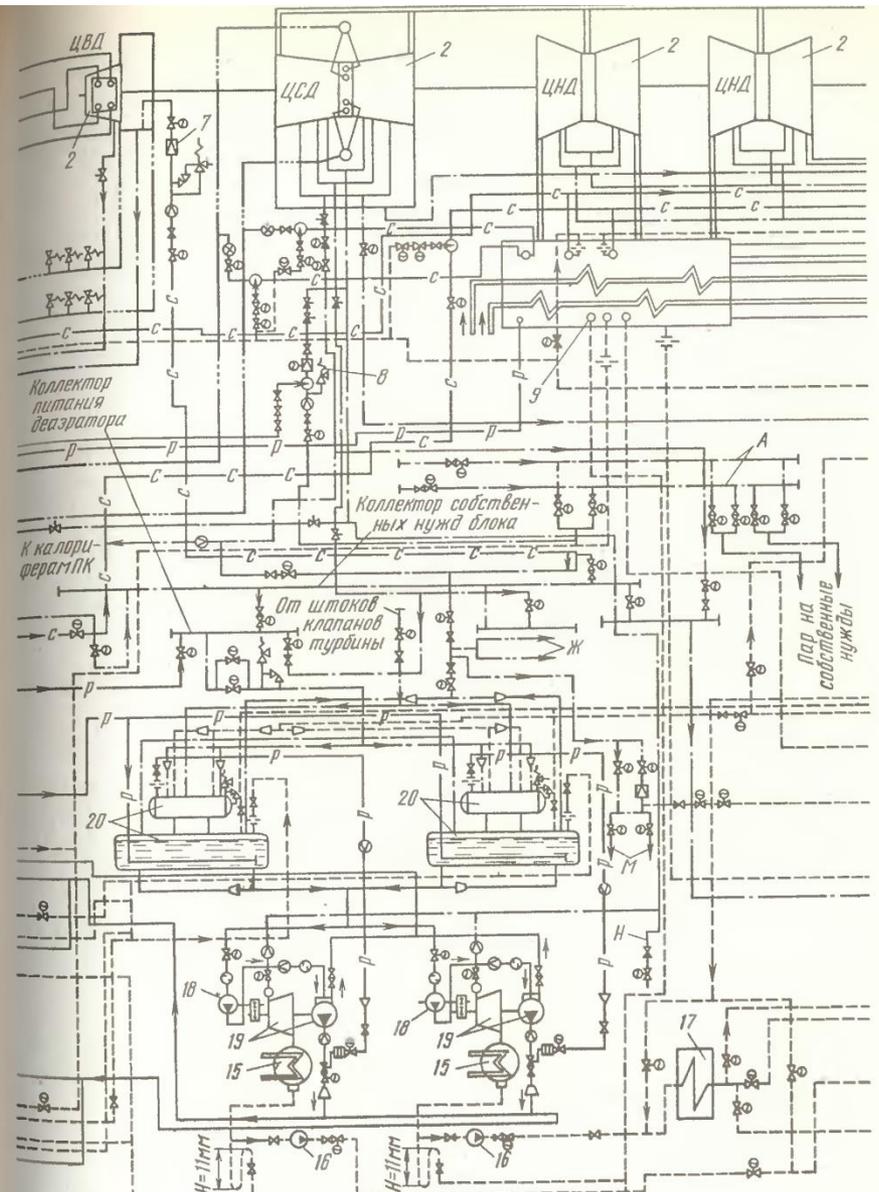
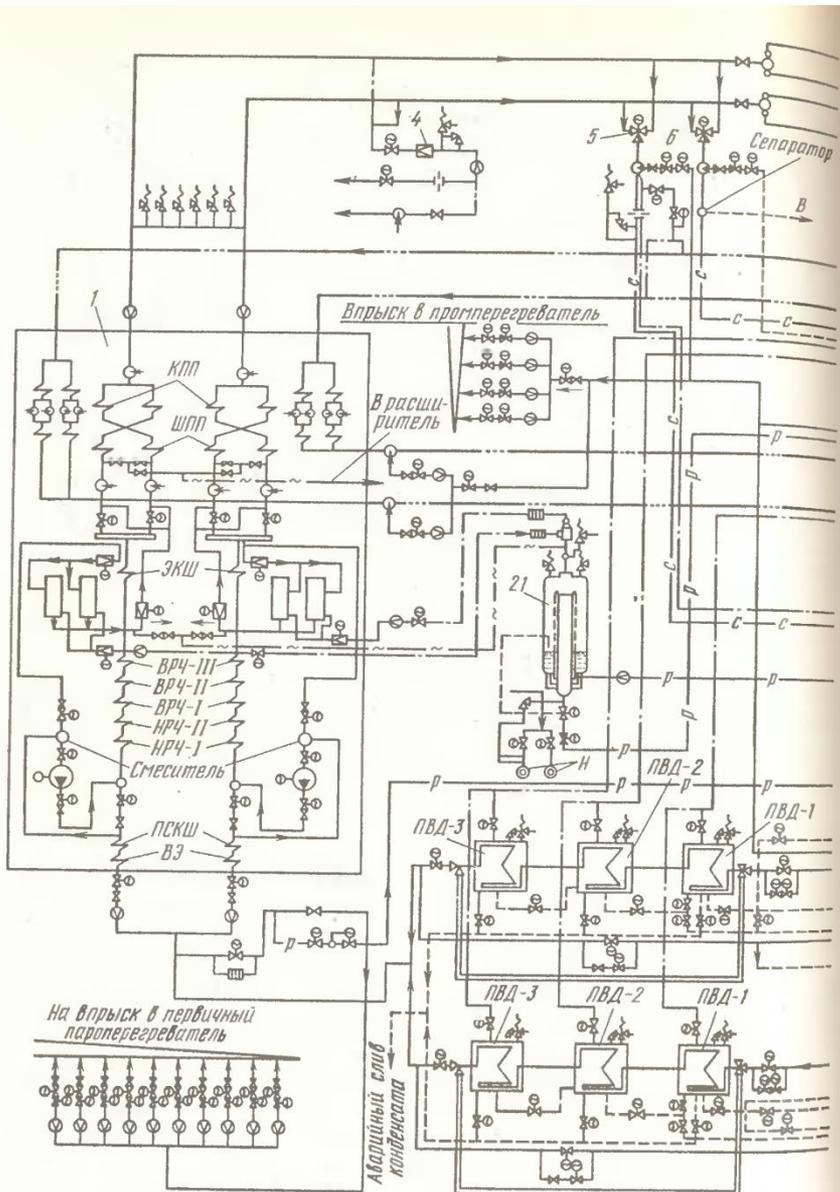
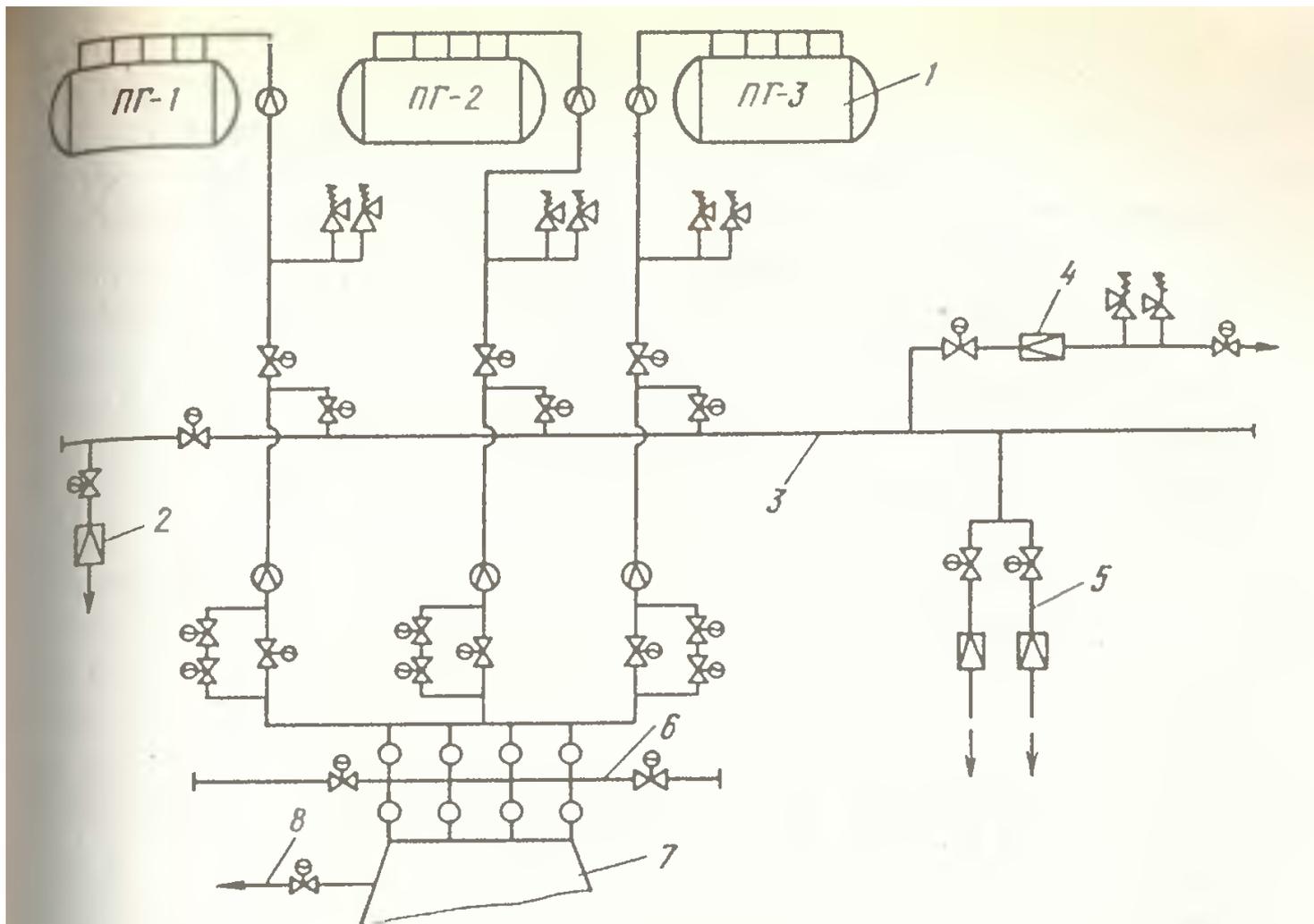


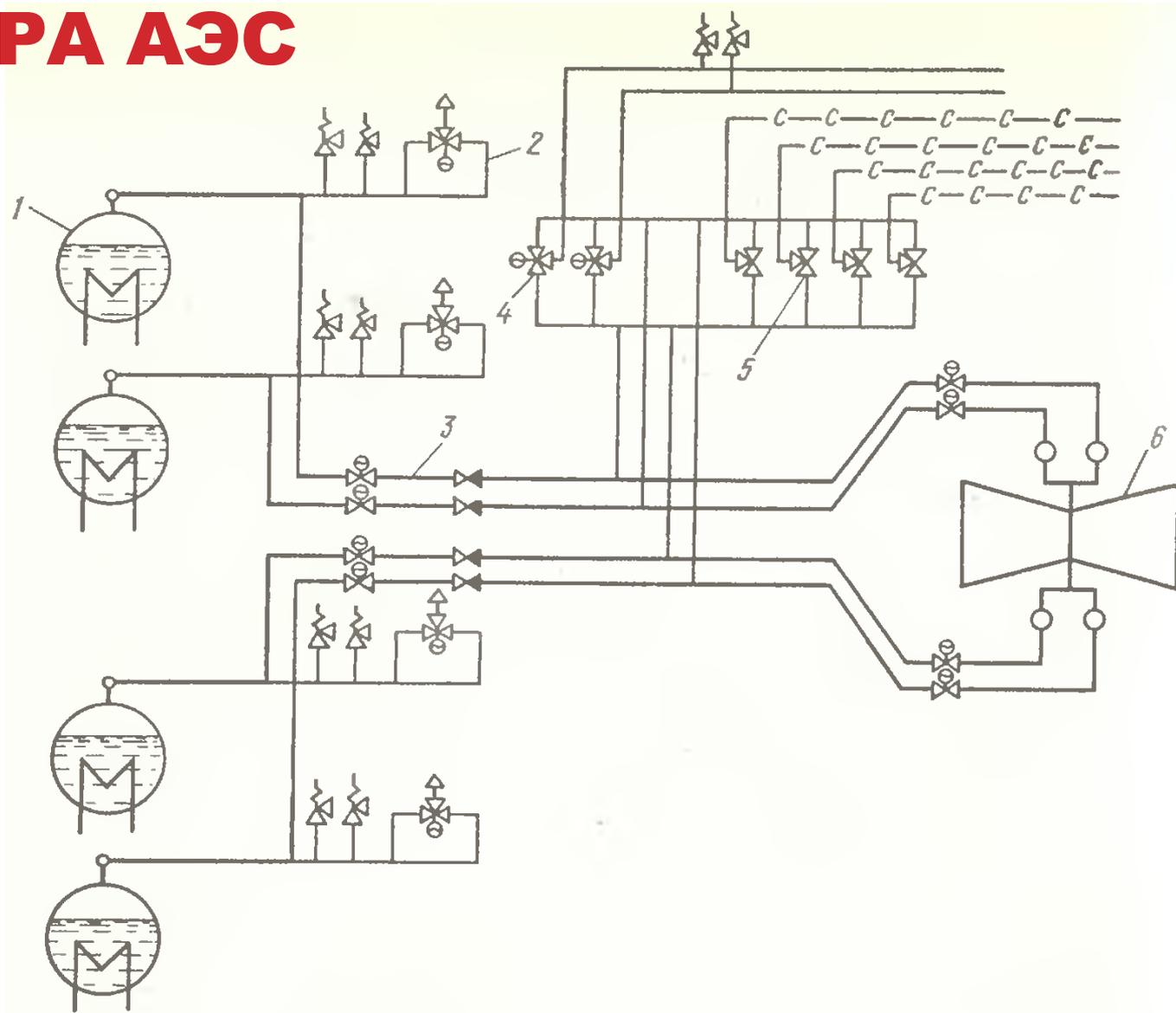
Рис. 10.7. ПТС блока мощностью 800 МВт.

СХЕМА ПАРОПРОВОДОВ СВЕЖЕГО ПАРА АЭС



1 – ПГ; 2 – пар в технологический конденсатор; 3 – переключательная магистраль; 4 – БРУ собственных нужд (БРУ-СН); 5 – БРУ сброса в конденсатор (БРУ-К); 6 – отвод свежего пара в пароперегреватель; 7 – ПВД турбины; 8 – отбор пара в пароперегреватель и в регенеративный подогреватель

СХЕМА ПАРОПРОВОДОВ СВЕЖЕГО ПАРА АЭС



1 – ПГ; 2 – БРУ-А; 3 – главный паропровод; 4 – БРУ-РТД; 5 – БРУ-К; 6 – ЦВД турбины

ПОДВОД ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

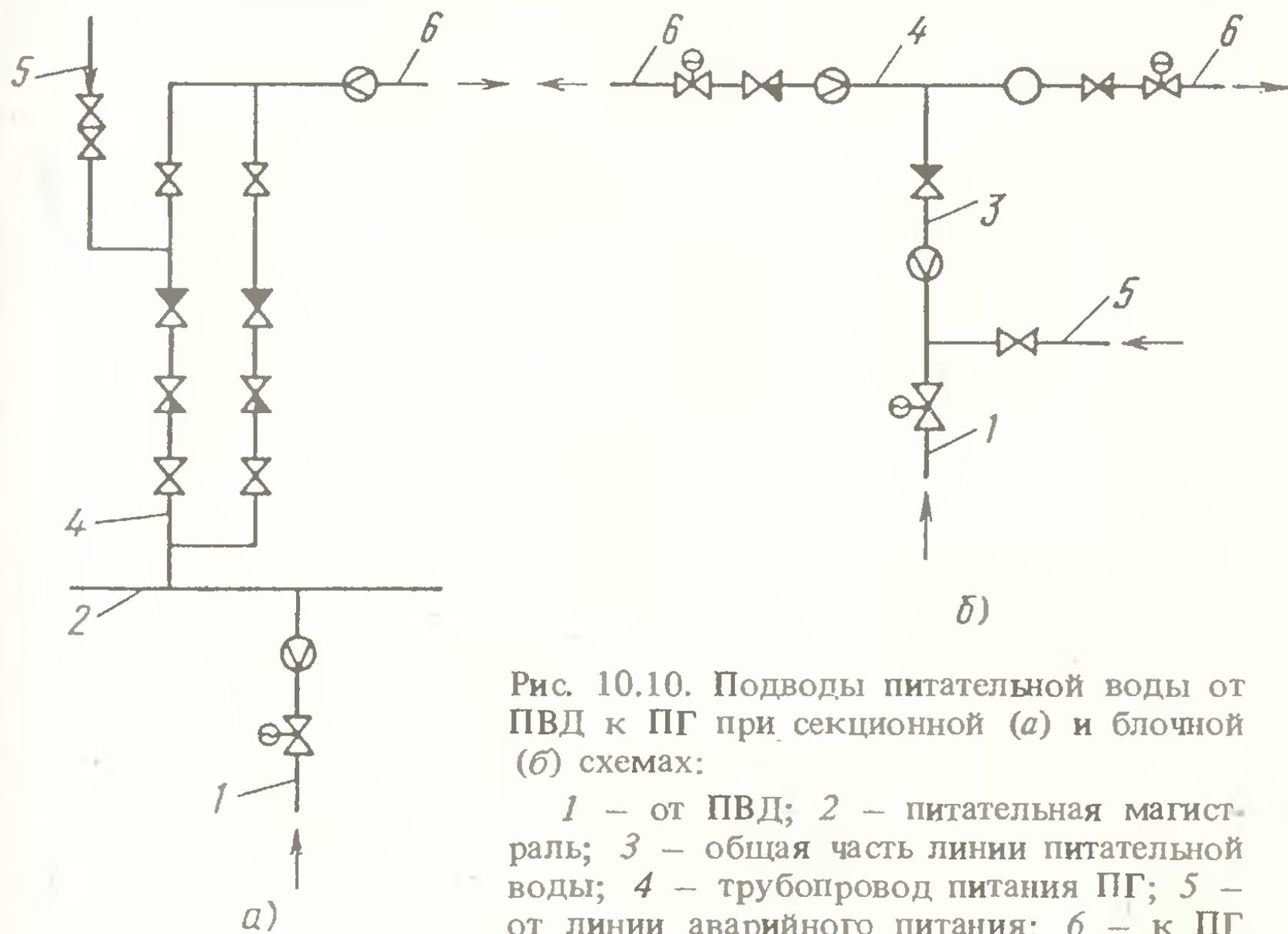
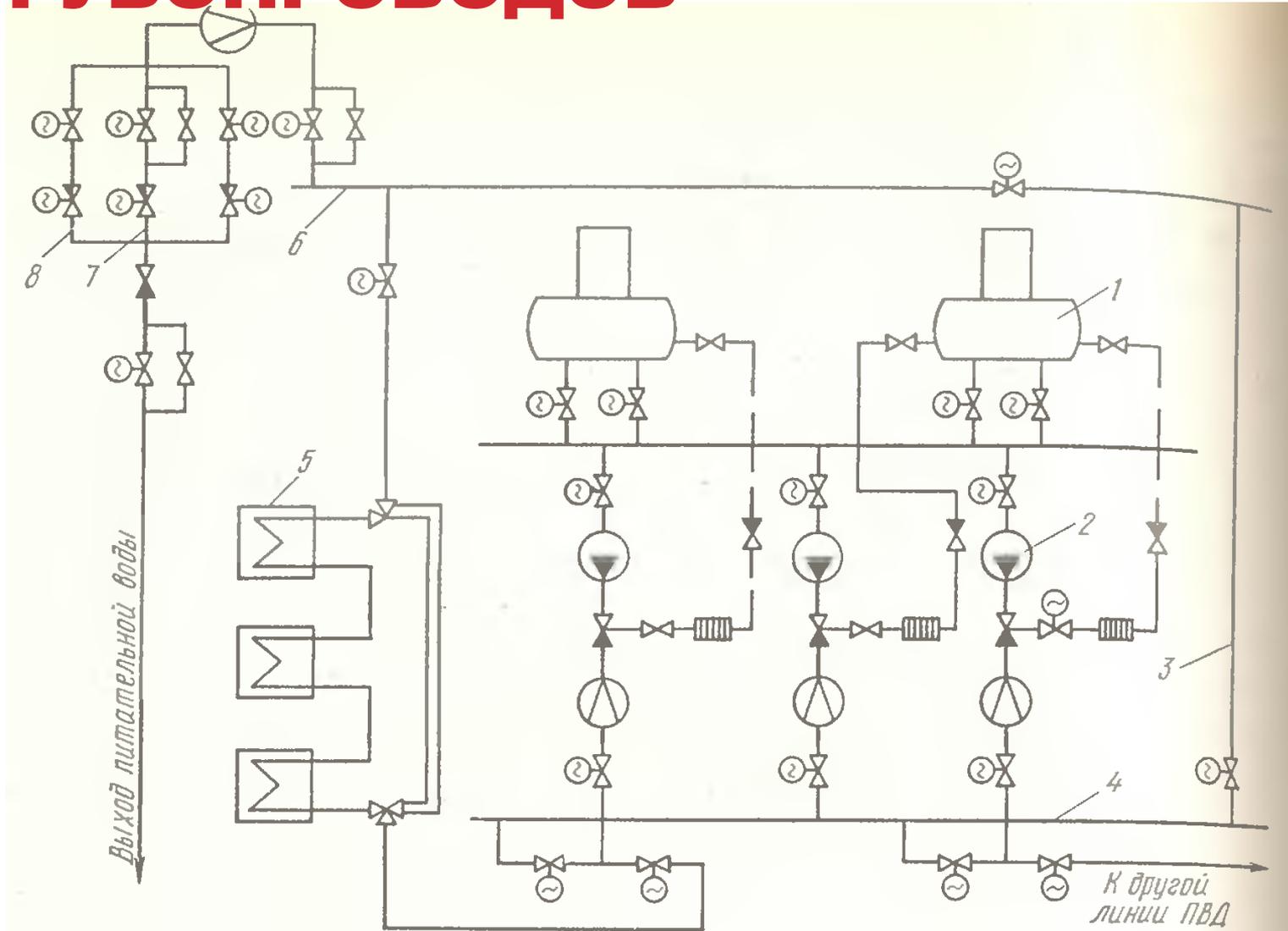


Рис. 10.10. Подводы питательной воды от ПВД к ПГ при секционной (а) и блочной (б) схемах:

1 – от ПВД; 2 – питательная магистраль; 3 – общая часть линии питательной воды; 4 – трубопровод питания ПГ; 5 – от линии аварийного питания; 6 – к ПГ

СХЕМА ПИТАТЕЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ



1 – деаэратор; 2 – питательный насос; 3 – линия холодного питания; 4 – переключательная магистраль; 5 – ПВД; 6 – общая питательная магистраль; 7 – главный питательный трубопровод парового котла; 8 – байпасная линия

СХЕМА ПИТАТЕЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

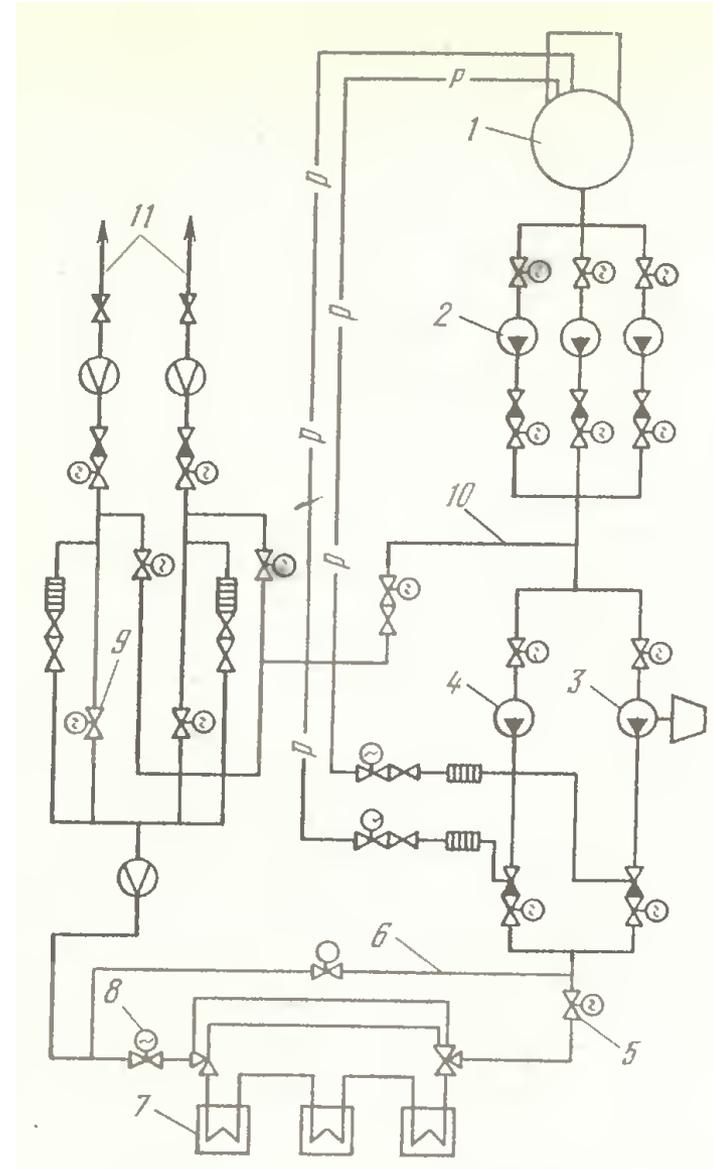
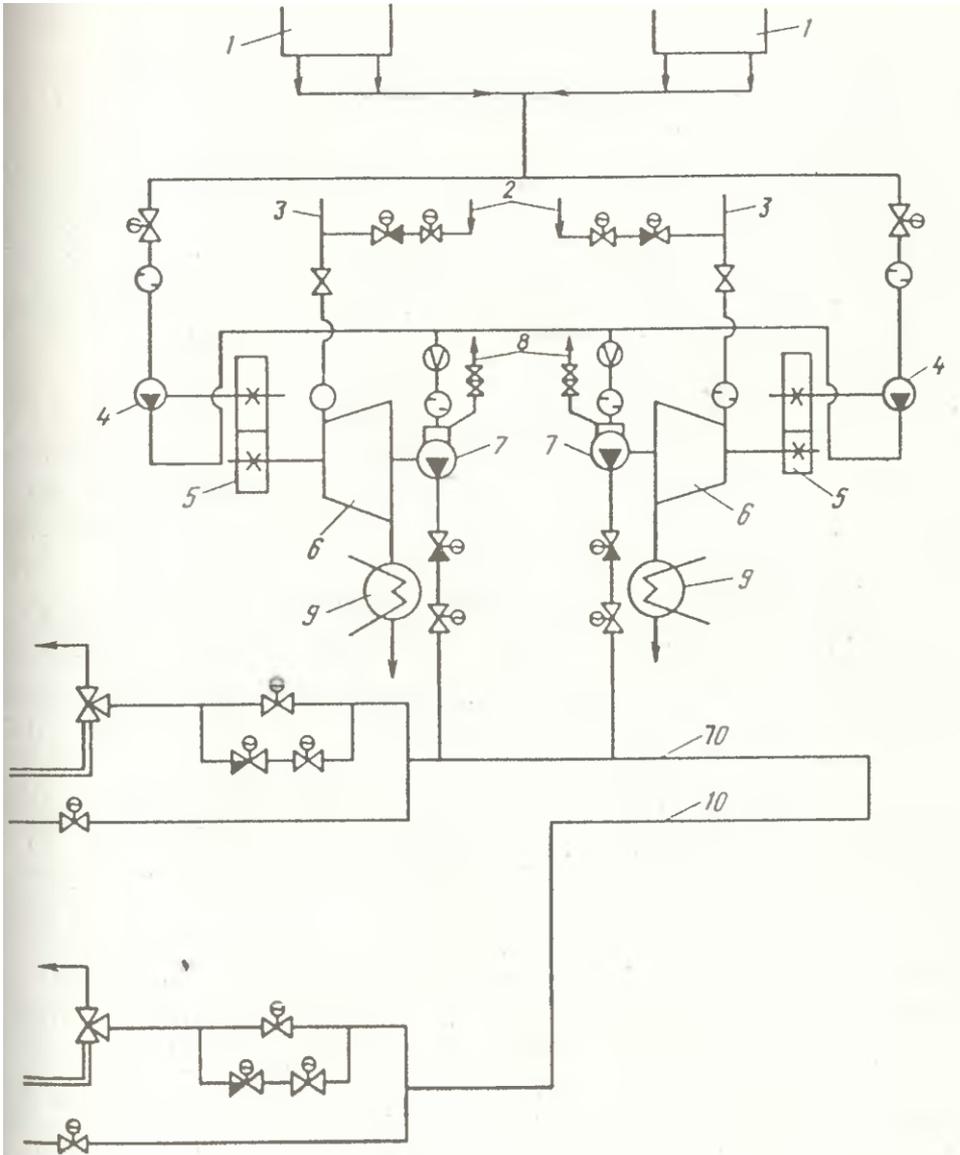
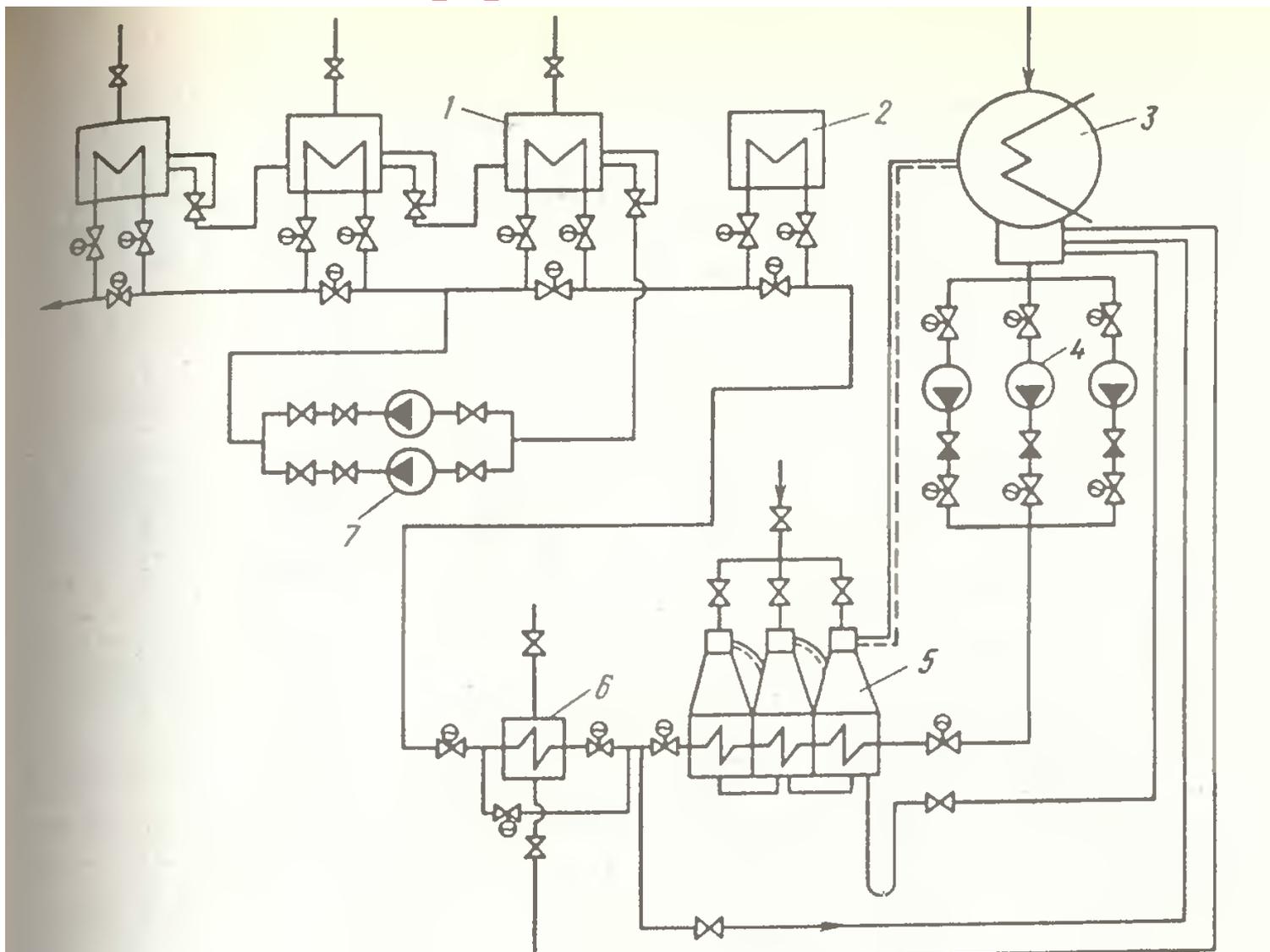


СХЕМА КОНДЕНСАТНОЙ ЛИНИИ



1, 2 – ПНД на линии основного конденсата и встроенный в конденсатор турбины; 3 – конденсатор турбины; 4 – конденсатный насос; 5 – эжекторная установка; 6 – подогреватель уплотнений (ПУ); 7 – дренажный насос

ТРУБОПРОВОДЫ АЭС

Задача трубопроводов АЭС – соединение различного оборудования.

Классификация:

- **По типу среды:**

- Теплоноситель;
- Питательная вода;
- Конденсат;
- Пар;
- Дренаж;
- Подпитка и т. п.

- **По параметрам среды:**

- По давлению;
- По температурам;

- **По активности среды:**

- Высокая
- Средняя
- Низкая

- **По эксплуатации**

- Постоянная
- Периодическая

ТРУБОПРОВОДЫ АЭС

Используются бесшовные трубы (очень редко - сварные трубы).

Все трубопроводы с температурой $> 45^{\circ}\text{C}$ имеют теплоизоляцию.

Трубопроводы монтируются на подшипниках.

Трубопроводы характеризуются диаметром и толщиной стенки: $d \times \delta$, - а также номинальным давлением, номинальным поперечным сечением и маркой стали.

Разница между номинальным и рабочим давлением:

- Номинальное давление - давление, позволяющее обеспечить устойчивую эксплуатацию при температуре жидкости 20°C .
- Рабочее давление - давление, позволяющее обеспечить устойчивую эксплуатацию при температуре рабочей жидкости.

Номинальный диаметр - номинальный внутренний диаметр, выраженный целым числом (6, 8, 10, 15, 20, 25, 32... 80, 100, 125,... 1000, 1200, 1400,... 4000).

МАТЕРИАЛ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС

- Углеродистые стали 10 и 20 (при температуре ниже 450 °С);
- Сталь перлитная типа 12Х1МФ и 15Х1М1Ф (применяется при температурах 450-570 °С);
 - Cr - 0,5-2 %; Mo - 0,3-1 %; V - 0,2-0,4 %.
- Мартенситно-ферритная сталь типа ЭИ-756 (используется при температурах ниже 620 °С);
 - Cr - 11%; Mo - 0,2%; V - 0,7%.
- Аустенитная сталь, такая как 12Х18Н10Т (используется при температурах ниже 700 °С).

Влияние разных добавок:

- Mo - увеличивает прочность и коррозионную стойкость;
- Cr - повышает жаропрочность дешевых материалов;
- Ni - способствует аустенизации сплавов, увеличивает предел текучести;
- W - увеличивает термостойкость;
- V - увеличивает прочность.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ТРУБОПРОВОДА

- Определение внутреннего диаметра трубопровода, м:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} = \sqrt{0.354 \frac{Q \cdot v}{w}}$$

где G – массовый расход, кг/с; ρ – плотность среды, кг/м³; w – скорость среды в трубопроводе, м/с; Q – расход среды, т/ч; v – удельный объем среды, м³/кг.

- Определение толщины стенки трубопровода, м:

$$S = \frac{p \cdot d}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma] + p} + C$$

где φ – коэффициент снижения прочности трубопроводов из-за отверстий и/или сварочных соединений; $[\sigma]$ – номинальное допускаемое напряжение, МПа; C – прибавка к расчетной толщине стенки, м.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ТРУБОПРОВОДА

Допускаемые напряжения определять как минимальное значение из следующего списка:

- $\sigma_{B/t}/2,4$ – минимальный предел прочности растяжения при расчетной t ;
- $\sigma_{p/t}/1,5$ – минимальный предел текучести при расчетной t ;
- $\sigma_{0,2/t}/1,5$ – минимальный предел текучести при остаточном удлинении 0,2 % при расчетной t ;
- $\sigma_{2 \cdot 10^5/t}/1,5$ – предел длительной прочности на ресурс $2 \cdot 10^5$ ч;
- $\Sigma_{1/2 \cdot 10^5/t}/1,0$ – предел ползучести при растяжении с деформацией 1 % на ресурс $2 \cdot 10^5$ ч.

Значение дополнительной толщины C определяется 4 составляющими:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

1. Особенности производства (C_1) – принимается согласно документации завода-изготовителя, варьируется в диапазоне 12-15 % от толщины;
2. Снижение толщины (C_2) из-за коррозии в ходе эксплуатации (принимается согласно опыту эксплуатации, для ПГ ВВЭР принимается равным 0);
3. Добавка к толщине (C_3) из-за требований монтажа, например, при необходимости сварки, сверления, развальцовки и пр.;
4. Добавка к толщине (C_4) из-за гибов и эллиптичности труб.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ТРУБОПРОВОДА

Коэффициент прочности сварных соединений

- При соединении в стык

Сталь и способ сварки	ϕ_y при расчетной температуре	
	510 °С и менее	530 °С и более
Углеродистая, низколегированная, марганцовистая, хромомолибденовая и аустенитная при любом способе сварки	1,0	1,0
Хромомолибденованадиевая и высокохромистая: - при электрошлаковой сварке - при электронно-лучевой сварке - при ручной дуговой сварке, контактной стыковой сварке, автоматической стыковой сварке под флюсом	1,0 1,0 1,0	1,0 0,9 0,7
Примечание — При расчетной температуре от 510 °С до 530 °С значение коэффициента ϕ_y определяют линейным интерполированием между указанными значениями.		

- При поперечном сварном шве

Сталь	ϕ_{bw} для труб	
	бесшовных	электросварных
Аустенитная хромоникелевая и высокохромистая	0,6	0,7
Хромомолибденованадиевая при расчетной температуре: - 510 °С и менее - 530 °С и более	0,9 0,6	1,0 0,7
Углеродистая, марганцовистая и хромомолибденовая	0,9	1,0
Примечание — При расчетной температуре от 510 °С до 530 °С коэффициент ϕ_{bw} определяют линейной интерполяцией.		

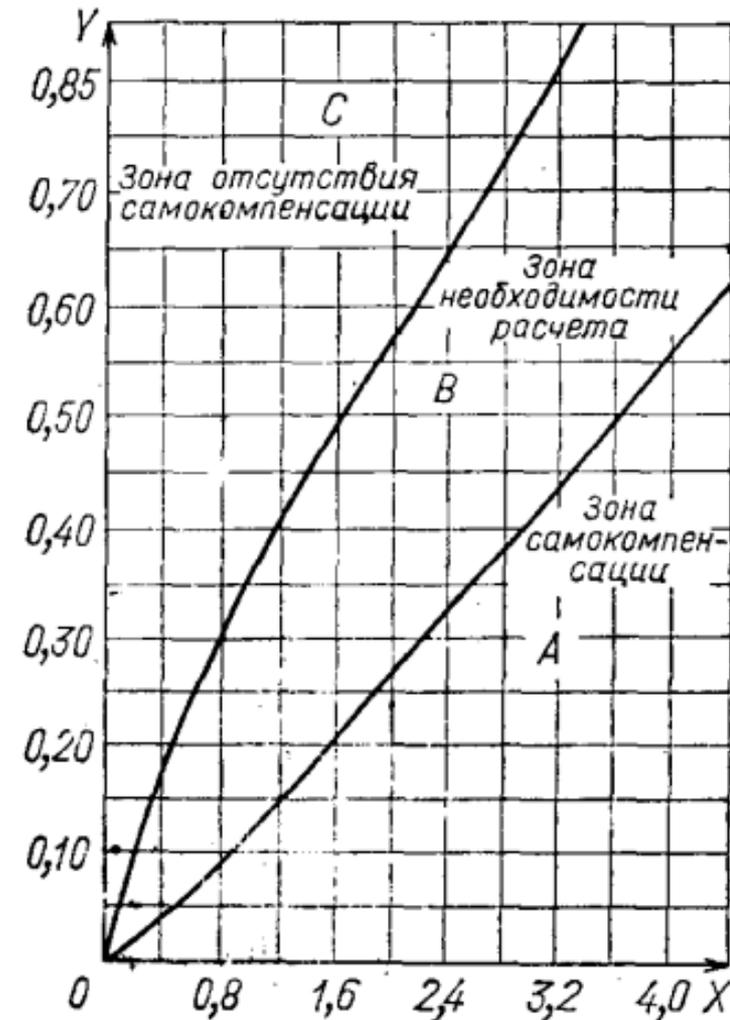
КОМПЕНСАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ РАСШИРЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

- Удлинение трубопровода складывается из теплового и упругого удлинений.

- Тепловое удлинение: $\delta_t = \alpha \cdot (t - t_m)$
- Упругое удлинение: $\delta_p = \frac{10 \cdot p}{E} \left(\frac{D_{внеш}}{s} - 3 \right)$

Компенсирующая способность – способность трубопровода к деформации без перенапряжений.

Самокомпенсация – способность обеспечивать компенсирующую способность трубопровода без внешних устройств.



ВЫБОР ТОЛЩИНЫ ИЗОЛЯЦИИ

- Толщина изоляции трубопроводов и оборудования, размещенного в помещениях общего доступа выбирается исходя из необходимости обеспечения температуры поверхности не более 45 °С, для помещений ограниченного доступа – 60 °С, для трубопроводов на наружном воздухе – 45 °С, для протяженных трубопроводов различной степени укладки – исходя из допустимых потерь с единицы длины.
- Основное уравнение выбора толщины изоляции:

$$Q = q \cdot F = \frac{t_{cm} - t_{ном}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}} \cdot F = q_l \cdot L = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t_{cm} - t_{ном})}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot (d_{нов} + 2 \cdot \delta_{из})} + \frac{1}{\lambda_{из}} \cdot \ln \left(\frac{d_{нов} + 2 \cdot \delta_{из}}{d_{нов}} \right)} \cdot L$$

- Для плоских стенок ($(d_{пов} + 2\delta) / d_{пов} < 1,8$): $\delta = \frac{\lambda \cdot (t_{мп} - t_{нов})}{\alpha \cdot (t_{нов} - t_e)}$
- Для цилиндрических стенок: $\delta = \frac{d}{2} (B - 1)$ $B \cdot \ln B = \frac{2 \cdot \lambda \cdot (t_{мп} - t_{нов})}{\alpha \cdot d \cdot (t_{нов} - t_e)}$
- Действительная толщина изоляционных материалов с учетом уплотнения:
$$\delta_{yn} = \delta \cdot K_{yn} \frac{d + \delta}{d + 2\delta}$$

ВИДЫ АРМАТУРЫ АЭС

Арматура АЭС делится на запорную, регулирующую, предохранительную, защитную и контрольную.

Запорная арматура – предназначена для включения и отключения трубопровода. Включает в себя клапаны (при диаметрах <150 мм) и задвижки (при диаметрах 100-600 мм).

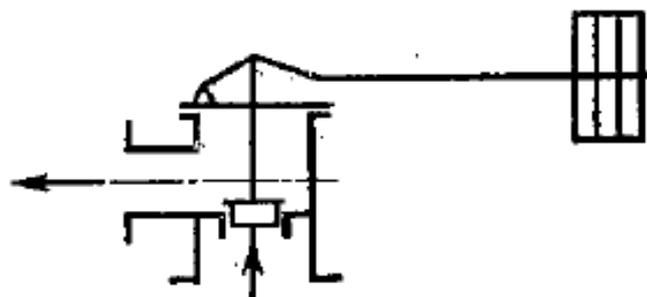
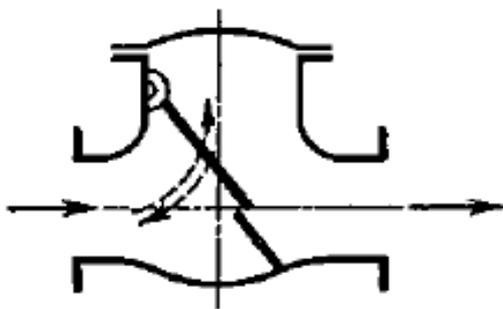
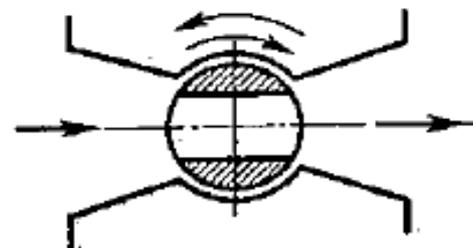
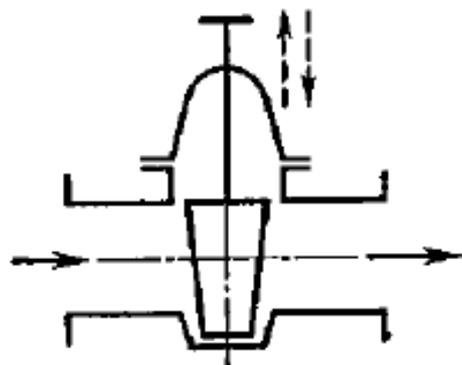
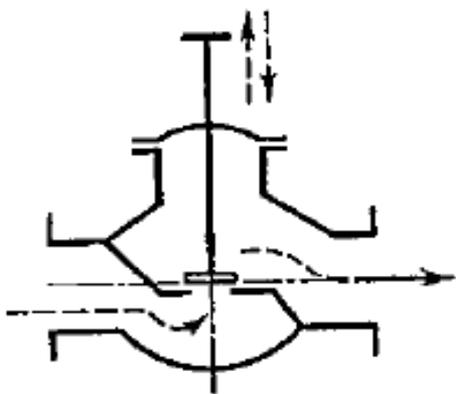
Регулирующая арматура – предназначена для регулирования расхода и параметров среды. Включает регулирующие и дроссельные клапаны, редуцирующие установки, охладители пара, регуляторы уровня.

Предохранительная арматура – устройства, защищающая трубопроводы и емкости от повышения давления сверх допустимой среды путем её сброса. Включает предохранительные, импульсно-предохранительные и аварийные клапаны.

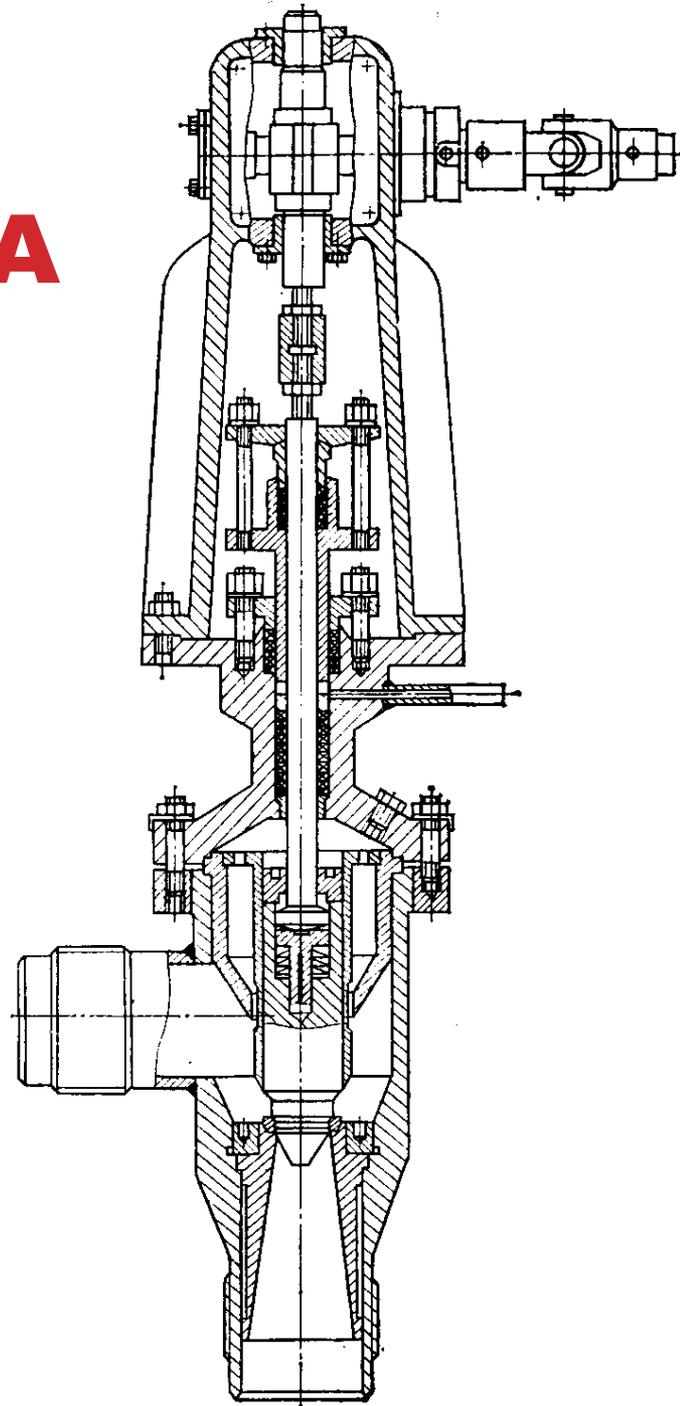
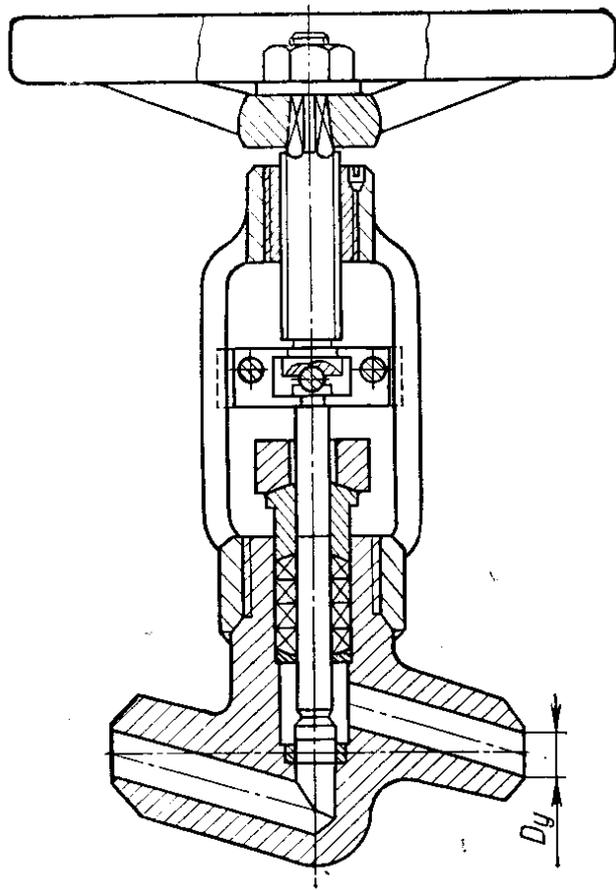
Защитная арматура – устройства, защищающая трубопроводы и емкости от повышения давления сверх допустимой среды путем предотвращения доступа среды в емкость. Включает обратные затворы и клапаны.

Контрольная арматура – устройства, служащие для установления наличия среды и уровня жидкости. Включает пробные и спусковые клапаны и краны, указатели уровня.

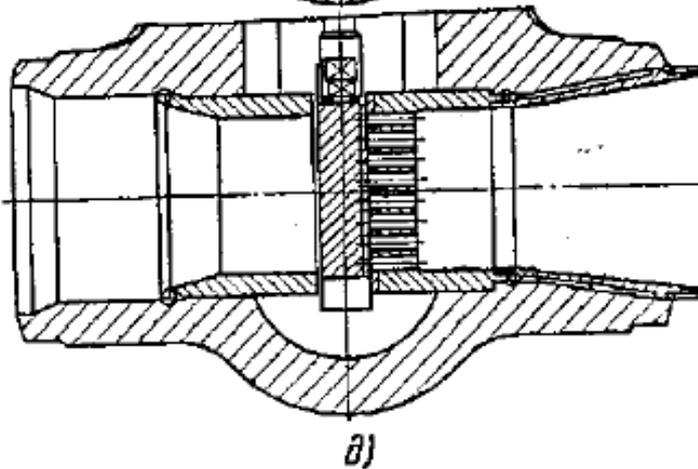
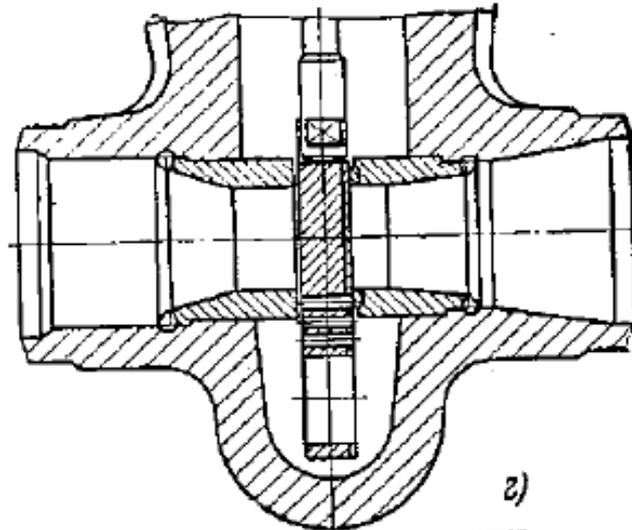
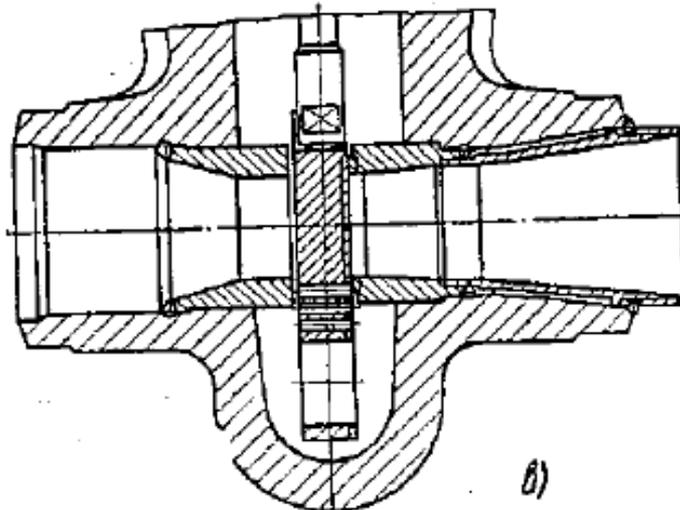
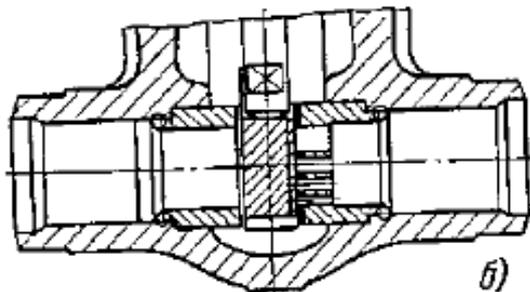
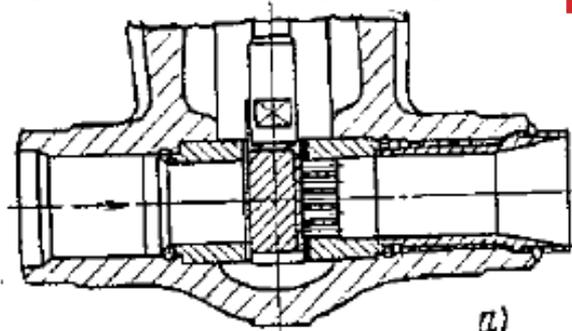
ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АРМАТУРЫ



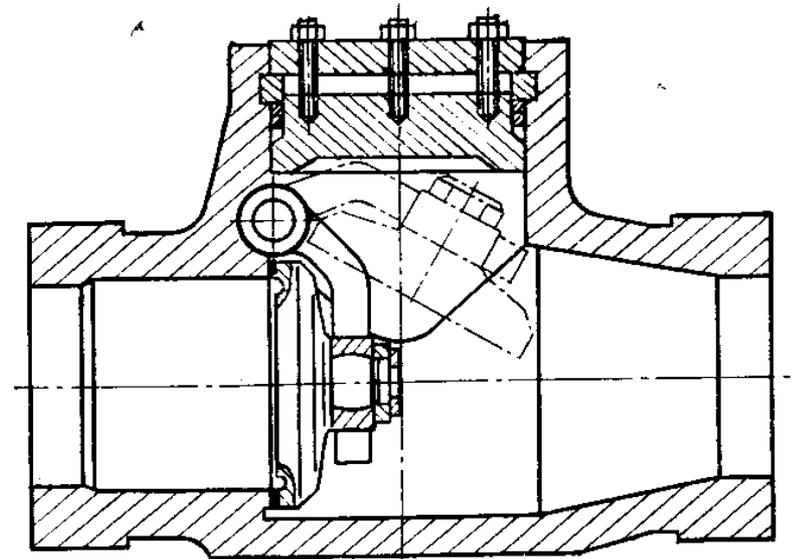
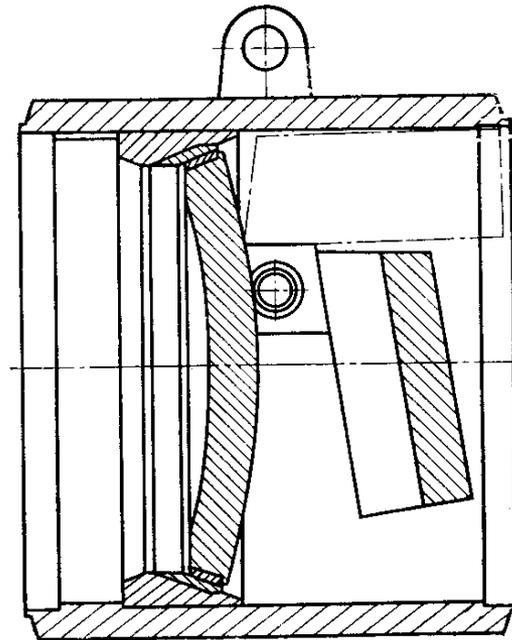
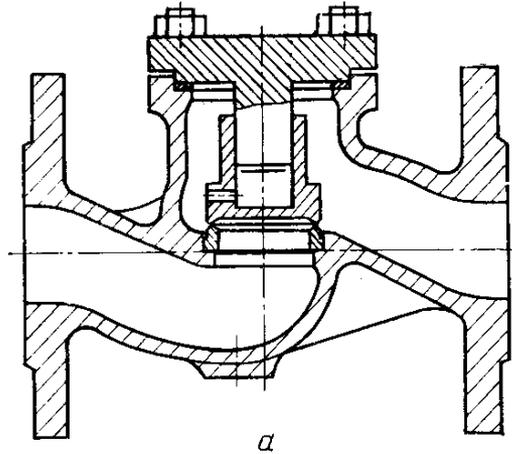
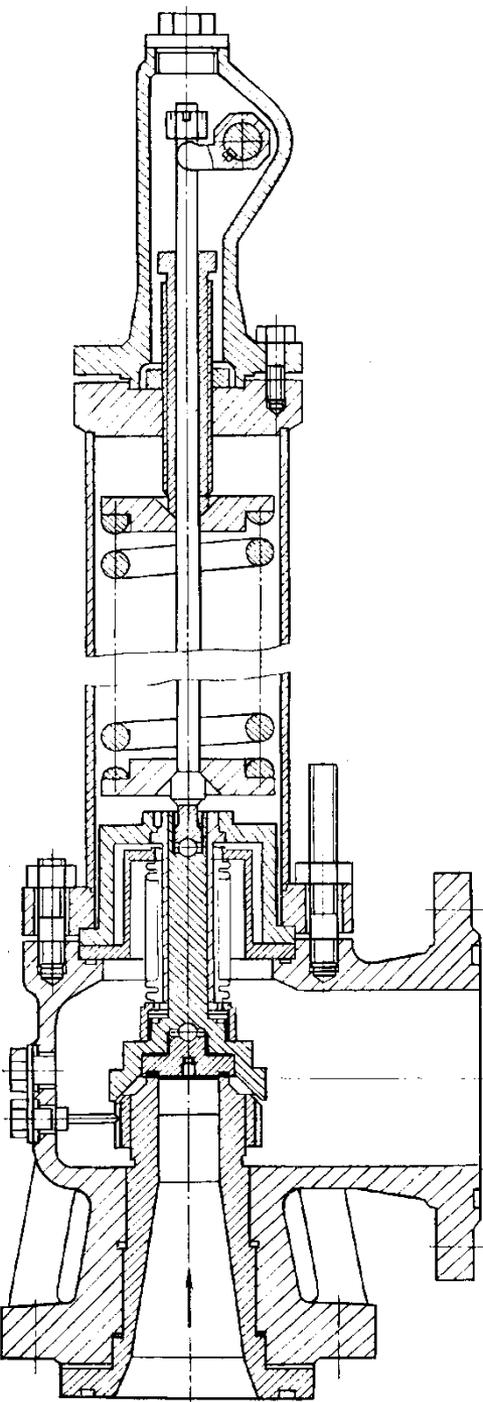
РЕГУЛИРУЮЩАЯ И ЗАПОРНАЯ ЗАДВИЖКА



ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РЕГУЛИРУЮЩИХ КЛАПАНОВ



ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЙ И ОБРАТНЫЙ КЛАПАНЫ



ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНАЯ ЗАДВИЖКА МЕМБРАННОГО ТИПА

